

ISSN: 2306-9716 (Print)
ISSN: 2664-6110 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(41)



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2022. – № 2(41). – 188 с.

Головний редактор: Бондар О.І., доктор біологічних наук

Заступник головного редактора: Нагорнева Н. А.

Науковий редактор: Машков О.А., доктор технічних наук

Відповідальний редактор: Сікачина В. Г.

Редакційна колегія:

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Івашенко Т.Г., кандидат технічних наук

Коніщук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук,

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі біологічних наук (091 – Біологія), природничих наук (101 – Екологія, 103 – Науки про Землю) та технічних наук (183 – Технології захисту навколишнього середовища).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)*

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО.....	7
Бондар О.І., Риженко Н.О., Похил Ю.Г. Біоаккумуляція (Cd, Pb, Hg) рослинами на території Криворізького залізрудного басейну (на прикладі кар'єру «Південний»).....	7
Кулик М.П., Павлюк Л.І., Козак Л.Ю. Підвищення екологічної безпеки газотурбінного приводу газоперекачуючих агрегатів.....	16
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	24
Сна М.С. Вплив антропогенного забруднення на водні ресурси басейну річки Південний Буг.....	24
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ.....	27
Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Кравчук А.А. ГІС як інструмент управління та контролю стану децентралізованого водопостачання у межах громад.....	27
ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ.....	32
Ivanenko I.M., Fedenko Yu.M., Stepanova A.V., Byts O.V. Zinc oxide: structure, properties, methods of obtaining, significance in ecological catalysis. Review.....	32
Пида С.В., Конончук О.Б., Тригуба О.В., Брошак І.С., Герц А.І. Ефективність використання мікробіологічних препаратів у посівах бобів (<i>Faba bona</i> Medic.).....	38
Ткачук О.П., Врадій О.І. Баланс поживних речовин у ґрунті при вирощуванні зернобобових культур.....	43
Шелудченко Л.С. Теоретичне обґрунтування застосування кіберфізичної системи на транспорті для забезпечення екологічно безпечного функціонування автодорожньої інфраструктури.....	48
ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	52
Гільов В.В., Саньков П.М., Полторацька В.М., Ткач Н.О. Дослідження рівня шумового забруднення від автотранспорту на автомобільних дорогах Дніпропетровської області.....	52
Полетаєва Л.М., Сафранов Т.А., Житкевич Я.Я. Оцінка шумового забруднення урбанізованих територій від автотранспорту (на прикладі міста Одеса).....	56
Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Рудницька Ж.О., Семерня А.О. Екологічна безпека в умовах воєнного стану.....	62
Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. Картогеоінформаційне забезпечення управління у сфері екологічної безпеки та реалізації програм захисту довкілля.....	67
РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ.....	79
Бондар О.Б. Типологічна структура природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів Кременецького району Тернопільської області.....	79
Гавриленко Н.О. Особливості перебігу життєвого циклу деревних рослин соцологічного статусу в умовах зрощуваної культури дендропарку «Асканія-Нова».....	84
Драган Н.В., Бойко Н.С., Дойко Н.М., Плескач Л.Я., Мордатенко І.Л. Вікова структура популяцій головних паркотвірних видів в фітоценозах дендропарку «Олександрія» НАН України.....	89
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....	96
Баштовенко О.А. Науковий підхід до вивчення представників класу малоцетинкових.....	96
Glibovytska N.I. The morphological vitality parameters of <i>Trifolium pretense</i> L. under urbanized environment conditions.....	103
Голобородько К.К., Кунах О.М., Ситник С.А., Ловинська В.М. Вплив важких металів на особливості поширення івазійних молей-строкаток (Lepidoptera, Gracillariidae) в умовах м. Дніпро.....	107
Гулько С.О. Дослідження геохімічної структури ландшафтів м. Кам'янське.....	114

Іванець О.Р. Фауністична характеристика угруповань коловерток (<i>Rotifera: Rotatoria</i>) водойми Глинна Наварія.....	119
Красовський В.В., Черняк Т.В., Федько Р.М., Орловський О.В. Дослідження кісточок мушмули звичайної (<i>Mespilus germanica</i> L.) в Хорольському ботанічному саду.....	125
Суслова О.П. Оцінка успішності інтродукції культиварів <i>Thuja occidentalis</i> L. та перспективи їх використання в північно-степовій зоні України.....	130
БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	135
Романенко О.В. Гідроекологічні аспекти поширення збудників трематодозів.....	135
Ткачук Н.В., Зелена Л.Б. Біобезпека при формуванні фахових компетенцій бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика».....	141
ЗМІНА КЛІМАТУ	146
Василенко О.В., Балабак О.А., Балабак А.В., Нікітіна О.В. Оцінка адаптації рослин липи серцелистої (<i>Tilia Cordata</i> Mill.) до забруднення урбофітоценозів в умовах змін клімату.....	146
Волошина Н.О., Сушко Д.Ю., Дубінський Д.В., Волошин О.Г. Адаптивні реакції комах на кліматичні зміни.....	151
ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА	156
Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Вітрова енергетика у Львівській області та проблеми перероблення непридатних вітрових установок.....	156
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ	164
Кучерук Д.Д., Балакіна М.М. Комплексна переробка фільтраційних вод полігонів твердих комунальних відходів.....	164
Король К.А. Фізико-хімічні властивості талого снігу сміттєзвалищ туристично-рекреаційного комплексу Львівської області.....	171
ОСВІТА ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	179
Тірон-Воробйова Н.Б., Капацина І.І. Інноваційність процесу викладання дисципліни «Охорона праці та цивільний захист»: for seafarers.....	179
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	183

CONTENTS

ECOLOGY AND PRODUCTION	7
Bondar O., Ryzhenko N., Pokhyl Yu. Bioaccumulation (Cd, Pb, Hg) by plants in the Kryvyi Rih iron ore basin (on the example of the «Southern» quarry).....	7
Kulyk M., Pavliuk L., Kozak L. Increasing environmental safety of gas turbine drive of gas pumping units.....	16
ECOLOGY OF WATER RESOURCES	24
Yena M. The impact of anthropogenic pollution on the water resources of the South Bug river basin.....	24
ENVIRONMENTAL MONITORING	27
Valerko R., Herasymchuk L., Kravchuk A. GIS as a tool of controlling the state of uncentralized water supply within communities.....	27
THEORETICAL ECOLOGY	32
Ivanenko I.M., Fedenko Yu.M., Stepanova A.V., Byts O.V. Zinc oxide: structure, properties, methods of obtaining, significance in ecological catalysis. Review.....	32
Pyda S., Kononchuk O., Tryhuba O., Broshchak I., Herts A. The effectiveness of microbiological preparations in bean sowing (<i>Faba bona</i> Medic.).....	38
Tkachuk O., Vradiy O. Balance of nutrients in the soil in the growing of legumins.....	43
Sheludchenko L. Theoretical substantiation of application of cyberphysical system on transport for maintenance of ecologically safe functioning of road infrastructure.....	48
GENERAL PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL DEFENSE	52
Hilov V., Sankov P., Poltoratska V., Tkach N. Study of the level of noise pollution from motor vehicles on the roads of the Dnipropetrovs'k region.....	52
Poletayeva L., Safranov T., Zhytkevych Ya. Assessment of noise pollution of urbanized territories from motor vehicles (on the example of the city of Odesa).....	56
Semernia O., Liubynskyi O., Fedorchuk I., Rudnytska Zh., Semernia A. Ecology Security in state of war.....	62
Finin G., Shevchenko R. Cartogeoinformation support of management in the field of environmental safety and implementation of environmental protection programs.....	67
DEVELOPMENT OF THE UKRAINIAN NATURE RESERVE FUND	79
Bondar O. Typological structure of nature protected, scientific, historical and cultural forests of Kremenets district, Ternopil region.....	79
Havrylenko N. Peculiarities of the life cycle of arboreal plants of zoological status in the conditions of irrigated culture of the dendrological park "Askania-Nova".....	84
Dragan N., Boiko N., Doiko N., Pleskach L., Mordatenko I. Age structure of populations of the main parkforming species in phytocenoses of the "Olexandria" dendrological park of the NAS of Ukraine.....	89
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	96
Bashtovenko O. Scientific approach to the study of representatives of the class oligochaeta.....	96
Glibovytska N.I. The morphological vitality parameters of <i>Trifolium pratense</i> L. under urbanized environment conditions.....	103
Holoborodko K., Kunach O., Sytnyk S., Lovynska V. Influence of heavy metals on the peculiarities of the distribution of invasion leaf blotch miner moths (Lepidoptera, Gracillariidae) in the conditions of Dnipro.....	107
Hunko S. The Research of Geochemical Landscapes Structure of Kamianske City.....	114
Ivanets O. Faunistic characteristics of groups of rotifers (<i>Rotifera: Rotatoria</i>) of the Hlynna Navariya reservoir.....	119

Krasovsky V., Chernyak T., Fed'ko R., Orlovsky O. Investigation of <i>Mespilus germanica</i> L. in the Khorol botanical garden.....	125
Suslova O. Evaluation of the introduction success of <i>Thuja occidentalis</i> L. cultivars and prospects for their use in the north of Ukrainian steppe.....	130
BIOLOGICAL SAFETY	135
Romanenko O. Hydroecological aspects of the trematodiasis agents spreading.....	135
Tkachuk N., Zelena L. Biosafety in the formation of professional competencies of bachelors in the courses “Microbiology and Virology with the basics of Immunology” and “Genetics”.....	141
CLIMATE CHANGE	146
Vasylenko O., Balabak O., Balabak A., Nikitina O. Assessment of adaptation of small-leaved linden (<i>Tilia cordata</i> Mill.) plants to the pollution of urbophytocenoses under conditions of climate changes.....	146
Voloshyna N., Sushko D., Dubinskyi D., Voloshyn O. Adaptive reactions of insects to climate change.....	151
RENEWABLE ENERGY	156
Lopushanska M., Ivanov Ye. Wind energy in Lviv region and problems of recycling unusable wind turbines.....	156
WASTE MANAGEMENT	164
Kucheruk D., Balakina M. The complex treatment of filtration waters of solid municipal waste landfills.....	164
Korol K. Physico-chemical properties of melted snow in landfills of the tourist and recreational complex of Lviv region.....	171
EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	179
Tiron-Vorobiova N., Kapatsyna I. Innovativeness of the process of teaching the discipline «Occupational health and civil protection»: for seafarers.....	179
AUTHORS' CREDENTIALS	183

УДК 504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.1>

БІОАКУМУЛЯЦІЯ (CD, PB, HG) РОСЛИНАМИ НА ТЕРИТОРІЇ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ (НА ПРИКЛАДІ КАР'ЄРУ «ПІВДЕННИЙ»)

Бондар О.І., Риженко Н.О., Похил Ю.Г.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського 35, корпус 2, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net; ukr.net; ulia.pohil@gmail.com

Висвітлені результати досліджень щодо біоаккумуляції металів (Cd, Pb, Hg) рослинами на території Криворізького залізорудного басейну. Проби рослинного матеріалу та ґрунту (0–20 см) були відібрані у польових умовах у липні 2021 року. Лабораторні дослідження на вміст металів атомно-абсорбційним методом виконувались у Дніпровській філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» (ДУ «Держґрунтохорона»). Виявлено розподіл металів у ґрунті (0–20 см) та рослинах (*Juglans regia* L., *Polygonum aviculare* L., *Taraxacum officinale* L., *Eryngium planum* L., *Plantago major* L., *Achillea millefolium* L.) біля кар'єру «Південний» на території Криворізького залізорудного басейну. Встановлено, що вміст кадмію, свинцю та ртуті не перевищував встановлених нормативів гранично допустимих концентрацій для валового вмісту у ґрунті. Найбільшими значеннями валового вмісту у ґрунті характеризувався свинець. З'ясовано, що більшими значеннями вмісту у фітомасі всіх досліджуваних рослин відрізнявся свинець у порівнянні із кадмієм та ртуттю. Розраховано коефіцієнти біоаккумуляції у системі «ґрунт-рослина» металів Cd, Pb, Hg на досліджуваній території та проведено порівняльну оцінку біодоступності металів різними видами рослин. Визначено низку рослин за коефіцієнтом біоаккумуляції: *Juglans regia* L. > *Polygonum aviculare* L. > *Taraxacum officinale* L. > *Eryngium planum* L. > *Plantago major* L. > *Achillea millefolium* L. Як наслідок, висновки дослідження можуть використовуватися для уточнення екологічного моніторингу досліджуваної території, а також у процедурах оцінки впливу на довкілля та стратегічної екологічної оцінки з метою поліпшення стану компонентів довкілля на території Криворізького залізорудного басейну. **Ключові слова:** токсичні метали, біоаккумуляція, фітомаса, ГДК, навколишнє середовище, система «ґрунт-рослина».

Bioaccumulation (Cd, Pb, Hg) by plants in the Kryvyi Rih iron ore basin (on the example of the «Southern» quarry). Bondar O., Ryzhenko N., Pokhyl Yu.

The article highlights the results of the study of bioaccumulation of metals (Cd, Pb, Hg) by plants in the Kryvyi Rih iron ore basin. Samples of plant material and soil (0–20 cm) were taken in the field in July 2021. Laboratory tests for the content of metals by the atomic absorption method were worked out at the Dnipro branch of the State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine». Distribution of metals in soil (0–20 cm) and plants (*Juglans regia* L., *Polygonum aviculare* L., *Taraxacum officinale* L., *Eryngium planum* L., *Plantago major* L., *Achillea millefolium* L.) near the quarry «Southern» was revealed on the territory of the Kryvyi Rih iron ore basin. The total content of cadmium, lead and mercury did not exceed the established standards of maximum permissible concentrations. Lead was characterized by the highest values of total content in the soil. The lead had highest concentration in phytomass in all studied plants in comparison with cadmium and mercury. The coefficients of bioaccumulation in the soil-plant system of metals Cd, Pb, Hg in the study area were calculated. The comparative assessment of the bioavailability of metals by different plant species was presented. A number of plants have been identified by bioaccumulation coefficient: *Juglans regia* L. > *Polygonum aviculare* L. > *Taraxacum officinale* L. > *Eryngium planum* L. > *Plantago major* L. > *Achillea millefolium* L. The results of the work can be used to improve monitoring in the procedures of environmental impact assessment and strategic environmental assessment for improve the environment in the Kryvyi Rih iron ore basin. **Key words:** toxic metals, bioaccumulation, phytomass, MPC, environment, soil-plant system.

Постановка проблеми. Токсичні метали, зважаючи на їхню стійкість у навколишньому середовищі та біоаккумуляційну природу, є неабиякими забруднювачами навколишнього середовища. Їхні природні джерела – вивітрювання металовмісних порід та виверження вулканів, а антропогенні – гірничодобувна промисловість та сільськогосподарська діяльність. Гірничодобувна та промислова переробка для видобутку корисних копалин, подальше застосування їх на шляху економічного розвитку країни призвели до значного накопичення таких елементів у навколишньому середовищі, що спричинило пору-

шення їхніх біогеохімічних циклів. Гірничодобувні території Криворіжжя традиційно відносяться до найбільш проблемних в екологічному вимірі. Ґрунти та рослини в регіоні упродовж тривалого часу зазнають інтенсивного техногенного впливу, наслідком якого є широкомасштабне забруднення екосистем. У Криворізькому басейні розташовані вісім з одинадцяти підприємств України з видобутку та переробки залізорудної сировини. Одним із найдавніших і найбільших кар'єрів у регіоні є «Південний». Отже, виявлення закономірностей біодоступності металів в умовах забруднення вирішує прикладні наукові

задачі, сприятиме прогнозуванню наслідків впливу для біоти.

Актуальність дослідження. У Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» наголошено, що першопричинами екологічних проблем України є: переважання ресурсо- та енергоємних галузей у структурі економіки із здебільшого негативним впливом на довкілля. Забруднення хімічними речовинами під час застосування промислових технологій та видобування залізної руди є негативним втручанням у функціонування біогеохімічних циклів. Екологічна сутність хімічного забруднення проявляється у порушенні дії законів, принципів, правил існування та функціонування біологічних систем різного рівня, починаючи від організменого і закінчуючи біосферним. Ґрунтова система слугує своєрідним буфером забруднення, утім міграція у ґрунтового профілі та біоаккумуляція є основними шляхами транслокації металів у екосистемі. Вивчення біоаккумуляції досить важливе, оскільки відповідний показник може впливати на продуктивність фітокомпоненту. Найбільш небезпечні для навколишнього середовища метали та металоїди вміщують Cd, Pb та Hg. Тому досить важливо визначати ступінь забруднення та контролювати концентрації таких полутантів у різних сегментах екосистеми та у резидентній біоті. Це дозволить вжити необхідних заходів щодо мінімізації впливу таких елементів і на здоров'я людини, і на біоту.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У Європі були проведені масштабні дослідження щодо концентрації металів у ґрунтах [1] за участі таких організацій, як EuroGeo Survey, Geological Survey of Finland (GTK) та Форуму директорів європейських геологічних служб (FOREGS). На жаль, Україна не була охоплена вище зазначеним проєктом. Звіти європейських країн засвідчують, що токсичні метали та мінеральна олія – найчастіші забруднювачі ґрунтів [2].

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації (ФАО), а також та Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) максимальні рівні вмісту металів у ґрунті становлять для кадмію від 0,8 до 20 мг/кг, свинцю – від 85 до 600 мг/кг, ртуті – 2,2 мг/кг [3–4]. Європейські та вітчизняні гранично допустимі концентрації металів наведені у таблиці 1 [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За висновками Самохвалової зі співавторами (2019), особливості функціонування ґрунту, прояви його властивостей пов'язані з перерозподілом сполук хімічних елементів [6]. Для об'єктивної оцінки мікроелементного статусу ґрунтів необхідними є стають дані як щодо валового мікроелементного складу ґрунтів, так і вмісту рухомих форм металів. Валовий вміст елемента у ґрунті не завжди відобра-

жає його справжню міграційну здатність, тому що у ґрунті водночас наявні різні форми елементів, які відрізняються властивостями й доступністю для рослин. Отже, для більш повної оцінки зв'язку рухомості металів та їх міграції необхідно використовувати показники вмісту рухомих форм металу у ґрунті.

Таблиця 1

Максимальні рівні вмісту металів у ґрунті в Європі

Метал	Стандарт (МРС), мг/кг Європа	ГДК, мг/кг Україна
Cd	1,6	1,5
Pb	140	32
Hg	Неорганічний меркурій – 2,2	2,1
	Метилорганічний меркурій – 0,67	

Вважається, що Pb є одним з менш мобільних металів, він має сильну спорідненість із сіркою, тому часто зв'язується із сульфідами, оскільки галеніт (PbS) є найпоширенішим рудним мінералом. Pb має два стабільні ступені окислення: Pb (II) та Pb (IV). Середня концентрація в незабруднених ґрунтах, за різними оцінками, у світі знаходиться на рівні 40 мг/кг [7]. Незалежно від типу ґрунту Pb накопичується переважно у його верхній частині. Кількість Pb, що затримується оксигідроксидами заліза, досить незначна у всіх типах ґрунтів. Концентрація розчинних форм Pb значно вища в основних ґрунтах, ніж у кислих. Cd зустрічається як двовалентний іон Cd(II) та знаходиться безпосередньо нижче Zn в періодичній системі і має хімічну схожість з цинком, важливим мікроелементом для рослин, замінюючи його, що й призводить до порушення метаболічних процесів [8]. Cd має один з найвищих мобілізаційних потенціалів у навколишньому середовищі серед інших металів. Конкуренція та індуквана лігандом десорбція є причиною швидкого вивільнення Cd із ґрунту в ґрунтові води [9]. На поведінку Hg впливають фізико-хімічні властивості ґрунту, зокрема розмір фракцій, оскільки іони металу зв'язуються із дрібними частинками інтенсивніше. Гумінова кислота впливає на транспорт і трансформацію Hg у системах «ґрунт-рослина», особливо для ґрунтів з низьким вмістом глинистої фракції. Гумінова кислота зменшує кількість доступного меркурію у ґрунті та запобігає його біодоступності й вилугуванню з ґрунту [10]. Чорноземи звичайні малогу́мусні займають 67,5 % площі Криворізького природно-господарського району, характерна властивість яких – нагромадження обмінних лугів і біогенних зольних компонентів у верхній частині ґрунтового профілю. На півночі переважають важко-суглинисті, а на півдні – легко-суглинисті малопотужні різновиди з вмістом гумусу в орному шарі в середньому 3,4–5,2 % (від 2,0 до 6,0 %). З огляду на це, зв'язування металів органічною речовиною ґрунту, особ-

ливо меркурію, впливає як на валовий вміст, так і на концентрацію рухомих форм.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проблемою дослідження полягає в оцінці забруднення токсичними металами (Cd, Pb, Hg) системи «грунт-рослина» на території Криворізького залізничного басейну з метою визначення закономірностей біоаккумуляції та визначення пріоритетних напрямів контролю для зменшення антропогенного навантаження на екосистеми.

Новизна. Автори вперше визначили розподіл металів у ґрунті (0–20 см) та рослинах (*Juglans regia* L., *Polygonum aviculare* L., *Taraxacum officinale* L., *Eryngium planum* L., *Plantago major* L., *Achillea millefolium* L.) неподалік кар'єру «Південний», що знаходиться на території Криворізького залізничного басейну; розраховані коефіцієнти біоаккумуляції (КБ) у системі «грунт-рослина» металів Cd, Pb, Hg на досліджуваній території та проведено порівняльну оцінку біодоступності металів різними видами рослин.

Методологічне або загальнонаукове значення. Аналітичні визначення вмісту Hg, Cd, Pb у зразках ґрунту та рослин здійснювалося в атестованій ДП «Дніпропетровський обласний виробничо-технічний центр стандартизації і метрології «Дніпрооблагростандарт» лабораторії Дніпропетровської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» (ДУ «Держґрунтохорона») у 2021 році.

Коефіцієнт біоаккумуляції (КБ) у системі «грунт-рослина» розраховували так [11–13]:

$$КБ = \frac{C_p}{C_r}, \quad [11]$$

де C_p – концентрація металу у рослині, мг/кг сухої речовини,

C_r – концентрація металу у ґрунті, мг/кг.

Статистичний аналіз даних проводився згідно загально прийнятих методик [14–15]. Відбір проб (зразки ґрунту (0–20 см)) та аналітичне визначення металів у ґрунті та фітомасі відбирали за ДСТУ 4287:2004 [16]. Як тест-об'єкти використовувалися такі види рослин: (*Juglans regia* L., *Achillea millefolium* L., *Taraxacum officinale* L., *Plantago major* L., *Eryngium planum* L., *Polygonum aviculare* L.) (табл. 2).

Зважаючи на те, що найбільший вміст металів (за даними з наукових джерел) у надземній фітомасі трав'янистих дикорослих рослин накопичується у фазі цвітіння та на початку плодоношення, більшість досліджуваних рослин відбирали саме у вище згаданих фазах. Екстракція валових форм елементів з ґрунту здійснювалася відповідно до інструкції «Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельскохозяйственных и продуктивных растений» (1980). Визначення металів у ґрунті

проводилося методом атомно-адсорбційної спектrophотометрії за ГОСТ 30178-96 [17].

Таблиця 2

Перелік відібраних зразків у польових умовах

РОСЛИНИ	КООРДИНАТИ
Точка 1. м. Кривий Ріг, вул. Ентузіастів 189	
Горіх волосський (<i>Juglans regia</i> L.)	47°55'30,4" 33°21'35,0" H = 59 м
Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)	47°55'30,4" 33°21'35,0" H = 59 м
Точка 2. м. Кривий Ріг, перехрестя вул. Миколи Ходича та просп. Карла Маркса	
Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)	47°55'24,2" 33°21'17,2" H = 57 м
Точка 3. м. Кривий Ріг, вул. Псковська 2а	
Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	47°56'04,2" 33°21'20,9" H = 77 м
Подорожник великий (<i>Plantago major</i> L.)	47°56'04,2" 33°21'20,9" H = 77 м
Точка 4. м. Кривий Ріг, Світлогірська, геологічна пам'ятка Сланцеві скелі	
(Миколайчики сині <i>Eryngium planum</i> L.)	47°56'29,3" 33°23'20,6" H = 85 м
Точка 5. м. Кривий Ріг, 21.07.21 р. пішохідний міст, вул. Дідро 12	
(Спориш звичайний <i>Polygonum viculare</i> L.)	47°56'22,1" 33°23'59,8" H = 88 м

За даними European Environmental Agency (2021) [18], близько 50 % від загального антропогенного навантаження на природне середовище припадає на забруднення, зокрема, і токсичними металами. У 2012 році до Орхуського протоколу 1998 року було внесено зміни та запроваджено суворіший контроль за трьома особливо шкідливими субстанціями: Cd, Hg і Pb, що зобов'язує сторони зменшувати свої викиди металів з допустимих рівнів 1990 року (або альтернативного року – з 1985 по 1995 включно) [19]. Відповідно до зобов'язань ЄС згідно з Конвенцією про повітря, відбулось скорочення викидів металів у Європі з рівня 1990 року. У період з 2005 по 2019 рік викиди продовжували знижуватися, при цьому викиди свинцю зменшилися на 44 %, ртуті на 45 % і викиди кадмію на 33 % у країнах-членах ЄС-27. У 2019 році Німеччина, Італія та Польща зробили найвагоміший внесок у програми заходів у ЄС, спрямованих на зменшення викидів металів. Не зважаючи на те, що European Environmental Agency (2021) [20] в цілому демонструє від'ємні тренди емісій металів у Європі, проблема забруднення металами в Україні залишається нерозв'язаною (рис. 1).

Скорочення викидів металів є фокусом дій міжнародного рівня та ЄС. Адже ЄС є учасником Конвенції про трансграничне забруднення повітря на значні відстані (Конвенція LRTAP), загальноєвропейської рамки для зменшення забруднення пові-

тря, у тому числі метали (відповідно до Орхуського протоколу). Викиди ртуті у Європі також контролюються Мінаматською конвенцією Програми ООН з навколишнього середовища, яку Україна й досі не ратифікувала. Отже важливо досліджувати тему впливу металу на здоров'я людей, особливо його більш токсичної та біоаккумулятивної форми (метилртуть руйнівна). За останні десятиліття кількість наукових досліджень щодо фатального впливу ртуті та її сполук на довкілля значно збільшилася. В результаті діяльності людини у минулому і нині загальна концентрація ртуті в атмосфері збільшилася приблизно на 450 % порівняно з природними рівнями (ЮНЕП) [21].

Так, розвиток металургійної діяльності призвів до історичного накопичення металів у ґрунті. Концентрація металів у ґрунті значно змінюється залежно від типу ґрунту та географічного регіону. Це засвідчує, що материнська порода, кліматичні умови та діяльність людини мають переважний вплив на хімічні форми (видоутворення) та мобільність металів у ґрунті.

Викладення основного матеріалу. Найменшим значенням вмісту свинцю та ртуті характеризується локація на вулиці Ентузістів, найбільшим вмістом свинцю – пішохідний міст по вулиці Дідро, що може бути пов'язано із перенесенням цього металу за домінуючим для Кривого Рогу напрямом вітру у північно східний бік [22] (рис. 2).

Вміст кадмію достовірно не відрізнявся на всіх досліджуваних ділянках, крім третьої точки (вул. Псковська 2а) (рис. 2). На третій досліджуваній ділянці вміст кадмію становив 0,46 мг/кг і був достовірно найбільшим з усіх досліджуваних ділянок. Вміст ртуті був достовірно більшим у точці 2 на перехресті вулиці Миколи Ходича та проспекту Карла Маркса, а достовірно меншим – у першій точці (вул. Ентузістів), хоча саме точка один знаходиться у найближчому розташуванні до кар'єру Південний.

Органічні фракції ґрунту відіграють надзвичайно важливу роль, оскільки вони можуть затримувати як накопичення, так і перенесення металів, а також їх переміщення в ґрунт. Токсичність металів у ґрунті може бути підвищена або зменшена

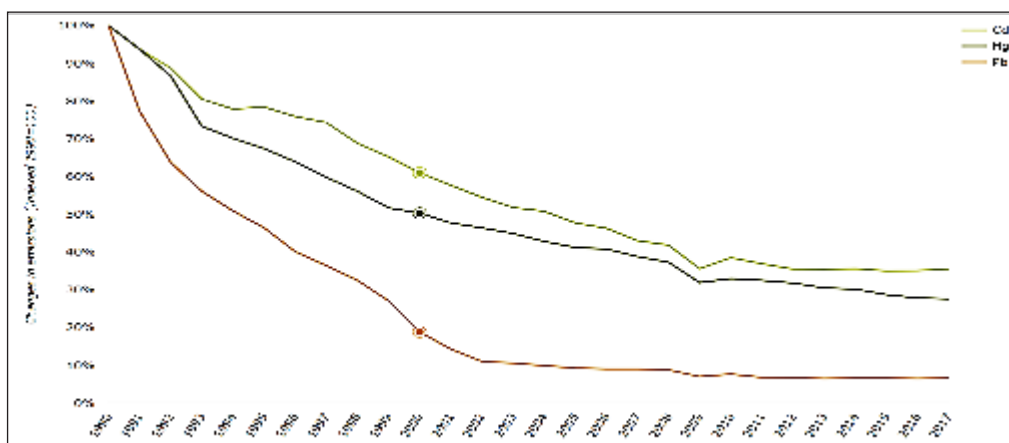


Рис. 1. Тенденції емісії металів у Європі

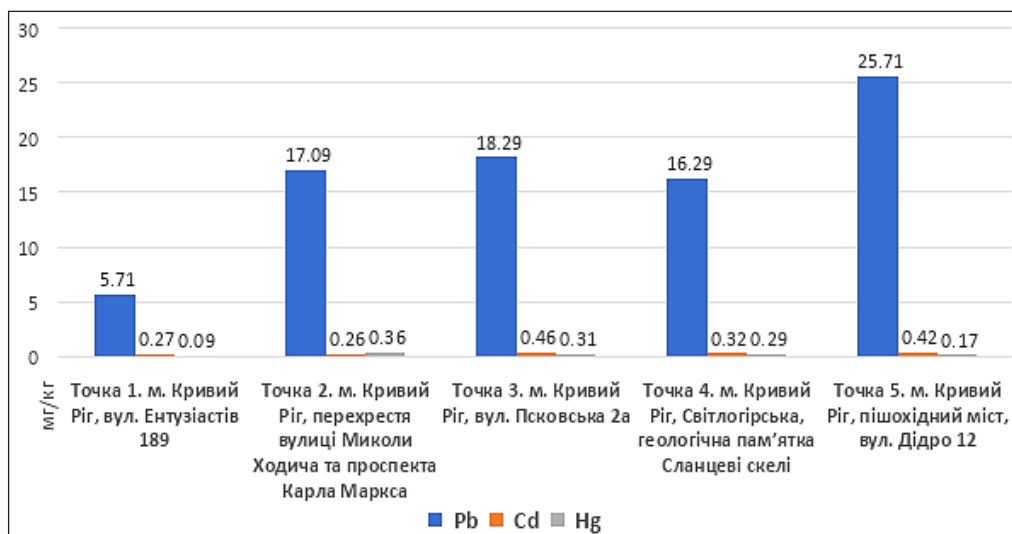


Рис. 2. Порівняльна оцінка вмісту металів у ґрунті

за рахунок органічної фракції ґрунту. P_n ґрунту безпосередньо впливає на доступність металів, оскільки кислотність ґрунту визначає розчинність елемента та його здатність переміщатися в ґрунтового розчині. Інтенсивність поглинання металів рослиною є важливим показником як токсичності

полютанта, так і характеристики видової чутливості рослин. Вміст Cd, Pb, Hg у надземній фітомасі рослин (*Juglans regia* L., *Achillea millefolium* L., *Taraxacum officinale* L., *Plantago major* L., *Eryngium planum* L., *Polygonum aviculare* L.) наведений у таблиці 3.

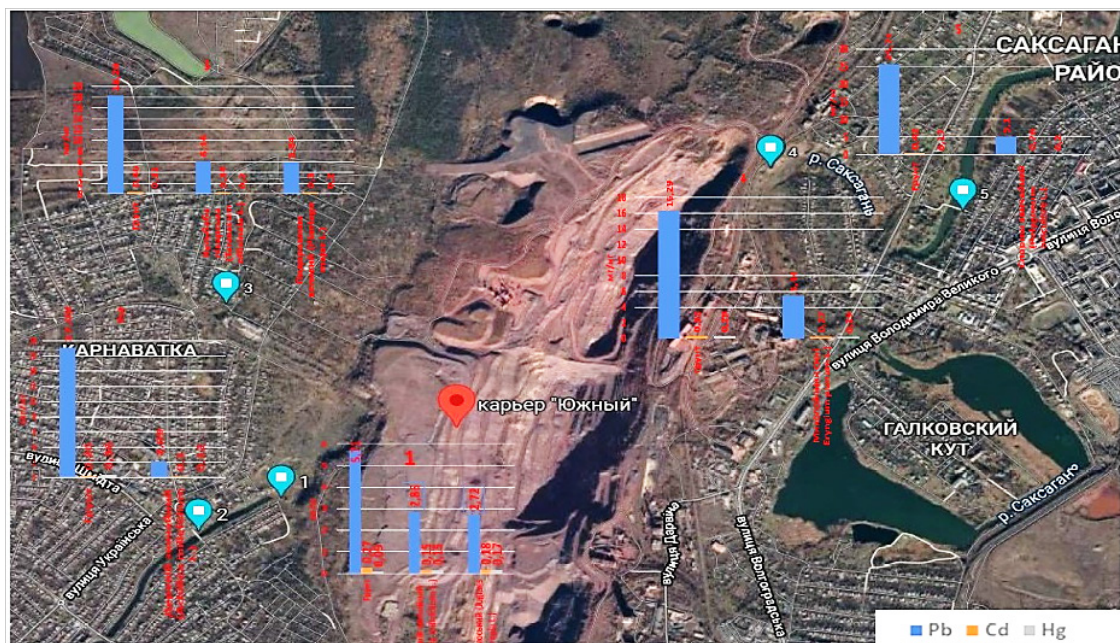


Рис. 3. Картосхема вмісту металів у системі «ґрунт-рослина»

Таблиця 3

Вміст Cd, Pb, Hg у надземній фітомасі рослин

Рослина	Координати	Результати випробувань на м. с. р., мг/кг		
		Pb	Cd	Hg
Точка 1. м. Кривий Ріг, вул. Ентузіастів 189				
Горіх волоський (Juglans regia L.)	47°55'30,4" 33°21'35,0" Н = 59 м	2,86±0,1	0,18±0,02	0,17±0,01
Деревій звичайний (Achillea millefolium L.)	47°55'30,4" 33°21'35,0" Н = 59 м	2,72±0,1	0,15±0,02	0,15±0,02
Точка 2. м. Кривий Ріг, перехрестя вулиці Миколи Ходича та проспекта Карла Маркса				
Деревій звичайний (Achillea millefolium L.)	47°55'24,2" 33°21'17,2" Н = 57 м	2,09±0,08	0,10±0,001	0,12±0,02
Точка 3. м. Кривий Ріг, вул. Псковська 2а				
Кульбаба лікарська (Taraxacum officinale L.)	47°56'04,2" 33°21'20,9" Н = 77 м	6,16±0,5	0,34±0,13	0,20±0,08
Подорожник великий (Plantago major L.)	47°56'04,2" 33°21'20,9" Н = 77 м	5,84±0,5	0,30±0,07	0,20±0,05
Точка 4. м. Кривий Ріг, Світлогірська, геологічна пам'ятка Сланцеві скелі				
Миколайчики сині Eryngium planum L.)	47°56'29,3" 33°23'20,6" Н = 85 м	5,44±0,6	0,27±0,03	0,19±0,02
Точка 5. м. Кривий Ріг, 21.07.21 р. пішохідний міст, вул. Дідро 12				
Спориш звичайний Polygonum aviculare L.)	47°56'22,1" 33°23'59,8" Н = 88 м	5,10±0,54	0,26±0,02	0,20±0,03
Стандартне відхилення (σ)		1,69	0,87	0,03
Дисперсія (S2)		2,87	0,008	0,001
F		Fпракт. (358,8) > Fтеор. (6,4)		
		Fпракт. (0,008) < Fтеор. (6,4)		
ГДК (овочі)		0,1	0,2	0,02

Аналогічно до результатів, отриманих щодо вмісту металів у ґрунті, за критерієм Фішера достовірно більшими значеннями вмісту у фітомасі всіх досліджуваних рослин відрізнявся свинець порівняно із кадмієм ($F_{\text{практ.}} (358,8) > F_{\text{теор.}} (6,4)$) та ртуттю ($F_{\text{практ.}} (0,008) < F_{\text{теор.}} (6,4)$). Оскільки гранично допустимих концентрацій вмісту металів у фітомасі дикорослих рослин наразі немає, отримані результати концентрації Cd, Pb, Hg у надземній фітомасі рослин порівнювали із гігієнічними нормативами для овочів, крім рослин виду *Leafy Brassica* (родини капустяних), вівсяного кореня, листових овочів та свіжих прямих трав, гриби (fungi), морські водорості та плоді овочі, який для свинцю становив 0,1 мг/кг, для кадмію (листові овочі, свіжі прями трав, рослин

виду *Leafy Brassica* (родини капустяних), селера, пастернак, вівсяний корінь, хрін) – 0,2 мг/кг, для ртуті – 0,1 мг/кг відповідно [23–24]. З огляду на ці гігієнічні нормативи, всі рослинні зразки перевищували норматив за вмістом ртуті та свинцю. Вміст кадмію становив більше 0,2 мг/кг для таких рослин: *Taraxacum officinale* L., *Plantago major* L., *Eryngium planum* L., *Polygonum aviculare* L. В зв'язку з тим, що вище зазначені види рослин використовуються традиційно в Україні як лікарські, доцільно було б регламентувати у них вміст кадмію, свинцю і ртуті.

Видова чутливість до поглинання металів у різних видів рослин залежить від «бар'єрного» або «безбар'єрного» механізму. Деревій звичайний

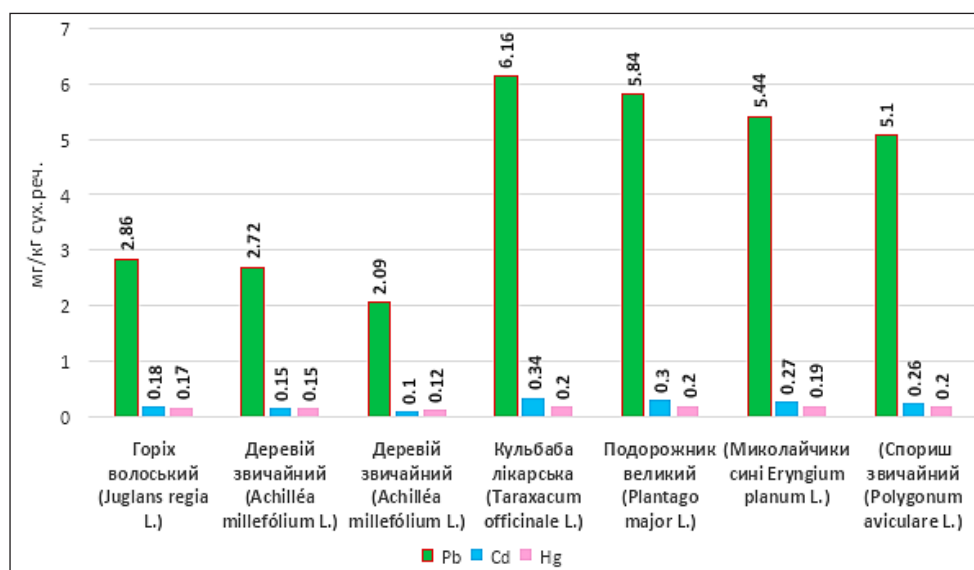


Рис. 4. Порівняльна оцінка різних видів рослин за вмістом металів

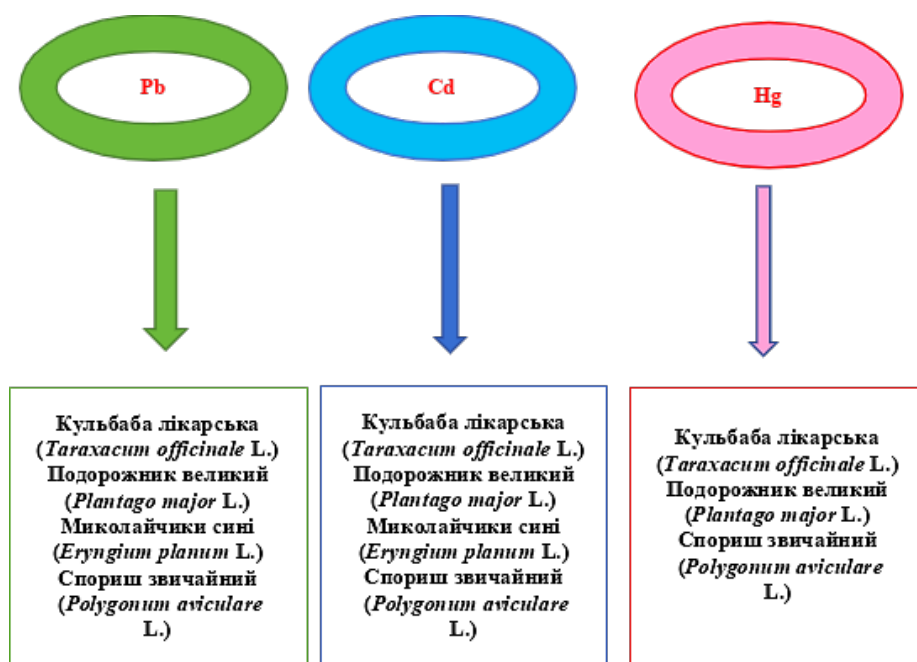


Рис. 5. Видова чутливість рослин щодо вмісту металів у фітомасі

Таблиця 4

Коефіцієнти біоаккумуляції Pb, Cd, Hg системи «грунт-рослина»

Рослина	Коефіцієнт біоаккумуляції		
	Pb	Cd	Hg
Горіх волоський (<i>Juglans regia</i> L.)	0,50	0,67	1,89
Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)	0,48	0,56	1,67
Деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i> L.)	0,12	0,39	0,33
Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	0,34	0,74	0,65
Подорожник великий (<i>Plantago major</i> L.)	0,32	0,65	0,65
Миколайчики сині (<i>Eryngium planum</i> L.)	0,33	0,84	0,66
Спориш звичайний (<i>Polygonum aviculare</i> L.)	0,2	0,62	1,18
$v, \%$	38,76	20,96	54,44
Стандартне відхилення (σ)	0,14	0,14	0,59
Дисперсія (S^2)	0,02	0,02	0,35

(*Achillea millefolium* L.) відрізнявся достовірно меншими значеннями вмісту всіх металів у фітомасі (рис. 4). Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* L.) характеризувалась більшим вмістом свинцю з усіх досліджуваних рослин, що може бути пов'язано із наявністю безбар'єрного механізму поглинання цього металу.

Загалом *Taraxacum officinale* L. та *Plantago major* L. відрізнялися найбільшими абсолютними значеннями вмісту усіх металів (рис. 4), що може бути використано для фітореMediaції при забрудненні ґрунтів кадмієм, свинцем і ртуттю.

Коефіцієнти біоаккумуляції свинцю варіювали від 0,12 до 0,5, кадмію – від 0,39 до 0,74, ртуті від 0,33 до 1,89 відповідно. Найбільшими коефіцієнтами біоаккумуляції та помірною варіацією (30 % > v < 70 %) коефіцієнта біоаккумуляції характеризувався ртуттю, що свідчить як про різну видову чутливість щодо біодоступності металу, так і вплив середовища на біоаккумуляцію у рослин (табл. 4). Так, деревій звичайний мав різні коефіцієнти біоаккумуляції ртуті і свинцю на різних досліджуваних ділянках, що відрізнялися рівнем вмісту металів у ґрунті.

Хоча коефіцієнт кореляції між вмістом ртуті у ґрунті та рослині був найменшим серед усіх металів і становив 0,02. Коефіцієнт кореляції між вмістом кадмію у ґрунті та рослині був найвищим і становив 0,89, а свинцю – 0,61 відповідно, що свідчить про помірну кореляцію між вмістом цих металів у ґрунті та рослинами (рис. 6). Утім визначення повнішої кореляції між вмістом у ґрунті та рослині потребує подальших уточнюючих досліджень.

Коефіцієнти біоаккумуляції кадмію та свинцю мали низький рівень варіації, що свідчить про слабку варіативність біодоступності вище зазначених металів для різних видів рослин.

Juglans regia L. відрізнявся достовірно найбільшим коефіцієнтом біоаккумуляції ртуті та свинцю (рис. 6).

Найменшими коефіцієнтами біоаккумуляції відмічався деревій звичайний на досліджуваній ділянці м. Кривий Ріг, перехрестя вулиці Миколи Ходича та проспекта Карла Маркса.

Головні висновки. З'ясовано, що за показниками валовий вміст кадмію, свинцю та ртуті у ґрунті не перевищував встановлені нормативи гранично допустимих концентрацій. Найбільші значення валового вмісту у ґрунті мав свинець. Найменші значення вмісту свинцю та ртуті були зафіксовані

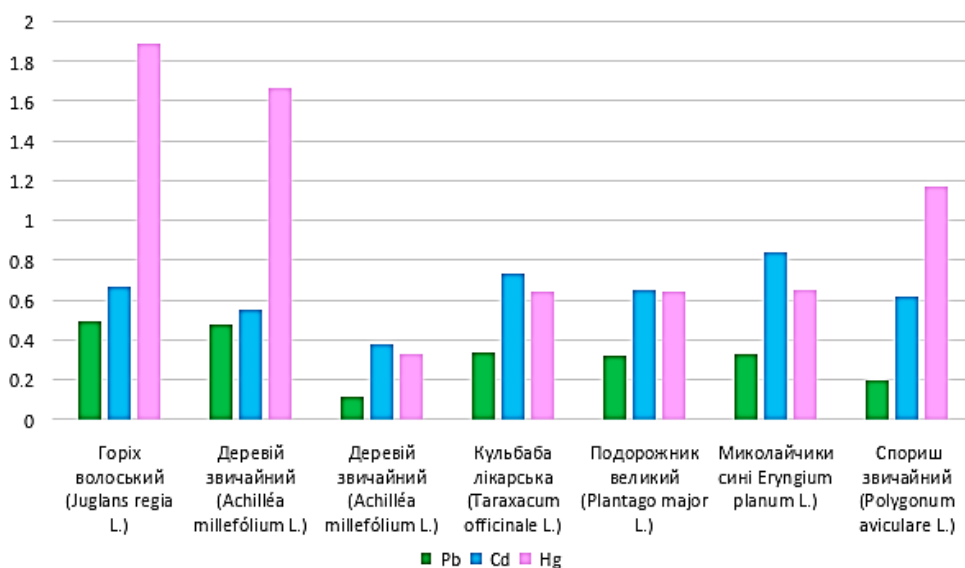


Рис. 6. Порівняння рослин за коефіцієнтами біоаккумуляції Cd, Pb, Hg

на вулиці Етузістів, найбільші – у межах пішохідного мосту, що по вулиці Дідро. Остаточні достовірні висновки щодо закономірностей розподілу вмісту металів у 0–20 см шарі ґрунту (залежно від розташування кар'єру «Південний») стане можливим за умови формування більшої вибірки значень у динаміці за часом та отримання рухомої форми металів у ґрунті.

Визначено, що вищими значеннями вмісту у фітомасі всіх досліджуваних рослин відрізнявся свинець порівняно із кадмієм та ртуттю. З огляду на те, що досліджувані рослини здебільшого використовуються традиційно в Україні як лікарські, доцільно було б регламентувати у них вміст кадмію, свинцю і ртуті. Так, приміром, деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.) відрізнявся достовірно меншими значеннями вмісту всіх металів у фітомасі на ділянці м. Кривий Ріг – перехрестя вулиці Миколи Ходича та проспекту Карла Маркса. Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* L.) порівняно з усіма досліджуваними рослинами, відрізнялася значнішим вмістом свинцю, що може бути пов'язано із наявністю безбар'єрного механізму поглинання цього металу. Така властивість рослин може бути використана для фіторе mediaції при забрудненні ґрунтів.

Розраховані коефіцієнти біоаккумуляції свинцю, які варіювали від 0,12 до 0,5, кадмію – від 0,39

до 0,74, ртуті – від 0,33 до 1,89 відповідно. Найбільшими коефіцієнтами біоаккумуляції та помірною варіацією (30 % > v < 70 %) коефіцієнта біоаккумуляції характеризувався ртуть, що свідчить як про різну видову чутливість щодо біодоступності металу, так і вплив середовища на біоаккумуляцію у рослин. Отже, коефіцієнти біоаккумуляції кадмію та свинцю мали низький рівень варіації, що свідчить про слабку варіативність біодоступності вище зазначених металів для різних видів рослин у досліджуваних умовах. За значенням коефіцієнта біоаккумуляції визначено такий ряд рослин: *Juglans regia* L. > *Polygonum aviculare* L. > *Taraxacum officinale* L. > *Eryngium planum* L. > *Plantago major* L. > *Achillea millefolium* L.

Перспективи використання результатів дослідження. Оскільки фітомаса *Taraxacum officinale* L. мала більший вміст свинцю з усіх досліджуваних рослин, то така властивість видів рослин може бути використана для фіторе mediaції при забрудненні ґрунтів. Результати досліджень можуть бути використані для уточнення екологічного моніторингу досліджуваної території, а також у процедурах оцінки впливу на довкілля та стратегічної екологічної оцінки з метою поліпшення стану компонентів довкілля на території Криворізького залізничного басейну.

Література

1. Soil contamination by heavy metals (2012). Europe environmental agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/soil-contamination-by-heavy-metals>
2. Contamination from local sources (2020). European Environmental Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/soil/soil-threats>
3. Carmen Cristina Elekes (2014). Assessment of Historical Heavy Metal Pollution of Land in the Proximity of Industrial Area of Targoviste, Romania, Environmental Risk Assessment of Soil Contamination, Maria C. Hernandez-Soriano, IntechOpen, DOI: 10.5772/58304. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/46304>
4. Hannah Morgan, Róisín De Búrca, Ian Martin and Jo Jeffries (2009). Soil Guideline Values for mercury in soil. Science Report SC050021 / Mercury SGV. Esdat Environmental Database Management Software. 11 p.
5. Crommentuijn T., Polder M. D., Vab de Plasche E. J. (1997). Maximum Permissible Concentration and Negligible Concentration for metals. Taking Background Concentration into account. Netherlands. 260 p.
6. Самохвалова В., Фатеев А., Лучникова Є., Ликова О. (2019). Еколого-геохімічні дослідження вмісту різних форм Co, Ni, Cr у ґрунтах різного генезису в Україні. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2012. Випуск 60. С. 171–181.
7. Martín F., Simón A., García I., Romero A., González V. (2014). Pollution of Pb in Soils Affected by Pyrite Tailings: Influence of Soil Properties in book *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*, Edited by Maria C. Hernandez Soriano. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/46128>
8. Wuana Raymond A., Okieimen Felix E. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Notices*. Vol. 2011. URL: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/402647/>
9. Kubier A., Wilkin R. T., Pichler T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Appl Geochem*. Pp. 108:1–16.
10. Gworek B., Dmuchowski W. & Baczewska-Dąbrowska A. H. (2020). Mercury in the terrestrial environment: a review. *Environ Sci Eur*. Vol. 32, 128. URL: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-020-00401-x#citeas>
11. Ryzhenko N., Yastrebtsova N., Ryzhenko D. (2020). Cd and Pb In The "Soil-Plant" System of Holosiyiv Green Park Area in Kyiv. *Polish Journal of Soil Science*. Vol. 53 (2). Pp. 200–210.
12. Kabata-Pendias Alina, Mukherjee Arun B. (2007). Trace Elements from Soil to Human. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag. 550 p.
13. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). 2021. UNECE. URL: <https://unece.org/about-ghs>
14. Доспехов Б. А. (1985). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Ленинград : Агропромиздат. 351 с.
15. Ивантер Э. В., Коросов А. В. (2010). Элементарная биометрия : учеб. пособие. Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 104 с.
16. Якість ґрунту. Вибір проб ґрунту: ДСТУ 4287:2004 [Чинний від 2005–01–07]. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 9 с. (Національний стандарт України).

17. «Сырьё и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов», Киев Госстандарт Украины 2001.
18. What are the main pressures on Europe's nature? Infographic. (2021). European Environmental Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2021/infographics/what-are-the-main-pressures/view>
19. Heavy metal emissions in Europe. Indicator Assessment (2021). European Environmental Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea32-heavy-metal-hm-emissions-2/assessment>
20. Indicator Assessment. Heavy Metal Emissions (2021). European Environmental Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea32-heavy-metal-hm-emissions-1/assessment-10>
21. Global Mercury Assessment Sources, emissions, releases and environmental transport. UNEP Chemicals and Health Branch, Geneva, Switzerland (2019). URL: <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/mercury/global-mercury-assessment>
22. Клімат. Кривий Ріг, 2021.
23. Методичні вказівки «Визначення вмісту ртуті в об'єктах виробничого, навколишнього середовища і біологічних матеріалах», затверджені Наказом МОЗ України № 263 від 10.06.2005. Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0263282-05#Text>
24. Державні гігієнічні правила і норми «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах». Наказ МОЗ 13.05.2013, № 36. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0774-13>

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГАЗОТУРБІННОГО ПРИВОДУ ГАЗОПЕРЕКАЧУЮЧИХ АГРЕГАТІВ

Кулик М.П.¹, Павлюк Л.І.², Козак Л.Ю.²

¹Товариство з обмеженою відповідальністю «Євроекоскоп»
вул. Антоновича, 123А, 79029, м. Львів

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська 15, 76019, м. Івано-Франківськ

Важливою ознакою незалежності будь-якої держави є її енергетична безпека, складовою частиною якої вважається також і екологічна безпека потенційно небезпечних об'єктів та технологічних процесів. До таких об'єктів належать об'єкти нафтогазової галузі, зокрема об'єкти газотранспортної системи (ГТС) України. В роботі розглянуті джерела утворення та перелік шкідливих речовин, які викидаються у атмосферне повітря об'єктами газотранспортної системи, а саме компресорні станції (КС) лінійної частини ГТС та підземних сховищ природного газу. Показано, що екологічна небезпека таких об'єктів суттєво зростає у випадку роботи КС на газотурбінному приводі.

А до переліку шкідливих речовин, які викидаються в атмосферне повітря, відносяться метан, як основна складова природного газу, а також оксиди азоту та вуглецю, що з різних причин викидаються в атмосферу. Деякі леткі шкідливі інгредієнти із згаданого переліку належать до парникових газів, які не тільки руйнують озоновий шар атмосфери, а і приводять до появи кислотних дощів. Основним технологічним обладнанням, в якому утворюється вказані шкідливі речовини, є камера згорання газової турбіни, як складова частина газо-перекачувального агрегату. Пропонується подавати на спалювання природного газу атмосферне повітря, збагачене киснем. Проведений аналіз наявних методів збагачення, та підтверджено аналітичним способом, що найбільш доцільно прим цьому використання мембранних технологій.

Використання повітря, збагаченого киснем, окрім чисто екологічного ефекту приводить, як витікає із матеріалів статті, до техніко-економічної вигоди. До таких переваг відноситься підвищення температури в зоні горіння, через зниження частки вільного азоту, а значить і зниження утворення оксидів азоту, реакція утворення яких є ендотермічною. Це приводить навіть до зменшення кількості природного газу для використання на власні потреби, а також до зниження енергетичних затрат на привід вентиляційного обладнання для продуктів спалювання. Також слід очікувати позитивних покращень і в плані декарбонізації виробництва. *Ключові слова:* газотурбінна установка, відцентровий нагнітач, газомотокомпресор, оксиди азоту, парникові гази, атмосферне повітря, кисень, мембранні технології, декарбонізація.

Increasing environmental safety of gas turbine drive of gas pumping units. Kulyk M., Pavliuk L., Kozak L.

An important sign of the independence of any state is its energy security, part of which is also considered to be the environmental security of potentially dangerous objects and technological processes. Such facilities include oil and gas industry, in particular gas transmission system (GTS) of Ukraine. The paper considers sources of formation and a list of harmful substances emitted into the atmosphere by the gas transmission system objects, namely compressor stations (CS) of the linear part of the GTS and underground natural gas storage facilities. It is shown that environmental hazard of such facilities significantly increases in case compressor stations operation is gas turbine driven.

The list of harmful substances emitted into the atmosphere includes methane, as the main component of natural gas, as well as nitrogen and carbon oxides, which are emitted into the atmosphere for various reasons. Some volatile harmful ingredients from this list are greenhouse gases, which not only destroy atmosphere ozone layer, but also lead to acid rain. The main technological equipment in which these harmful substances are formed is a gas turbine combustion chamber, which is an integral part of the gas pumping unit. It is proposed to supply oxygen enriched atmospheric air for natural gas combustion. The analysis of available methods of enrichment is carried out, and it is confirmed by an analytical way that use of membrane technologies is the most advisable.

The use of oxygen enriched air, in addition to the purely environmental effect, leads, as the article suggests, to technical and economic benefits. Such advantages include an increase in temperature in the combustion zone, due to a decrease of free nitrogen ratio, and hence a decreased formation of nitrogen oxides, the formation of which is endothermic. This even leads to a reduction of the amount of natural gas for own use, as well as a reduction in energy costs for the operation of ventilation equipment for combustion products. Positive steps should also be expected in terms of production decarbonization. *Key words:* gas turbine unit, centrifugal supercharger, gas motor compressor, nitrogen oxides, greenhouse gases, atmospheric air, oxygen, membrane technologies, decarbonization.

Вступ. Газотранспортна система (ГТС) України на сьогоднішній день є досить важливим об'єктом газового комплексу, який може забезпечити енергетичну незалежність держави та вносити в її бюджет відповідні грошові кошти. Газоперекачувальні агрегати (ГПА) компресорних станцій (КС) магістральних газопроводів та підземних сховищ спроектовані, побудовані та тривалий час експлуатуються із можливим подвійним приводом газоперекачуваль-

ного обладнання. На КС магістральних газопроводів використовують відцентрові нагнітачі (ВН) із електроприводом та з приводом від газотурбінних установок (ГТУ), а також поршневі газомотокомпресори. Газотурбінний привід порівняно із електроприводом має ряд переваг, які полягають у можливості простішого регулювання режиму роботи нагнітача шляхом зміни швидкості обертання нагнітача. Чи не єдиним недоліком слід вважати

значні витрати газу на запуск агрегата та суттєвий вплив [1, 2] на навколишнє середовище.

При спалюванні газу в газовій турбіні ГПА в навколишнє середовище, а саме в атмосферне повітря, викидається певна кількість шкідливих речовин, в тому числі парникових газів, серед яких необхідно виділити двоокис вуглецю CO_2 та закис азоту N_2O . А під час спалювання суміші природного газу та атмосферного повітря, в якому міститься майже 79 % вільного азоту, останній перетворюється на окис NO та двоокис NO_2 . Їхню суміш прийнято називати окислами азоту NO_x , а її пов'язують також з появою кислотних дощів, фотохімічних смогів, виснаженням і руйнуванням захисного озонового шару Землі. Доцільно зауважити ще, що хімічна реакція утворення оксидів азоту є ендотермічною, що приводить до зниження температури димових газів та зменшення коефіцієнта корисної дії газової турбіни.

Крім того, об'єкти ГТС викидають ще так звані «леткі гази» через негерметичність різноманітних газових комунікацій, як технологічних, так і допоміжних, а також запірної та регулюючої арматури, яка насичена технологічною обв'язкою. Серед таких шкідливих інгредієнтів виділяється основний цінний газ – метан CH_4 . Оцінка обсягів таких витоків приведена в роботі [3], причому частка на продукти спалювання складає, в загальному обсязі, лежить в межах 30 %.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій. В склад традиційної ГТУ входять повітряний компресор, камера згоряння і газова турбіна, а також допоміжні системи, що забезпечують її роботу. Така ГТУ може використовуватися як для приводу ГПА, так і для виробництва додаткової електричної енергії. Вал газової турбіни може бути з'єднаний з будь-якими технологічними механізмами, зокрема із відцентровими нагнітачами. Сукупність ГТУ і електричного генератора називають зазвичай газотурбінним агрегатом. Спрощена принципова схема такої ГТУ показана на рис. 1, запозичена із книги 3 колективної монографії [4].

Атмосферне повітря поступає на вхід компресора, що виконаний у вигляді роторної турбомашини з обертовими та нерухомими лопатками. Відношення тиску за компресором p_b до тиску атмосферного повітря перед ним p_a називають ступенем стискування повітряного компресора і позначають як $\Pi = p_b / p_a$. Ротор компресора приводиться в рух газовою турбіною. Потік стисненого повітря подається в одну або дві і більше камер згоряння. При цьому потік стисненого повітря від компресора здебільшого розділяється на два потоки.

Потік стиснутого повітря направляється до паликових пристроїв, куди також поступає паливо (газове або рідке). При спалюванні утворюються продукти згоряння високої температури, до них підмішується відносно холодне повітря для отримання

робочого газу з допустимою для деталей газової турбіни температурою.

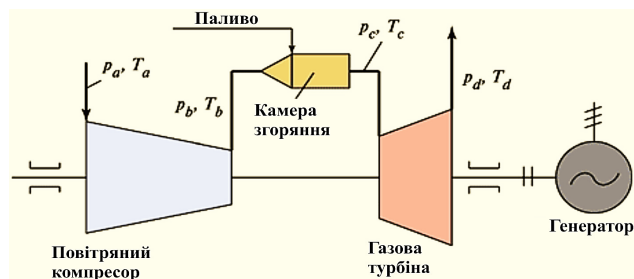


Рис. 1. Принципова схема газотурбінної установки

Температура газів після ГТУ досить висока, і значна кількість теплоти, отриманої при спалюванні палива, у прямому розумінні, вилітає в димову трубу. Тому в автономному режимі роботи ГТУ її коефіцієнт корисної дії досить низький.

Ситуація кардинальним чином змінюється при встановленні на «вихлопі» ГТУ теплообмінника (регенератора, мереженого підігрівника або котла – утилізатора для комбінованого циклу).

Ідея створення комбінованих парогазових установок для генерації електричної енергії, які використовують продукти згоряння палива та водяну пару, як робоче середовище, вперше була озвучена французьким вченим Саді Карно на початку XIX століття. Карно запропонував схему поршневої парогазової установки і обґрунтував головну умову створення ефективної парогазової установки – використання продуктів спалювання в газовій турбіні з одночасною утилізацією теплоти відхідних газів для отримання водяної пари робочих параметрів для парової турбіни. З часом після по мірі розвитку парових та газових турбін вдалося практично реалізувати цю геніальну ідею.

Парогазові установки первісно розраховані на роботу на газоподібному паливі через наявність в їх складі газової турбіни. У той же час через істотні переваги ГТУ перед іншими видами енергетичних установок проявляються у випадку, коли в енергетичних установках використовують тверде паливо. Це вкрай важливо для умов України при обмежених запасах нафти і газу та великих запасах вугілля, а також і для інших держав зі схожими природними умовами.

Разом з тим, ще в 50-і роки минулого століття німецькими інженерами (див. патент ФРГ № 839290, 1944 р.), була запропонована принципова схема паросилової енергетичної установок, для роботи газової частини якої використовується традиційне тверде паливо, зокрема очищені димові гази. При цьому лопатки газової турбіни працюють у важких умовах через наявність в гарячих продуктах згоряння твердих включень та інших агресивних компонентів. Для усунення таких недоліків потрібно використовувати проміжне робоче середовище.

Теплова схема та цикл парогазової установки залежить від її виду. Парогазові установки є одним із видів більш широкої групи комбінованих установок із паровими та газовими турбінами, при цьому важливе значення для ефективного їх функціонування мають внутрішні зв'язки між газовим та паровим циклами, які можуть по своїй структурі змінними. Класифікація комбінованих енергетичних установок зроблена Інститутом технічної теплофізики НАН України.

Комбіновані парогазові енергетичні установки бувають бінарними та монарними, тобто із окремими та змішаними контурами циркуляції робочого тіла – водяної пари та газу. Комбіновані установки з розділними контурами робочих тіл виконуються з котлом-утилізатором, або з парогенератором. В установках з котлом – утилізатором більша частка потужності виробляється в газовому контурі. Витрата палива в таких установках в основному припадає на газовий контур, в якому коефіцієнт надлишку повітря зазвичай в діапазоні 1.3–2.5, тому для стискування надлишкового повітря витрачається значна частка роботи турбіни. Ці затрати можна зменшити, якщо зменшити коефіцієнт надлишку повітря, що досягається за рахунок введення додаткового робочого тіла, яке потребує значно менших затрат на його стискування. Роль такого робочого тіла з успіхом відіграє водяна пара. При цьому відносна витрата введенного середовища може сягати 50–60 % витрати повітря. Відповідно збільшується потужність ГТУ та росте її к. к. д.

Газопарові установки поділяються на установки із вприскуванням пари (STIG) і на установки із вприскуванням в газовий тракт води або пароводяної суміші (НАТ і СНАТ). В першому випадку пара, яка генерується в котлі-утилізаторі

вводиться в тракт високого тиску після компресора (в камеру згоряння).

Газопарові установки поділяються на установки із вприскуванням пари (STIG) і на установки із вприскуванням в газовий тракт води або пароводяної суміші (НАТ і СНАТ). В першому випадку пара, яка генерується в котлі-утилізаторі вводиться в тракт високого тиску після компресора (в камеру згоряння).

Газопарові установки поділяються на установки із вприскуванням пари (STIG) і на установки із вприскуванням в газовий тракт води або пароводяної суміші (НАТ і СНАТ). В першому випадку пара, яка генерується в котлі-утилізаторі вводиться в тракт високого тиску після компресора (в камеру згоряння).

В установках типу «Водолій» [5] цей недолік усунутий вводом контактної конденсатора, в якому конденсується відпрацьована водяна пара, а сама вода знову повертається в процес. Принципова схема згаданої установки приведена на рис. 2.

Установка включає вдосконалений серійний газотурбінний двигун ГТД ДС-90, утилізаційний парогенератор КУП-3100, контактний конденсатор КК-90, систему охолодження води, що подається в контактний конденсатор.

На експериментальному стенді було досягнуто значення к. к. д. в діапазоні 40–41 %, а викиди оксидів азоту NO_x та оксиду вуглецю не перевищували 50 мг/нм^3 . У 1995 році в Україні підприємством ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» була пущена в дію випробувальна повнорозмірна контактна газопаротурбінна установка «Водолій-25» потужністю 25 МВт.

Проведені розрахунки [5] показують, що у перспективних установках типу «Водолій» можливе

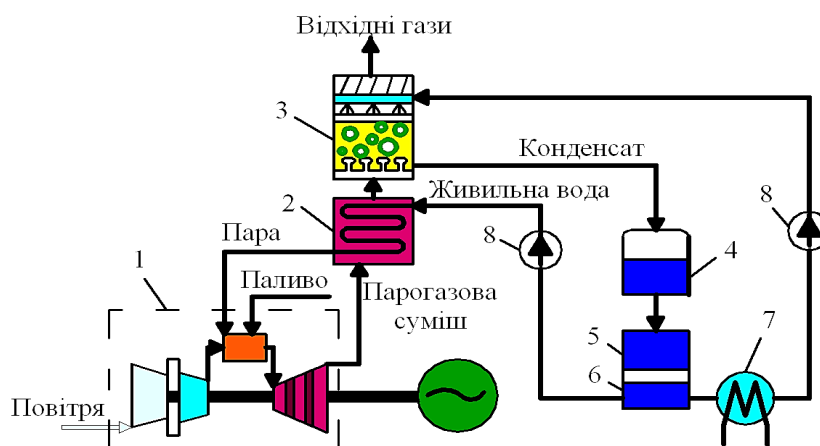


Рис. 2. Принципова теплова схема

контактної газопарової установки «Водолій»

1 – газотурбінний двигун, 2 – паровий котел-утилізатор,

3 – контактний конденсатор, 4 – збірник конденсату,

5 – блок очищення конденсату, 6 – витратний бак живильної води,

7 – охолоджувач води, 8 – насос подачі живильної води

отримання загального к. к. д. в діапазоні 55–57 %. Одночасно при цьому потужність ГТД можна збільшити на 30–60 %, а економія палива може складати 20–25 %. На нашу думку, на цьому перспектива вдосконалювання. На нашу думку, на цьому перспектива вдосконалювання такого типу установок ще зовсім не вичерпана.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Одним із найважливіших факторів, який визначає ефективність спалювання органічного палива (твердого, рідкого чи газоподібного) є виключення атмосферного азоту від участі в процесі згорання [6]. Таке виключення тягне за собою, при збільшенні в паливо-повітряній суміші вмісту окислювача (збагаченого киснем (до 40 %) атмосферного повітря), відмову від використання коефіцієнта надлишку повітря. А це означає скорочення об'єму димових газів, одночасно із зменшення концентрації окислів азоту, а також суттєве скорочення валових викидів в часовому форматі (т/рік). Це приводить не тільки до підвищення рівня екологічної безпеки, але і до зменшення нарахувань за викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря.

Слід зауважити, що реакція утворення оксидів азоту відноситься до ендотермічних процесів, що впливає на зниження температури продуктів згорання, що не може не вплинути на зниження коефіцієнта корисної дії.

Вказана пропозиція в час її першого озвучення у виступі на профільній конференції [6] у Дніпропетровському науково-дослідному екологічному інституті виглядала майже фантастичною, а сьогодні вже стає реальністю, та має значні перспективи завдяки розвитку мембранних технологій [7].

Для переведу ГТУ «Водолій» на спалювання газотурбінного палива з використанням збагаченого киснем атмосферного повітря необхідно на лінії стиснутого повітря від компресора до камери спалювання вставити мембранний модуль потрібної продуктивності та концентрації, відповідно до діаграми, приведеної на рис. 3.

Застосування кисню під час спалювання має такі переваги: високу концентрацію теплової потужності, високу температуру горіння, невеликий у порівнянні із горінням у повітрі об'єм продуктів спалювання, а отже і менші втрати тепла із відхідними газами, збільшення теплового потоку внаслідок підвищення концентрації в продуктах горіння випромінюючих триатомних газів, турбулізацію потоку продуктів горіння, що збільшує тепловіддачу конвекцією, рекомбінацію дисоційованих продуктів згорання на поверхні, що нагрівається з передачею їй значної частини прихованої теплоти в технологіях прямого спалювання газокисневим полум'ям [8]. В роботі [9] приведені залежності температури горіння від концентрації кисню при спалюванні природного газу в середовищі атмосферного повітря, збагаченого киснем. З наведеної там графічної залежності витікає, що найбільше зростання температури горіння відбувається за концентрації кисню до 40 %, при більш високих значеннях концентрацій ріст температури сповільнюється по причині збільшення затрат теплоти на дисоціацію продуктів горіння.

Методи утворення шкідливих речовин, що утворюються при спалюванні органічного (твердого, рідкого та газоподібного) палива, в тому числі і найбільш небезпечних компонентів – до яких по своїй

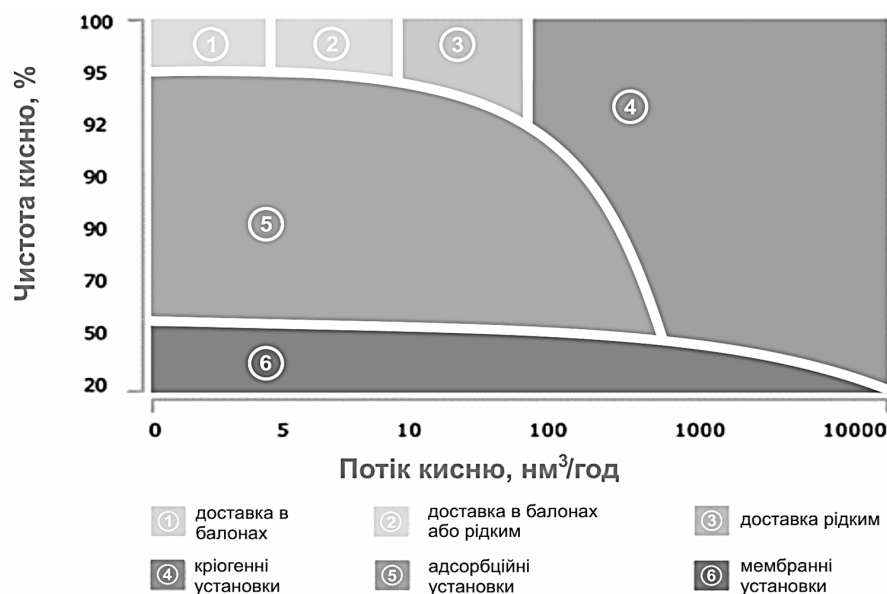


Рис. 3. Якісна характеристика процесу отримання кисню розділенням повітря за допомогою розглянутих технологій та способів доставки споживачу

токсичності, слід віднести різні оксиди азоту, приведені в фундаментальній роботі [10].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є аналітичні дослідження переваг використання збагаченого киснем атмосферного повітря при спалюванні природного газу в газотурбінних установках, як при його транспортуванні, а також на підприємствах теплопостачання для обслуговування промислових та побутових споживачів.

Висвітлення основного матеріалу дослідження.

Для виявлення якісних та кількісних параметрів процесу спалювання природного газу в газовій установці “Водолій” з газовою турбіною потужністю 25 МВт необхідно провести орієнтовні розрахунки об’ємів природного газу, димових газів, включаючи сумарну кількість оксидів азоту NO_x (в тому і оксид азоту N_2O) з використанням при цьому атмосферного повітря із звичайним вмістом кисню на рівні приблизно 20,9 % за об’ємом. Крім того, такі розрахунки слід також провести для випадку спалювання в атмосферному повітря, збагаченому киснем до рівня 30 і 40 %, що досить легко досягається мембранними методами, як видно із графіка на рис. 3.

Газова турбіна вказаної потужності споживає протягом однієї секунди $g_i = 2.5125 \text{ м}^3/\text{с}$ природного газу (див. технічний паспорт). Річна витрата X_g природного газу з врахуванням часу роботи близько $T_p = 8000 \text{ год/рік}$

$$X_g = g_i \cdot T_p = 2.5125 \cdot 8000 \cdot 3600 = 72\,360\,000 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

Витрата палива за рік B в тонах з врахування його густини $\rho = 0.723 \text{ кг/м}^3$ визначається за допомогою наступного виразу $B = X_g \cdot \rho$, що після підстановки конкретних значень множників приведе до $B = 72\,360\,000 \cdot 0.723 = 52\,316\,280 \text{ кг} \approx 52\,316.3 \text{ т}$.

Відомі науковій спільноті методики визначення обсягів відхідних (димових) газів та кількісний склад продуктів спалювання приведені в різноманітній технічній літературі, зокрема в [10, 11], є досить складними та потребують знання не тільки теплофізичних характеристик компонентів природного газу та атмосферного повітря (як окислювача). На вказані обсяги викидів шкідливих речовин (крім відхідних газів, нас цікавитиме вміст оксиду NO та діоксиду NO_2 азоту) суттєво впливають режимні характеристики процесу спалювання. Основним і досить важливим із їхнього числа є коефіцієнт надлишку α повітря, який визначається відношенням дійсної кількості окислювача до теоретично необхідної кількості згідно із стехіометричним рівнянням, та характеризує якість горючої суміші. Для спрощення в подальшому наших розрахунків приймемо $\alpha = 1$, оскільки вказаний коефіцієнт не може вважатися інформативним для вибраної нами мети дослідження.

Для підтвердження наших припущень, стосовно ефективності зменшення викидів оксидів

азоту при спалювання природного газу в суміші із атмосферним повітрям, збагаченого киснем, наведемо нескладні розрахунки з використанням методики [11] ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин в атмосферу від енергетичних установок», яка затверджена Мінекології та природних ресурсів і Міністерством палива та енергетики України. Цей керівний нормативний документ, рекомендований для використання при заповненні річної статистичної звітності за ф. № 2-ТП (повітря) з метою визначення емісії забруднювальних речовин з врахуванням робочої теплоти згорання палива. Кінцеві результати таких розрахунків використовуються для обчислення розмірів платежів в державний та місцевий бюджети суб’єктами господарювання згідно Податкового Кодексу України.

Із описаних в роботах [10, 11] та широко відомих наявних методиках розрахунку обсягів викидів забруднювальних речовин, які надходять в атмосферне повітря з відхідними газами від енергетичної установки, використаєм методику, рекомендовану Мінпаливенерго та погоджену із Міністерством екології та природних ресурсів. Рекомендована спрощена методика базується на використанні виразу

$$E_j = 10^{-6} k_j B_i Q_i^r \quad (1)$$

в якому:

E_j – валовий викид j -забруднювальної речовини за певний період часу, т;

K_j – показник емісії j -забруднювальної речовини при спалюванні i -палива, г/ГДж;

B_i – витрата палива за звітний період, т;

Q_i^r – нижча робоча теплота згорання i -палива, МДж/кг

Вираз (1) містить три змінні величини, з яких найбільшою невизначеністю характеризується нижча теплотворна здатність газоподібного палива. Така характеристика природного газу, як і інших горючих газів, змінюється внаслідок впливу як контрольованих, так і випадкових факторів.

Відомий лабораторний метод визначення теплоти згорання [12], суть якого полягає у повному згорянні визначеної кількості газу в атмосфері стиснутого кисню у герметично закритій металевій посудині – калориметричній бомбі. Її розміщують в калориметричній термостат, заповненим певною кількістю води. По величині збільшені температури води розрахунковим способом встановлюють кількість тепла, яке виділилось при спалюванні горючого (природного, попутного чи будь-якого іншого). А додаткову енергію утворення водних розчинів азотної і сірчаної кислот визначають відомими методами хімічного аналізу.

Якщо теплотворна здатність газоподібного палива невідома, то її можна розрахувати при допомозі емпіричної формули, яку запропонував Д. І. Менделєєв. Для цього необхідно знати елементарний склад палива та теплотворну здатність кож-

ного компонента, що є характерним для природного газу чи будь-яких горючих газових сумішей. Автори роботи [13] стверджують, що похибка таких розрахунків по вказаній методиці не буде перевищувати 10 % відн.

Склад природного газу не є стабільним, та змінюється в досить широких межах в залежності від родовища, режиму та надійної роботи установок попередньої підготовки газу (УППГ) і комплексної підготовки (УКПГ), умов зберігання в підземних сховищах (ПСГ) газу. Характерний склад природних газів і значення вищої та нижчої теплоти згорання конкретних компонентів за нормальних умов (абсолютному тиску $P_c = 101,315$ кПа і абсолютній температурі $T_c = 293,15$ °К) приведені в фундаментальній роботі [14]. Для визначення та підрахунку потреби в паливі, коефіцієнта корисої дії установки та складання теплового балансу використовують нижчу теплоту згорання. В нижче приведеній таблиці 1 подані усереднені кількісні та якісні характеристики природного газу.

Таблиця 1
Склад природного газу та нижча
теплота згорання його компонентів

Характеристика	Метан (CH_4)	Етан (C_2H_6)	Пропан (C_3H_8)	Бутан (C_4H_{10})	Пентан (C_5H_{12})	Сума (N_2, CO_2)
Частка (%)	93.5	2.8	1.7	0.9	0.4	0.7
Нижча теплота Q_{ir} (МДж/м ³)	35.88	64.36	93.18	123.18	161.36	—

Відповідно до формули Д. І. Менделєєва сумарна нижча теплота згорання природного газу визначається за виразом $Q_{\text{сум.}} = \sum Q_i^r \cdot k_i$, де k_i – відносна частка i -ої компоненти,

$$Q_{\text{сум.}} = 35,88 \cdot 0,935 + 64,36 \cdot 0,028 + 93,18 \cdot 0,017 + 123,18 \cdot 0,009 + 161,36 \cdot 0,004 = 38,687 \text{ (МДж/м}^3\text{)}$$

З врахуванням густини природного газу ($\rho_g = 0,723$ кг/м³) теплотворна масова здатність природного газу 27,97 МДж/кг.

Кількість необхідного атмосферного повітря для згорання 1 м³ природного газу при звичайній концентрації кисню (приблизно 21 %) визначається [15, с. 194–196] при допомозі нижче приведеного стехіометричного рівняння

$$V_o = [(0,5\text{CO} + 0,5\text{H}_2 + 1,5\text{H}_2\text{S} + \sum (n + m/4)\text{C}_n\text{H}_m - \text{O}_2)] / 21. (2)$$

Враховуючи реальний склад природного газу, приведеного в таблиці 1, а також зважаючи на те, що при його видобутку на реальному родовищі працюють установки попередньої (УППГ) чи комплексної (УКПГ) підготовки газу для подальшого транспортування до місця використання чи збері-

гання. В результаті такої процедури із газової суміші видаляються шкідливі домішки та залишаються, як видно із таблиці, горючі компоненти, вираз (2) дещо спрощується

$$V_o = (2\text{CH}_4 + 3,5\text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{C}_3\text{H}_8 + 6,5\text{C}_4\text{H}_{10} + 8\text{C}_5\text{H}_{12}) / 21 \quad (3)$$

а після підстановки у вираз (3) конкретних величин із таблиці 1 отримаємо реальне значення об'єму атмосферного повітря, що необхідно подати в камеру згорання ГТУ для спалювання 1 м³ природного газу при звичайній кон-центрації (≈ 21 %) кисню в атмосферному повітрі – $V_o = 10,21$ м³.

Об'єм діоксиду вуглецю визначається згідно наступного формульного виразу

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01(\text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_6 + 3\text{C}_3\text{H}_8 + 4\text{C}_4\text{H}_{10} + 5\text{C}_5\text{H}_{12}) \quad (4)$$

що після підстановки відповідних значень із таблиці 1 приведе до $V_{\text{CO}_2} = 1,02$ м³/м³.

Частка азоту в продуктах згорання одиничного об'єму природного газу, при умові, що коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1$ визначається у відповідності до наступного виразу

$$V_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot V_o + 0,01 \cdot \text{N}_2 = 0,79 \cdot 10,21 + 0,01 \cdot 0,007 = 8,066 \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5)$$

Об'єм водяної пари в продуктах згорання того ж об'єму природного газу визначають за виразом

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,5(4 \cdot \text{CH}_4 + 6 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 8 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 10 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 12 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12}) = 0,5(4 \cdot 0,35 + 6 \cdot 0,028 + 8 \cdot 0,017 + 10 \cdot 0,009 + 12 \cdot 0,004) = 2,09 \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6)$$

а об'єм всіх відхідних газів при спалюванні 1 м³ природного газу після сумачії всіх трьох складових $V_{\text{сум}} = 1,02 + 8,07 + 2,09 = 11,18$ м³.

Виходячи із реальних можливостей мембранних технологій збагачення атмосферного повітря киснем, необхідного для спалювання горючої газової суміші (природного газу), виберемо для подальших порівняльних розрахунків наступні значення концентрації кисню (див. графік на рис. 3) – а саме, крім загально прийнятого вмісту, ще значення 30 і 40 % об. Такі значення забезпечуються одним мембранним модулем в області витрат до 1000 нм³/год. Підбір необхідної витрати окислювача забезпечується певною кількістю модулів в батареї, що вибирається нескладним розрахунком. Таким чином усуваються всі обмеження по вказаному параметру.

Аналогічно до виразу (3) необхідна кількість повітря з відповідним вмістом кисню для спалювання 1 м³ природного газу визначається при концентрації кисню у атмосферному повітрі в 30 % згідного наступного виразу

$$V_o = (2\text{CH}_4 + 3,5\text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{C}_3\text{H}_8 + 6,5\text{C}_4\text{H}_{10} + 8\text{C}_5\text{H}_{12}) / 30. \quad (7)$$

Після нескладних обчислень отримуємо 7,145 м³ збагаченого киснем до 30 % атмосферного повітря на 1 куб. метр природного газу для його повного згорання. А при вмісту кисні у збагаченому атмосфер-

ному повітрі до 40 % для обчислення його кількості вираз (7) буде у знаменнику мати значення 40 % замість 30 % об'ємних.

$$V'_o = (2CH_4 + 3,5C_2H_6 + 5C_3H_8 + 6,5C_4H_{10} + 8C_5H_{12}) / 40. \quad (8)$$

З цього витікає, що для спалювання 1 м³ природного газу за відсутності коефіцієнта надлишку повітря потрібно всього $V''_o = 5,359$ м³ збагаченого киснем атмосферного повітря. Підсумовуючи вищевикладене слід акцентувати увагу, що при збільшенні кисню у збагаченому атмосферному повітрі від 21 %, потім до 30 % та в кінці до його концентрації 40 % потреба окислювача буде змінюватися відповідно – від 10,21 м³, через 7,145 м³ до 5,36 м³, тобто падає дещо більше ніж у два рази.

Що стосується об'ємів продуктів горіння, то частка діоксиду вуглецю та водяної пари при збільшенні вмісту кисню не буде змінюватися, а зменшиться тільки частка вільного азоту у димових газах відповідно до збільшення вмісту кисню.

Крім того, об'єм відхідних (димових) газів пропорційно знизиться також, що приведе до зниження енергетичних затрат на привід димовідвідних вентиляторів.

Окремо проведемо розрахунок утворення оксидів азоту, оскільки ці гази по шкідливій дії на навколишнє середовище характеризується найбільшою токсичністю.

Рекомендована [11] методика розрахунку сумарних обсягів викиду оксидів азоту (NO_x та N₂O) з використанням показників емісії ($k_{NO_x} = 64,311$ г/ГДж та $k_{N_2O} = 0,1$ г/ГДж) відповідно виразу (1) при використанні в процесі спалювання атмосферного повітря без збагачення його киснем, а також округливши розрахункову теплотворну здатність природного газу на рівні $Q_i^r = 27,97$ МДж/кг (ГДж/т) до значення 28 тої ж розмірності дозволяє отримати наступні обсяги викидів оксидів азоту

$$\begin{aligned} E_{NO_x} &= 10^{-6} \cdot k_{NO_x} \cdot Q_i^r \cdot B = \\ &= 10^{-6} \cdot 64,311 \cdot 28 \cdot 52316 = 94,21 \text{ т.} \\ E_{N_2O} &= 10^{-6} \cdot k_{N_2O} \cdot Q_i^r \cdot B = \\ &= 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 28 \cdot 52316 = 0,1465 \text{ т.} \end{aligned}$$

Таким чином, для конкретної газотурбінної установки типу «Водолій» потужністю 25 МВт, яка на протязі року може використати для роботи 72,316 млн м³/рік, що рівнозначно 52,316 тис. тон природного газу викидає тільки оксидів азоту 94,36 тон.

В зв'язку з тим, при спалюванні природного газу в атмосферному повітрі, збагаченому киснем до 40 %, а це забезпечується певним набором мембранних модулів, в реакційній суміші суттєво падає парціальний тиск атмосферного азоту. Тобто значно зменшується об'єм сировини для утворення оксидів азоту, найшкідливіших токсичних речовин. Допустивши, що показники емісії в такому процесі зміняться на незначну величину,

частка шкідливих утворень зменшиться пропорційно зменшенню частки атмосферного азоту в атмосферному повітрі, яке поступає в камеру згорання.

Для попереднього оцінювання таких змін необхідно, виходячи із концепції пропорційності швидкості реакції утворення шкідливих речовин, а також їх кількості, парціальному тиску атмосферного азоту в реакційній суміші, обчислити її склад при його звичайній концентрації, та при вмісту окислювача на рівні 30 і 40 % відн. Слід наголосити ще раз, що всі розрахунки в цій роботі ведуться для спалювання 1 м³ природного газу.

Всі дані, що характеризують якісний та кількісний склад реакційної суміші приведені в таблиці 2.

Для деяких інгредієнтів, а це стосується в нашому випадку об'ємів діоксиду вуглецю CO₂ і водяної пари H₂O, у відповідних колонках таблиці 2 для різних концентрацій окислювача об'єми згаданих інгредієнтів однакові за величиною.

Таблиця 2

Склад реакційної суміші для випадку спалювання природного газу в атмосферному повітрі при різному вмісті окислювача.

Вміст кисню (%)	Витрата атм. пов. (м ³)	Об'єм CO ₂ (м ³)	Частка атм. N (м ³)	Вміст H ₂ O (м ³)	Заг. об'єм (м ³)
20,98	10,21	1,02	8,07	2,09	21,39
30	7,145	1,02	≈5	2,09	15,26
40	5,36	1,02	2,144	2,09	10,62

Реальні співвідношення парціального тиску азоту можуть лежати при звичайному його концентрації в атмосферному повітрі, та при збагаченні його до 30 і 40 % відн. на рівні 0,717 та 0,496 відповідно. Валові викиди оксидів азоту можуть бути зниженні від 94,36 тон до 67,66 тон при збагаченому киснем повітрі у 30 % та до 48,8 тон при вмісті кисню у 40 %. Враховуючи похибку у 10 %, можна стверджувати, що навіть при нижчих концентраціях позитивний ефект буде значним.

Висновки. Хімічна реакція утворення оксидів азоту є ендотермічною, що приводить до підвищення температури у факелі, при цьому зростає швидкість реакції, можна зменшити розміри технологічного обладнання, а використання окислювача – збагаченого атмосферного повітря киснем прибирає певну кількість сировини для утворення шкідливих викидів.

Таким чином, модернізація газотурбінних установок шляхом переводу їх на спалювання газотурбінного палива, в тому числі і природного газу, з використанням атмосферного повітря збагаченого киснем (при концентрації до 40 %) може гарантувати досягнення ряду технологічних, екологічних переваг, що в кінцевому результаті позитивно відіб'ється не тільки на енергоощадності.

Література

1. Стан і перспективи розвитку нафтогазового комплексу України / за ред. О. Г. Івченка. Київ : Наукова думка, 2006. 310 с.
2. Лещенко І. Ч. Програмно-інформаційний комплекс управління функціонуванням компресорних станцій магістральних газопроводів для зменшення витрат паливного газу. *Проблеми нафтогазової промисловості*. 2009. Вип. 7. С. 195–205.
3. Лещенко І. Ч. Впровадження сучасних технологій у газотранспортній системі України для зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу. *Проблеми загальної енергетики*. 2010. Вип. 3 (23). С. 41–47.
4. Энергетика. История, настоящее и будущее. От огня и воды к электричеству: в 5 т. / науч. ред. И. Н. Карп, Ю. Н. Ландау. Київ : ООО «Новый друк», 2011. Т. 1. 262 с.
5. Дикий Н. А., Соломаха А. С., Суздальская Е. И. Газотурбинная технология «Водолей» для совместного производства электрической и тепловой энергии. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 2012, № 3. С. 30–33.
6. Гринченко Д. Н., Кулик М. П. Перспективы создания экологически чистых электростанций. *Проблемы и опыт охраны окружающей среды* : сб. материалов докл. республ. науч.-практ. конф. Днепропетровск, 1990. С. 67–69.
7. Кулик М. П., Кравець Т. Ю., Семерак М. М. Аналіз наявних технологій розділення повітря для підвищення ефективності спалювання палива в теплоенергетиці. *Наук.-практ. журнал «Екологічні науки»*. 2018, № 2 (21). С. 59–64.
8. Шпильрайн Э. Э. Введение в водородную энергетику. Москва : «Энерго-атомиздат» 1984. 264 с.
9. Водородные энергетические технологии. Материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН. *Сборник научных трудов*. Отв. ред. Дудников Д. О. Москва : ОИВТ РАН, 2017. Вып. 1. 190 с.
10. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Ленинград : Недра, 1988. 311 с.
11. ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. [Чинний від 2002.07.01]. Київ, 2002 р. 43 с. (Методика визначення).
12. ГОСТ РФ 8.816-013. Газ природный, объемная теплота сгорания. Москва, 2013. 24 с. (Методика измерений калориметра сжигания с бомбой).
13. Теплота сгорания углеводородов состава $C_xH_yO_z$ Г. Т. Земский, и др. *Пожарная безопасность*. Киев, 2005. № 1. С. 55–93.
14. Крук І. С., Химко О. М., Крук О. І. Якість природного газу. Довідник. Київ, НаукаУЦЄБОПнафтогаз, 2010. 404 с.
15. Приходько М. А. Герасимов. Термодинаміка та теплопередача : навч. посіб. Рівне, 2008. 278 с.

ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ВОДНІ РЕСУРСИ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Єна М.С.

Приватний вищий навчальний заклад
«Київський медичний університет»
вул. Бориспільська, 2, 02099, м. Київ
yenamaryna.7@gmail.com

У статті розглянуто основні джерела забруднення річки Південного Бугу. Так як, відомо, що антропогенне навантаження річок України оцінюється як критичне. Внаслідок діяльності людини значно скоротився їх стік і погіршилась їх якість. У результаті чого річки пересихають та зникають. Матеріалом для даної роботи слугували проби, зібрані з 2019 по 2021 рр. навесні у середній частині річки Південний Буг у селі Прибужани, Вознесенського району, Миколаївської області. Досліджено основні гідрологічні характеристики річки та проведено лабораторні дослідження води на бактеріологічний аналіз. Наведено аналіз екологічного стану річки та запропоновано низку заходів для уникнення подальшої деградації річки Південний Буг. На основі проведеного аналізу досліджень основних гідрологічних характеристик та бактеріологічних показників, загальний екологічний стан річки Південний Буг можна оцінити як незадовільний. Спостерігалось постійне бактеріальне забруднення річки Південний Буг, проте збудників кишкових інфекційних захворювань не виявлено. Для вирішення даної проблеми з метою попередження та усунення можливості негативних процесів, а у ряді випадків і незворотних наслідків антропогенного впливу необхідно виконувати ряд заходів і по охороні природних вод: ліквідація несанкціонованих звалищ і облік гідрологічних умов при проектуванні нових; очищення узбережжя водойм від побутового сміття; розширення режимної спостережної мережі, а також організація моніторингу; створення водоохоронних зон; підвищення екологічної культури населення. Таким чином, геосистема річки Південний Буг потерпає від комплексного антропогенного впливу, провідним джерелом якого є аграрне виробництво. Проте більш детальне дослідження ступеню впливу антропогенної діяльності вимагає розширення ареалу відбору проб ближче до витоків річок – притоків Південного Бугу. *Ключові слова:* Південний Буг, гідрологічні показники, бактеріологічний аналіз, якість води, екологія.

The impact of anthropogenic pollution on the water resources of the South Bug river basin. Yena M.

The article considers the main sources of pollution of the Southern Bug River. Since, it is known that the anthropogenic load of rivers in Ukraine is assessed as critical. As a result of human activity, their flow has significantly decreased and their quality has deteriorated. As a result, the rivers dry up and disappear. The material for this work were samples collected from 2019 to 2021 in the spring in the middle part of the Southern Bug River in the village of Prybuzhany, Voznesensky district, Mykolaiv region. The main hydrological characteristics of the river have been studied and laboratory studies of water for bacteriological analysis have been carried out. An analysis of the ecological state of the river is given and a number of measures are proposed to avoid further degradation of the Southern Bug River. Based on the analysis of research on the main hydrological characteristics and bacteriological indicators, the general ecological condition of the Southern Bug River can be assessed as unsatisfactory. There was a constant bacterial pollution of the Southern Bug River, but no pathogens of intestinal infectious diseases were detected. To solve this problem in order to prevent and eliminate the possibility of negative processes, and in some cases the irreversible consequences of anthropogenic impact, it is necessary to take a number of measures to protect natural waters: elimination of unauthorized landfills and hydrological conditions when designing new ones; cleaning the coast of reservoirs from household waste; expansion of the regime's observation network, as well as the organization of monitoring; creation of water protection zones; improving the ecological culture of the population. Thus, the geosystem of the Southern Bug River suffers from a complex anthropogenic impact, the leading source of which is agricultural production. However, a more detailed study of the degree of impact of anthropogenic activity requires the expansion of the sampling area closer to the sources of rivers – tributaries of the Southern Bug. *Key words:* Southern Bug, hydrological parameters, bacteriological analysis, water quality, ecology.

Постановка проблеми. Забруднення водних об'єктів є актуальною проблемою, оскільки воно має негативний вплив і становить небезпеку для здоров'я людей. Інтенсивний розвиток промисловості, транспорту, перенаселення низки регіонів планети призвело до значного забруднення гідросфери. Почастішали витoki, викиди, аварії техногенного характеру, що загрожує серйозними забрудненнями водних об'єктів і шкідливим впливом на здоров'я населення.

Найінтенсивнішому антропогенному впливу піддаються поверхневі води – річки, озера, болота.

Антропогенне навантаження річок України оцінюється як критичне. Внаслідок діяльності людини значно скоротився їх стік і погіршилась їх якість. Річки пересихають та зникають [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах вітчизняних і за-рубіжних дослідників доведено, що антропогенне забруднення водойм

призводить до широкого розповсюдження у навколишньому середовищі умовно патогенних мікроорганізмів, стійких до антибіотиків, що суттєво ускладнює проблему [2–6].

Постановка завдання. Мета роботи – дати об’єктивну оцінку сучасного екологічного стану річки Південного Бугу на території Миколаївської області.

Матеріалом для даної роботи слугували проби, зібрані з 2019 по 2021 рр. навесні у середній частині р. Південний Буг (с. Прибужани, Вознесенського району, Миколаївської області). Проби води для бактеріологічного аналізу відбирали з верхнього горизонту у прибережній частині. Використано такі методи дослідження, як описовий, гідрологічний, бактеріологічний та системного узагальнення даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. Південний Буг – найбільша річка України у Хмельницькій, Вінницькій Кіровоградській, Одеській та Миколаївській області, а отже, потерпає від різноманітних видів антропогенного впливу. Її довжина – 806 км, площа басейну – 63 700 км². Протікає центральними та південними областями країни через фізико-географічні зони лісостепу і степу [7; 8]. У Південному Бузі розташовуються три ділянки: верхню, середню та нижню. У першій з них річка протікає крізь заболочену долину, у середній течії – через каньйон з гранітними берегами, а для нижньої течії характерна заплава, яка розчленована протоками, рукавами, старицями [9]. Живлення поверхневих вод Південного Бугу відбувається за рахунок таких вод у весняний і зимовий періоди та дощових опадів у період літньо-осінньої межі. Підземний стік в басейні незначний, що також є джерелом живлення річок басейну [10; 11]. Мінералізація підземних вод басейну залежить від порід залягання та глибини змінюється від 0,6 г/дм³ до 1,5 г/дм³ склад – з гідрокарбонатно-кальцієвого у верхній та середній частинах до сульфатно (хлоридно)-гідрокарбонатно-кальцієвого у нижній частині басейну [12; 13].

На основі дослідження основних гідрологічних характеристик встановлено, що зразок досліджуваної води має зеленкувато-блакитний колір за шкалою оцінки: безбарвна, слабо-жовта, інтенсивно-жовта, блакитна, зеленувато-блакитна, температура в середньому складає 4,5 °C (2019–2021) (табл. 1).

Інтенсивність смаку і присмаку відповідає 4 балам, що визначали за 5-бальною шкалою: 0 балів – немає смаку, 1 бал – дуже слабкий, 2 бали – слабкий, 3 бали – помітний, 4 бали – виразний, 5 балів – дуже сильний. Гігієнічне значення визначення запахів і присмаків полягає в тому, що при їх інтенсивності понад 2 балів обмежується водоспоживання. Інтенсивність природних запахів і присмаків понад 2 балів свідчить про наявність у воді біологічно активних речовин. Штучні запахи і присмаки можуть бути показниками забруднення води стічними водами.

Таблиця 1

Температура води річки Південний Буг

Дата виміру температури	t° повітря	t° води у точках А і Б	Середні показники t°
24.03.2019	+8	+4,8 + 5,2	+5,0
26.03.2020	+10	+4,6 + 5,0	+4,8
20.03.2021	+5	+3,5 + 3,7	+3,6

Запахи в воді можуть бути пов’язані з життєдіяльністю водних організмів або з’являтися при їх відмирання – це природні запахи. Запах води у водоймі може обумовлюватися також потраплянням в нього стоків каналізації, промисловими стоками – це штучні запахи. Спочатку даємо якісну оцінку (характер) запаху за відповідними ознаками: болотний, землистий, рибний, гнильний, ароматичний, нафтової і т. д. Інтенсивність запаху оцінювали за 5-бальною шкалою (табл. 2).

Каламутність води визначають ваговим методом. 500–1000 мл води з водойми профільтровували через щільний фільтр з фільтрувального паперу діаметром 9–11 см фільтр попередньо висушували і зважували на аналітичних вагах.

Маса фільтра 300 мг. Після фільтрування фільтр з осадом висушували і знову зважували. За різних мас фільтра до і після фільтрування розраховували кількість зважених речовин у досліджуваній воді. Отриманий результат (мг/л) буде показником каламутності.

Таблиця 2

Інтенсивність і характер запаху проби води з річки Південний Буг

Характер запаху	Інтенсивність запаху (бали)				
	ледь вловимий	слабкий	помітний	сильний	різкий
болотний				●	

Так, каламутність води річки Південний Буг відповідала 180 мг/л, згідно 300 – 120 = 180 мг/л.

Основним показником води є так звана активна реакція – водневий показник кислотності середовища (рН), який залежить від концентрації водневих іонів. Значення рН характеризує якість води. Природна вода за своїми показниками має рН в інтервалі від 3,2 до 10,5. Кислотність води дуже впливає на біохімічні і біологічні процеси і має важливе значення для мешканців водойм. Більшість живих організмів добре розвиваються у воді, чий показник рН знаходиться на нейтральній точці (7,0). При показниках нижче 5,0 і вище 8,5 вони найчастіше перестають рости або навіть гинуть. У нашому дослідженні рН кислотність була у межах норми і складала 7,5.

Бактеріологічний аналіз проби води, показав, що вода містить патогенні мікроорганізми, отже, є ризик захворювання населення на різні інфекційні та шкірні хвороби. Всі патогенні мікроорганізми при

попаданні в воду викликають гострі захворювання у населення і можуть тривало зберігатися у воді.

Причини забруднення водойм патогенними мікроорганізмами наступні: наявність поблизу водойми скотних господарських дворів, купання худоби та побутові стоки.

Таким чином, річка Південний Буг страждає від забруднення побутовими відходами. Наші візуальні спостереження за узбережжям підтвердили даний факт. У прибережній смузі нами було виявлено сміття. У воді відбувається гниття, розкладання харчових відходів, деревини, паперу і т. д., в результаті чого ймовірна можливість утворення різних мікроорганізмів. Тому необхідно заборонити будь-яке скидання відходів у водойми, мийку автотранспорту, щоб уникнути попадання в воду ПАР, очищати узбережжя [14].

З метою попередження та усунення можливості негативних процесів, а в ряді випадків і незворотних наслідків антропогенного впливу [15] необхідно виконувати ряд заходів і по охороні природних вод:

- ліквідація несанкціонованих звалищ і облік гідрологічних умов при проектуванні нових;
- очищення узбережжя водойм від побутового сміття;
- розширення режимної спостережної мережі, а також організація моніторингу;
- створення водоохоронних зон;
- підвищення екологічної культури населення.

Висновки. За останні роки у басейні річки Південний Буг помітна різка тенденція до зменшення обсягів скидів стічних вод та забруднених

речовин, забору та використання води. Незважаючи на ці зміни, щодо зменшення антропогенного впливу на басейн річки, необхідно відмітити, що загальна гідроекологічна ситуація залишається напруженою, зокрема, за рахунок збільшення частин скидів неочищених стічних вод та значної зарегульованості стоку.

На основі проведеного аналізу досліджень основних гідрологічних характеристик та бактеріологічних показників, загальний екологічний стан річки Південний Буг можна оцінити як незадовільний. Проте такий висновок можна зробити не лише з проаналізованих показників якості води. Так як при обстеженні стану прибережних районів р. Південний Буг в деяких зафіксовано побутове сміття. На деяких ділянках ріка замулена, заросла очеретом, в результаті чого погіршується бактеріологічний стан води, що значно впливає на якість та відновлення рибних запасів. Екологічний стан водойми в цілому можна вважати незадовільним, аргументи:

- 1) наявність запахів і присмаків у воді;
- 2) наявність в річці патогенних мікробів, отже, є ризик захворювання населення інфекційними хворобами;
- 3) наявність промислових підприємств в межах басейну річки.

Тому, формування екологічної культури та екологічної відповідальності є надзвичайно важливим і необхідним у ситуації, що склалася. Потрібно завжди пам'ятати, що наше здоров'я, здоров'я наших дітей залежить саме від чистоти водних об'єктів, до яких відноситься річка Південний Буг.

Література

1. Стонут малые реки, но никто не слышит их передсмертного стога: веб-сайт. URL: <http://library.brstu.ru/static/bd/baikal/sm/publ/91-1-17.htm> (дата звернення: 17.02.2019).
2. Покровский В. И. Человек и микроорганизмы. *Здоровье и болезнь. Вестник Российской АМН*. 2000. № 11. С. 3–6.
3. Дизентерия (шигеллезы) / В. И. Покровский, А. Ф. Блюгер, Ю. П. Солодовников, И. Н. Новицкий. Рига, 1979. 346 с.
4. Lalla F. de, Manfrin V., Nicolin R. Clinical features of antibiotic resistance. *AAMY: Alpe Adria Microbiol. J.*, 1992. Vol. 1, № 2. P. 111–113.
5. Lemke M. J., Leff L. G. Bacterial populations in an anthropogenically disturbed stream: comparison of different seasons. *Vicrib. Ecol.* 1999. Vol. 38. P. 234–243.
6. Mari P., Defives C., Hornez J. P. Occurrence and multiple antibiotic resistance profiles of non-fermentative gram-negative microflora in five brands of non-carbonated French bottled spring water. *Microb. Ecol.* 2000. Vol. 39. № 4. P. 322–329.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР Украины и Молдавии. Западная Украина и Молдавия / под. ред. М. С. Каганера. Л.: 1967. Т. 6. Вып. 1. 880 с.
8. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / за ред. В. К. Хільчевського. Київ: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
9. Іванченко Я. С., Линник П. М. Розчинені органічні речовини у воді верхньої ділянки Південного Бугу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2013. Т. 3 (30). С. 72–82.
10. Рубан С. А., Шинкаревський М. А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. Київ, 2005. 570 с.
11. Типізація поверхневих вод басейну Південного Бугу за вмістом головних іонів, біогенних елементів, органічних речовин та розчиненого кисню / О. О. Ухань та ін. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2015. Вип. 267. С. 46–56.
12. Алешин О. А. Гидрохимия. Л., Гидрометеониздат, 1952. 161 с.
13. Щегульня Я. О., Савицький В. М. Особливості хімічного складу та якості води річок басейну Південного Бугу. *Вісник КМУ імені Тараса Шевченка. Географія*. 2011. Вип. 655. С. 93–97.
14. Игошин Н. И. Проблемы восстановления и охраны малых рек и водоемов. Гидроэкологические аспекты: учеб. пособие. Харьков: Бурин книга, 2009. 240 с.
15. Малі річки України: довідник / за ред. А. В. Яцика. Київ: Урожай, 1992. С. 42–43.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 004:628.1.03

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.4>

ГІС ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЮ СТАНУ НЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ У МЕЖАХ ГРОМАД

Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Кравчук А.А.

Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир, Україна
valerko_ruslana@ukr.net, gerasim4uk@ukr.net

Наразі на території України 56,4 % жителів сільських населених пунктів використовують воду із криниць, свердловин та колонок, у т. ч. й громадських в якості питного та господарсько-побутового водопостачання. Проте якість такої води є досить часто сумнівною та може впливати на стан здоров'я місцевого населення. Проблема питного водопостачання сільських населених пунктів наразі потребує використання спеціалізованих прикладних програм, розроблених на основі геоінформаційних технологій. Дослідження проходили на території сільських населених пунктів Оліївської громади нового укрупненого Житомирського району, де було відібрано 49 зразків питної води із джерел нецентралізованого водопостачання. У результаті проведених досліджень були створені геоінформаційні моделі за допомогою програмного забезпечення ArcGIS Pro. Доведено, що середній вміст нітратів у питній воді на території громади становить 129,25 мг/дм³, а найбільш критична ситуація зафіксована для сіл Крученець, Новопіль та Окілок, у питній воді яких встановлено перевищення рівня нітратів у середньому від 5,8 до 9,9 рази. Повністю безпечною, стосовно вмісту нітратів, виявилась питна вода у селі Троковичі, середня концентрація яких визначена на рівні 13,5 мг/дм³. У більшості населених пунктів громади перевищення середнього вмісту нітратів у питній воді коливається у межах 2–5 разів. З метою вирішення питання якісного водопостачання на території сіл об'єднаних громад необхідним є розробка Плану покращення стану питного водопостачання. Розробка Плану має проходити поступово у 5 основних етапів з обов'язковим використанням ГІС-технологій для створення геоінформаційних моделей із територіальною прив'язкою. *Ключові слова:* геоінформаційні системи, сільські населені пункти, об'єднані територіальні громади, нецентралізоване водопостачання, питна вода.

GIS as a tool of controlling the state of uncentralized water supply within communities. Valerko R., Herasymchuk L., Kravchuk A.

Currently in Ukraine 56.4 % of residents of rural settlements use water from wells, wells and columns, including and public as drinking and domestic water supply. However, the quality of such water is often questionable and can affect the health of the local population. The problem of drinking water supply in rural settlements currently requires the use of specialized applications developed on the basis of geographic information technologies. The research was conducted on the territory of rural settlements of Oliyivka community of the new enlarged Zhytomyr district, where 49 samples of drinking water were taken from sources of decentralized water supply. As a result of the research, geoinformation models were created using ArcGIS Pro software. It is proved that the average content of nitrates in drinking water in the community is 129.25 mg/dm³, and the most critical situation is recorded for the villages of Kruchenets, Novopil and Okilok, where drinking water exceeded the nitrate level on average from 5.8 to 9.9 times. Drinking water in the village of Trokovichy, with an average concentration of 13.5 mg/dm³, proved to be completely safe in terms of nitrate content. In most settlements of the community, the excess of the average content of nitrates in drinking water varies between 2–5 times. In order to address the issue of quality water supply in the villages of the united communities, it is necessary to develop a plan to improve the state of drinking water supply. The development of the Plan should take place gradually in 5 main stages with the obligatory use of GIS technologies to create geographic information models with territorial reference. *Key words:* geographic information systems, rural settlements, united territorial communities, decentralized water supply, drinking water.

Постановка проблеми. Безпечна питна вода є необхідною умовою для підтримки життя, а тому якісне водопостачання має бути доступним для усіх людей. Підземні води є життєво важливим джерелом прісної води не тільки на сільських селітебних територіях, але і у містах. За статистичними даними приблизно одна третина населення усього світу використовує підземні води для пиття. Зокрема, на території України 56,4 % жителів сільських населених пунктів використовують воду із криниць, свердловин та колонок, у т. ч. й громад-

ських в якості питного та господарсько-побутового водопостачання.

Проблема питного водопостачання сільських населених пунктів наразі потребує залучення автоматизованих засобів та інструментів, що відкривають перед дослідниками досить широкі можливості, а тому використання спеціалізованих прикладних програм, розроблених на основі геоінформаційних технологій підвищує актуальність проведених досліджень.

Актуальність дослідження. Географічні інформаційні системи вперше були створені у 1963 році

канадцем Роджером Томлінсоном та визначаються як комп'ютерна система, яка зберігає, аналізує, керує та візуалізує географічну інформацію, як правило, у вигляді карти [1]. ГІС використовуються для управління, аналізу географічної інформації та представлення її у вигляді просторових даних та являє наш світ за допомогою цифрових карт, які останнім часом широко використовуються у різних сферах навколишнього середовища та діяльності людини.

Програмне забезпечення ArcGIS є інтегрованою і комплексною системою та розроблена для задоволення потреб більшості користувачів ГІС. Її визначають як «систему апаратних засобів, програмного забезпечення та процедури, що призначені для полегшення збору, управління, маніпулювання, аналізу моделювання, візуалізації та виведення просторово зв'язаних даних» [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями. Особливо важливим застосуванням ГІС-технологій є управління даними про навколишнє середовище, які можна використати для прогнозування та уникнення можливої екологічної катастрофи. Таким чином, здійснення моніторингу та контролю за станом підземних вод, що використовуються сільським населенням для питного водопостачання, із застосуванням ГІС є питанням актуальним та потребує широкого впровадження у межах об'єднаних територіальних громад. Дослідження є частиною науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (державний реєстраційний № : 0120U104233), результати якого можуть бути використані для прийняття управлінських рішень на рівні об'єднаних територіальних громад у сфері якісного питного водопостачання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка кількості та якості поверхневих і підземних вод за допомогою ГІС-технологій наразі широко застосовується на території усього світу, зокрема Іспанії [3], Китаю [4], Південної Індії [5], Об'єднаних Арабських Еміратів [6]. Ученими Ірану було представлено систему регулярного моніторингу якості та кількості підземних вод, за допомогою карт якості та регресійного аналізу, що може бути корисним для країн, які не мають баз даних гідрологічних характеристик [7].

Російськими науковцями описано розробку програмного забезпечення для інтеграції інформаційних систем водокористувачів та ГІС водних ресурсів Росії [8]. В Україні дослідниками виявлено особливості геоінформаційного аналізу і картографічного моделювання змін хімічного складу підземних вод Чоп-Мукачівської ділянки [9]. Крім того, починаючи з 2000 року на базі Дніпровського відділення УкрДГРІ ведеться розробка та впровадження методів прогнозування у системі державного моніторингу підземних вод [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна. Наразі на території України не достатньо приділяється уваги якості питних підземних вод, що використовуються населенням для господарсько-побутового та питного призначення, за допомогою ГІС-технологій.

Отже, метою дослідження стала екологічна оцінка підземних вод сільських населених пунктів Оліївської територіальної громади Житомирського району Житомирської області, що використовуються населенням в якості питного водопостачання, та створення на їх основі геоінформаційних моделей у розрізі сільських населених пунктів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проходили на території Оліївської об'єднаної територіальної громади укрупненого Житомирського району Житомирської області, до складу якої внаслідок реформи децентралізації наразі входять 21 сільський населений пункт. Оліївська громада розташовується у північно-західному напрямку від м. Житомира та займає 302,5 км², на якій мешкають 10 641 особа (рис. 1) [11].

Загалом на території громади було відібрано 49 зразків води із джерел нецентралізованого водопостачання. Графічні зображення результатів дослідження створені за допомогою програмного забезпечення ArcGIS Pro.

Викладення основного матеріалу. Однією із найбезпечніших речовин, що можуть міститись у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання, є нітрати. Нітрати – це солі азотної кислоти, які надходять до питної води шляхом поверхневого стоку із сільськогосподарських угідь та можуть містити залишки органічних і мінеральних добрив. Крім того, недотримання правил облаштування джерел водопостачання, а також санітарних відстаней між місцями утримання худоби, туалетами, вигрібними ямами тощо та джерелами призводить до змивання побутових стоків з присадибних ділянок і дворів, що також може збільшувати концентрацію нітратів у питній воді [12].

Доведено, що перевищення вмісту нітратів у питній воді може викликати хронічні та гострі токсичні ефекти. Серед хронічних ефектів виділяють: пухлини шлунково-кишкового тракту, сечовивідних шляхів, головного мозку та підшлункової залози. Гостра токсичність зумовлює виникнення метгемоглобінемії, цукрового діабету та впливу на щитоподібну залозу [13].

Допустимий вміст нітратів в Україні регламентується ДСанПІН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до якості води, призначеної до споживання людиною» [14] та встановлений на рівні 50 мг/дм³. Даний норматив також визначений Всесвітньою організацією здоров'я, проте не враховує вимоги Директиви ради ЄС № 98/83 про якість води, призначеної для споживання людиною, у якій вміст ніт-

ратів встановлено на рівні 5 мг/дм³, що відображено у ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [15].

У результаті досліджень встановлено, що середній вміст нітратів у питній воді сільських населених пунктів Оліївської громади становить 128,25 мг/дм³, що перевищує норматив у 2,6 рази. Проте, якщо порівнювати середній вміст нітратів із

нормативом, який встановлено на рівні 5 мг/дм³, то отримаємо перевищення у 25,65 рази відповідно. Максимальний вміст нітратів на рівні 544 мг/дм³ було зафіксовано у колодязній воді села Крученець. Загалом же концентрація нітратів коливалась у межах 1,6–544 мг/дм³. Максимальний середній вміст нітратів зафіксовано у селі Окілок, а мінімальний – у селі Троковичі (рис. 2, 3).

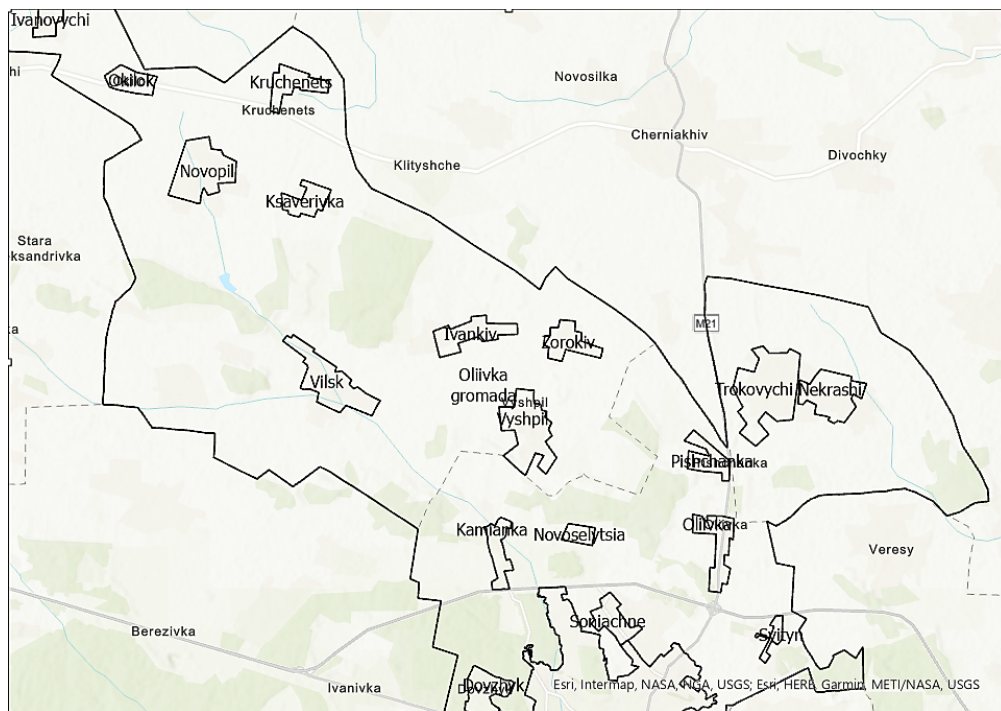


Рис. 1. Сільські населені пункти Оліївської об'єднаної територіальної громади

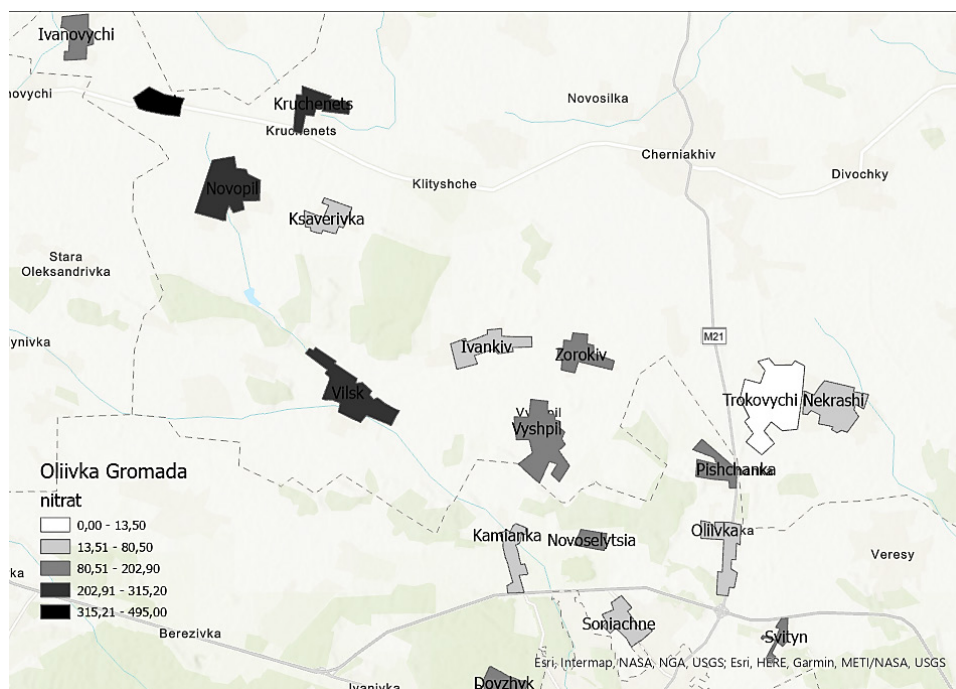


Рис. 2. Середній вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання у селах Оліївської громади, мг/дм³

Відповідно за середнім вмістом нітратів у питній воді було проведено групування сільських населених пунктів громади. Таким чином, встановлено, що найбільш безпечна вода стосовно вмісту нітратів зафіксована у селі Троковичі, а у селах Крученець, Новопіль та Окілок встановлено вміст нітратів, що перевищує 5 ГДК. Найбільша кількість сіл мають воду із перевищенням середнього вмісту нітратів у межах 2–5 разів (табл. 1).

Таблиця 1

**Групування населених пунктів громади
за середнім вмістом нітратів у питній воді**

Перевищення нормативу	Населені пункти
<1,0 ГДК	Троковичі
1,1–2,0 ГДК	Іванків, Кам'янка, Ксаверівка, Некраші, Оліївка, Сонячне
2,1–5,0 ГДК	Вишпіль, Вільськ, Довжик, Зороків, Івановичі, Новоселиця, Піщанка, Світин
>5,0 ГДК	Крученець, Новопіль, Окілок

Таким чином, встановлено, що першочергової уваги з боку місцевої влади стосовно якісного питного водопостачання потребують такі населені пункти: Крученець, Новопіль та Окілок.

З метою підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання на території громади та зокрема у селах, які потребують першочергової уваги необхідним є розробка Плану покращення стану питного водопостачання у межах певної громади, метою якого є досягнення належного рівня водопостачання у громаді, шляхом об'єднання зусиль керівного апарату та мешканців сільських населених пунктів.

Розробка Плану має ґрунтуватися на послідовному виконанні 5-ти обов'язкових етапів, які включають виконання таких послідовних дій:

- збір загальної інформації про стан населених пунктів громади та розробка на їх основі геоінформаційних моделей;
- аналітичні дослідження стану якості води та розробка на їх основі геоінформаційних моделей;
- здійснення SWOT-аналізу системи водопостачання та визначення її основних проблем;
- визначення стратегічних та розробка операційних цілей;
- розгляд, затвердження та оприлюднення Плану.

Крім того, слід зазначити, що кількість етапів може бути збільшена залежно від умов.

Головні висновки. Таким чином, у результаті проведених досліджень встановлено, що на території Оліївської громади нового укрупненого Житомирського району середній вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання становить 128,25 мг/дм³, а найбільш критичний стан питного водопостачання зафіксовано у межах сіл: Крученець, Новопіль та Окілок.

Отже, проведення досліджень, які стосуються оцінки стану якості питної води сільських населених пунктів у межах територіальних громад, дає нам підстави стверджувати, що використання геоінформаційних систем у вирішенні даної проблеми є досить перспективним та важливим напрямом сучасних досліджень.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані місцевою владою об'єднаних територіальних громад в якості практичних рекомендації щодо розробки Плану покращення стану питного водопостачання у межах ОТГ.

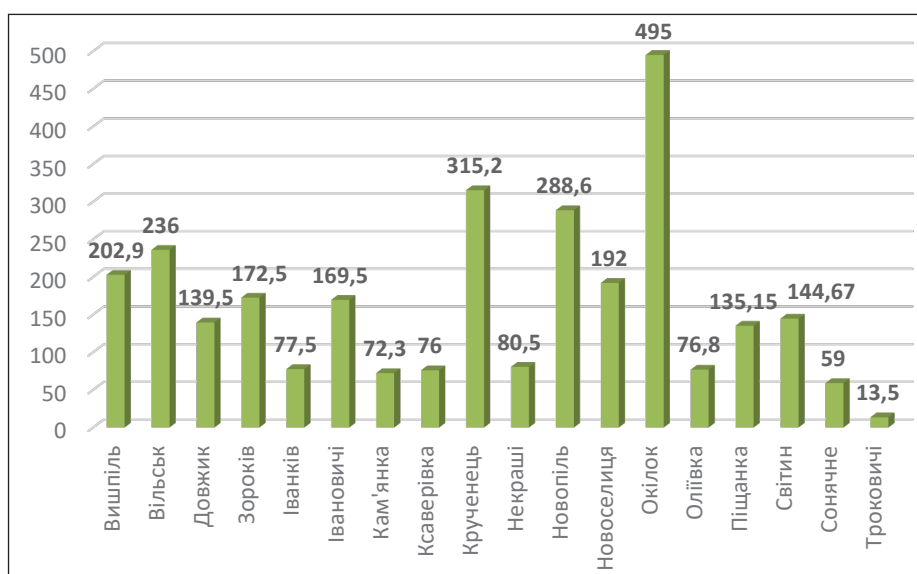


Рис. 3. Вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання у розрізі Оліївської громади Житомирського району, мг/дм³

Література

1. Chang K. (2019). Geographic Information System. International Encyclopedia of Geography. 1–10. doi: 10.1002/9781118786352.wbieg0152.pub2
2. Sosa-Terrazas E., Parada-Gonzalez M., & Martinez-Contreras U. (2018). Geographic information systems: Proposal for the relocation of a central distribution point through the centroid method. Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS). doi: 10.1109/sieds.2018.8374738
3. Ferrer J., Pérez-Martín M. A., Jiménez S., Estrela T., & Andreu J. (2012). GIS-based models for water quantity and quality assessment in the Júcar River Basin, Spain, including climate change effects. Science of the Total Environment, 440, 42–59. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.08.032
4. Yan Bao-wen, & Li Yang. (2011). GIS-based study on spatial variability of groundwater quality in Xianyang City. International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. doi: 10.1109/iswrep.2011.5892942
5. Rawat K. S., & Singh S. K. (2018). Water Quality Indices and GIS-based evaluation of a decadal groundwater quality. Geology, Ecology and Landscapes. 2 (4), 240–255. doi: 10.1080/24749508.2018.1452462
6. Batarseh M., Imreizeeq E., Tilev S., Al Alaween M., Suleiman W., Al Remeithi A. M., Al Alawneh M. (2021). Assessment of groundwater quality for irrigation in the arid regions using irrigation water quality index (IWQI) and GIS-Zoning maps: Case study from Abu Dhabi Emirate, UAE. Groundwater for Sustainable Development, 14, 100611. doi: 10.1016/j.gsd.2021.100611
7. Jeihouni M., Toomanian A., Alavipanah S. K., Hamzeh S., & Pilesjö P. (2018). Long term groundwater balance and water quality monitoring in the eastern plains of Urmia Lake, Iran: A novel GIS based low cost approach. Journal of African Earth Sciences, 147, 11–19. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2018.06.017
8. Vasilyev M. I., Plekhanov S. V. & Khamitov R. K. (2008). Software Development integration in GIS the Federal water resources Agency in the formation of a single information space in water management sphere, Ufa : GOU VPO Ufa state aviation technical University, 130–137.
9. Остроух В. І., Остроух О. А. (2019). Особливості геоінформаційного аналізу і картографічного моделювання змін хімічного складу підземних вод. URL: http://maptimes.inf.ua/CH_20/Ch20_Article3_GIS-analysis-of-groundwater-level-changing.html
10. Рубан С. А., Шинкаревський М. А. (2005). Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. К. : УкрДГРІ, 2005. 572 с.
11. Оліївська громада. URL: <http://oliivska.gromada.org.ua>
12. Valerko R., Herasymchuk L., Hurskyi Y. & Pavlenko A. (2021). Assessment of drinking water quality within amalgamated territorial communities. *Environmental Problems*. Vol. 6. Num. 4. P. 201–211.
13. Parvizishad M, Dalvand A, Mahvi A H. & Goodarzi F. (2017). A Review of Adverse Effects and Benefits of Nitrate and Nitrite in Drinking Water and Food on Human Health, *Health Scope*. 6 (3). e14164. doi: 10.5812/jhealthscope.14164
14. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10: МОЗ України; Наказ, Норми, Правила від 12.05.2010 № 400 / МОЗ України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
15. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ, 2014. 30 с.

ZINC OXIDE: STRUCTURE, PROPERTIES, METHODS OF OBTAINING, SIGNIFICANCE IN ECOLOGICAL CATALYSIS. REVIEW

Ivanenko I.M.¹, Fedenko Yu.M.², Stepanova A.V.³, Byts O.V.⁴

¹Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv
irinaivanenko@hotmail.com;

²Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv
fedenkoyura@ukr.net;

³Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv
st244506@gmail.com

⁴Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv
byc.olena@gmail.com

The physical properties of crystalline zinc oxide of the “wurtzite” type are considered, namely: the type and characteristics of the crystal structure, possible defects of the crystal lattice. Based on the analysis of literature data, it was found that zinc oxide crystals are most often stabilized in the structure of “wurtzite” in the form of a hexagonal unit cell (spatial group P6₃mc). Mechanical (using modern equipment – atomic power microscope), electrical and optical properties in terms of the possibility of using crystalline zinc oxide type “wurtzite” as an effective, catalytically stable photocatalyst for removing contaminants of various natures (including azo dyes) from aquatic environments of various origins. Numerous studies of electrical properties indicate that devices based on nanostructures of zinc oxide type “wurtzite” have exceptional potential for use as high-speed electronics. The optical properties of wurtzite zinc nanostructures have been found to be related to both internal and external effects. Internal optical transitions occur between electrons in the conduction band and holes in the valence band, including exciton effects due to Coulomb interaction. Also, the characteristic optical phenomena that can occur in the study of nanostructures of zinc oxide type “wurtzite” include the presence of photoluminescence spectra when applying an excitation source to its nanostructures. The comparative characteristics of the main methods of obtaining crystalline zinc oxide of the “wurtzite” type: «bottom up» and «top down» are analyzed and given. Based on the analysis of literature data, it was found that the key advantage of the method «top to bottom» is that the details are formed on the sample and assembled on site. The bottom-up method, or as it is sometimes called, the «self-assembly» approach, uses chemical or physical forces acting on an extremely small scale (nano-scale) to assemble the basic units into larger structures. Unlike the top-down method, the bottom-up technique starts with small designs and ends with large units. *Key words:* zinc oxide, wurtzite, photocatalyst, exciton effect, nanostructure, photoluminescence.

Цинку оксид: структура, властивості, методи отримання, значення в екологічному каталізі. Літературний огляд. Іваненко І. М., Феденко Ю. М., Степанова А. В., Биць О. В.

Розглянуто фізичні властивості кристалічного цинку оксиду типу «вюрцит», а саме: тип і характеристики кристалічної структури, можливі дефекти кристалічної ґратки. На основі аналізу літературних даних встановлено, що кристали цинку оксиду найчастіше стабілізуються в структурі «вюрцит» у вигляді гексагональної елементарної комірки (просторова група P6₃mc). Проаналізовано механічні (із застосуванням сучасного обладнання – атомного силового мікроскопа), електричні та оптичні властивості з точки зору можливості застосування кристалічного цинку оксиду типу «вюрцит» як ефективного, каталітично стабільного фотокаталізатора для вилучення забрудників різної природи (зокрема, азобарвників) із водних середовищ різного походження. Численні дослідження електричних властивостей вказують на те, що пристрої на основі наноструктур цинку (II) оксиду типу «вюрцит» мають винятковий потенціал у застосуванні в якості високошвидкісної електроніки. Виявлено, що оптичні властивості наноструктур цинку (II) оксиду типу «вюрцит» пов’язані як із внутрішніми, так і з зовнішніми ефектами. Внутрішні оптичні переходи відбуваються між електронами в зоні провідності та дірками у валентній зоні, включаючи екситонні ефекти внаслідок кулонівської взаємодії. Також до характерних оптичних явищ, що можуть мати місце при дослідженні наноструктур цинку (II) оксиду типу «вюрцит», відноситься наявність спектрів фотолюмінесценції при накладанні джерела збудження до його наноструктур. Проаналізовано та надано порівняльну характеристику основних методів одержання кристалічного оксиду цинку типу «вюрцит»: «знизу вгору» та «згори донизу». На основі аналізу літературних даних встановлено, що ключовою перевагою методу «згори донизу» є те, що деталі формуються за зразком і збираються на місці. В методі «знизу вгору», або, як його іноді називають, підходить до «самозбирання», використовуються хімічні або фізичні

сили, що діють у надзвичайно дрібному масштабі (нано-масштабі), для збирання основних одиниць у більші структури. На відміну від методу «згори донизу», техніка «знизу вгору» починається з невеликих конструкцій і закінчується великими одиницями. *Ключові слова:* цинку оксид, вюрцит, фотокаталізатор, екситонний ефект, наноструктура, фотолюмінесценція.

Introduction. Much attention is paid to the use of photocatalysts – nanostructured semiconductors for the removal of organic and inorganic substances from water and gas systems in the processes of ecological catalysis, water purification and more in the study of catalytic processes.

Zinc oxide, as a photocatalyst, has recently attracted considerable attention due to its high catalytic stability, cost-effectiveness, and the ability to conduct catalytic processes under environmental conditions.

One of the important problems today is the purification of water from pollutants of various natures, including azo dyes, which are well soluble in water and therefore difficult to remove from it. These dyes can lead to serious environmental problems due to their high resistance to the environment, as well as carcinogenic and mutagenic effects.

Therefore, the development of a photocatalyst based on zinc oxide is one of the possible ways to solve the problem of water pollution by dyes using a new and promising method of photocatalysis.

Many methods of obtaining zinc oxide have been described in the modern literature, including: hydrothermal synthesis, sol gel method, chemical precipitation method, etc. Despite the variety of methods for obtaining nanostructures, there is an urgent need to use such a method of synthesis, which not only guarantees the production of photocatalysts with specified physicochemical properties, but also will be cheap and easy to implement.

Crystal structure of zinc oxide

Zinc oxide (ZnO) is a semiconductor of semiconductor group II–VI. It has a crystalline structure of wurtzite (hexagonal symmetry), zinc mixtures or rock salt (cubic symmetry), as shown in Fig. 1. However, ZnO crystals are most often stabilized in the structure of wurtzite in the form of a hexagonal

unit cell (spatial group P6₃mc). Crystals detect the rock salt phase only at high pressures.

The wurtzite structure of ZnO can be considered to consist of two interpenetrating hexagonal, densely packed (hcp) sublattices of cation (Zn) and anion (O), shifted by the length of the cation-anionic bond in the c direction. The lattice constants of the hexagonal unit cell ZnO are: $a = 3.2500 \text{ \AA}$, $c = 5.2060 \text{ \AA}$ at 300 K.

The c/a ratio for ZnO is 1.60, which is close to the ratio of 1.633 of an ideal hexagonal densely packed structure. Each hexagonal dense packing (hcp) consists of one type of atom moved relative to each other along the triple axis c by the value $u = 3/8 = 0.375$ in fractional coordinates (parameter u is defined as the length of the bond parallel to the c axis, in units of c , or the distance of the nearest neighbor b separated by c). α and β are the connection angles 109.070, as shown in Fig. 2.

In this structure each anion is surrounded by four cations at the angle of the tetrahedron and vice versa. The bonds in these materials are usually (sp^3) covalent (tetrahedral), but some ionic characteristics have also been found in this material. In a true ZnO crystal, the wurtzite structure deviates from the ideal location by changing the c/a ratio or the u value. Deviation from the ideal wurtzite crystal is probably due to lattice stability and ionicity.

Point defects, such as zinc antipodes, oxygen vacancies, and extended defects, such as thread dislocations, also increase the lattice constant in the hetero-epitaxial layers of the ZnO crystal, but to a small extent.

There is a high relationship between the coefficient c/a and the parameter u , because when the coefficient c/a decreases, the parameter u increases in such a way that these four tetrahedral distances remain almost constant due to distortion of tetrahedral angles due to distant polar interactions.

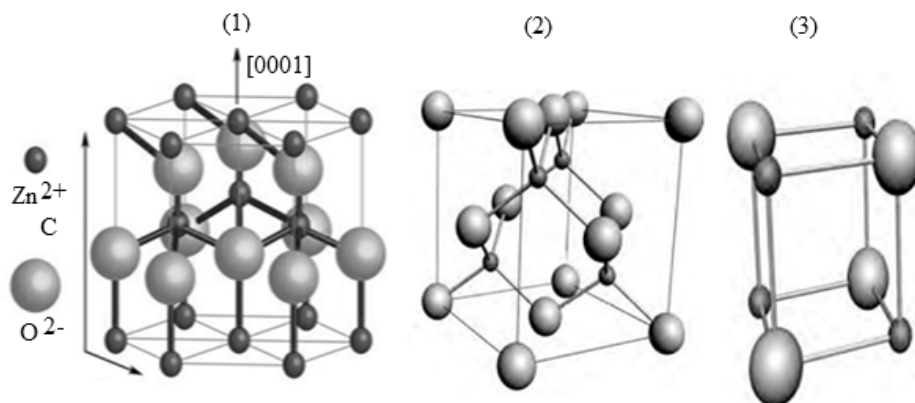


Fig. 1. Different crystalline structures of zinc oxide:
(1) – wurtzite, (2) – zinc mixture, (3) – rock salt

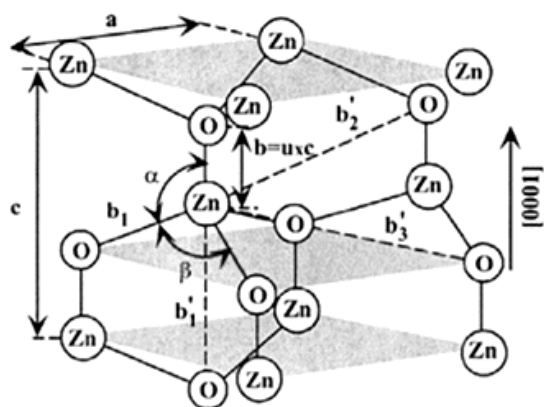


Fig. 2. Schematic diagram of Wurtzite structure of ZnO [1]

Physical properties of zinc oxide “wurtzite” structure

Research and understanding of the basic physical properties of ZnO are important for many reasons. For example, they are useful for the rational design of functional devices and for the development of their potential as building blocks for future nanoscale devices. Table 1 shows a compilation of the basic physical parameter for the bulk structure of ZnO.

It should be noted that there is still some uncertainty in these values. For example, several reports mention only physical properties of the ZnO type, and therefore hole mobility and effective mass are still discussed [1; 2]. In addition, because the size of semiconductor materials is continuously decreasing to the nanometer or even smaller, some of their physical properties are changing, known as «quantum size effects.» Quantum restriction increases the band gap of ZnO nanowire, which was confirmed by photoluminescence measurements [3; 4].

Table 1

Physical properties of zinc oxide “wurtzite” structure (300 K) [5]

Property	Value
a_0 , nm	0.32495
c_0 , nm	0.52069
a_0/c_0	1.602
U	0.345
Density, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	5.606
Stable phase at 300 K	Wurtzite
Bond length, Å	1.977
Static dielectric constant	8.656
Refractive index	2.008; 2.029
Restricted area width, eV	3.4
Knapp's hardness, H/cm^2	0.5
Volumetric hardness, GPa	5.0 ± 0.1
Ionicity, %	62
Heat capacity, $\text{J}/\text{mole}\cdot\text{K}$	9.6
Jung's module, GPa	111.2 ± 4.7
Spontaneous polarization, C/m^2	-0.057

Mechanical properties of zinc oxide “wurtzite” structure

Direct measurement of the mechanical properties of individual ZnO nanostructures is a really difficult task. Therefore, there are very few experimental studies of the mechanical properties of ZnO nanostructures. In fact, the lack of experimental studies of ZnO nanostructures is mainly due to some problems with nanoscale characterization techniques, such as sample manipulation, alignment and capture to achieve desired boundary conditions, and the use and measurement of force and displacement at very high resolutions [6]. According to Table 1, ZnO is a relatively soft material with a hardness of 5 GPa at a plastic penetration depth of 300 nm (for the ZnO-oriented mass of ZnO). Some researchers have tested different techniques for measuring the Young's modulus of ZnO nanostructures. Based on the resonant excitation caused by the electric field, the bending modulus of ZnO nanobands was characterized by a transmission electron microscope (TEM) [7]. In this method, a special TEM sample holder was made to supply an oscillating electric field between the ZnO nanoband and the fixed electrode. This electric field triggered the vibration of the nanoband, and resonant oscillations were achieved by adjusting the frequency of movement. Following the classical theory of elasticity, the bending modulus was calculated, which turned out to be equal to 50 GPa.

In addition, atomic force microscope (AFM) experiments are popular methods for the mechanical characterization of ZnO nanostructures. Because the stiffness of the AFM tip is very low, the force measurement resolution is very high (nano-newtons). In this technique, a very soft spring (such as a cantilever beam) was used to bend the ZnO nanowire. The researchers used this technique to measure the Young's modulus of ZnO nanowires [8; 9]. They reported different values of the Young's modulus of 29 ± 8 and 97 ± 18 GPa. On a mass scale, the Young's modulus of zinc oxide in the [0001] direction is 140 GPa [10], which is much higher than the modulus value given for ZnO nanostructures.

Electrical properties of zinc oxide “wurtzite” structure

Due to its electrical properties, ZnO is very attractive for optoelectronic and electronic devices. For example, a device made of ZnO material has a high breakdown voltage, lower noise level and can operate at higher temperatures with high operating power. The background concentration of ZnO carrier is usually 10^{16} cm^{-3} , and the effective electronic mass of ZnO is $0.24 m_0$ (m_0 is the mass of free electrons), while the effective mass of the hole is $0.59 m_0$ [5]. In addition, studies of electric transport after the configuration of individual ZnO nanowires as field-effect transistors confirm that the grown ZnO nanowires demonstrate n-type behavior [11]. Usually, the mobility of the field effects of grown nanowires is $20\text{--}100 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ [12].

Scientists later reported electron mobility of $1000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ after coating nanowires with a polyimide passivation layer to reduce scattering and capture of electrons on the surface. It has recently been found that after coating ZnO nanowires with a layer of SiO_2 , followed by Si_3N_4 to passivate surface states, the mobility of ZnO nanowires can be significantly increased to levels above $4000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ [13]. These results indicate that devices based on ZnO nanostructures have exceptional potential for use in high-speed electronics.

Optical properties of zinc oxide “wurtzite” structure

The optical properties of ZnO nanostructures have been widely studied due to their promising potential in optoelectronics. The optical properties of ZnO nanostructures are related to both internal and external effects. Internal optical transitions occur between electrons in the conduction band and holes in the valence band, including exciton effects due to Coulomb interaction. External properties are associated with additives or defects, which usually create discrete electronic states in the gap, and therefore affect both the processes of optical absorption and radiation. ZnO is usually formed as an n-type semiconductor material in which the electrical conductivity is due to excess zinc, probably interstitially inside the lattice and oxygen vacancies [14]. External defects, such as hydrogen, are more often included as small donors [15]. In general, ZnO has a wide semiconductor band (3.4 eV), which makes it potentially useful for efficient UV laser diodes and low power thresholds for pumping at room temperature. It is also one of the promising materials for high temperature and high-power devices. High temperature operation requires a wide range of restricted areas so that the internal concentration of the carrier remains. High power operation is attractive to semiconductors with wide bands due to large breakdown fields.

Photoluminescence (PL) spectra of ZnO nanostructures have been widely reported experimentally. The PL spectrum of ZnO at room temperature usually consists of a close band of ultraviolet radiation (380 nm) through the transition from band to band and a green-yellow band of radiation associated with the oxygen vacancy [16]. Red emission bands have also been reported, due to vacancies in double ionized oxygen [17]. It was reported that the intensity of green ZnO emissions increases with decreasing nanowire diameter. This indicated that the level of the defect was higher in thinner nanowires due to the increase in the ratio of surface to volume. The constant decrease in the diameter of the ZnO nanowire leads to a quantum size effect, which is manifested in the blue shift of the edge band radiation in the photoluminescence spectra (as shown in Fig. 3) [18].

In addition, the most important advantage of ZnO nanostructures is the high exciton binding energy (60 meV), which is 2.4 times higher than the effective thermal energy (25 meV) at room temperature,

which leads to efficient exciton radiation at room temperature.

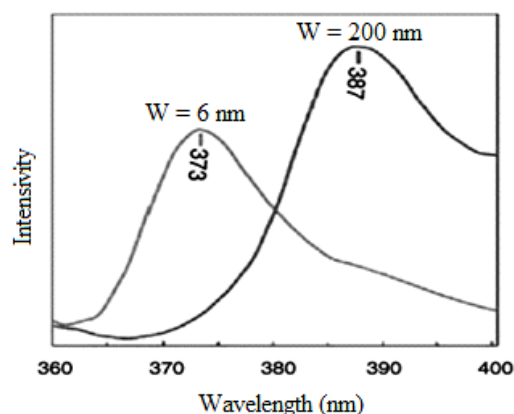


Fig. 3. Photoluminescent spectra of ZnO nanobands of wide 6 nm and 200 nm [18]

This is one of the key parameters by which ZnO exhibits lasing generation at room temperature. An additional advantage of ZnO nanowire lasers is that exciton recombination lowers the lasing threshold, and quantum constraint gives a significant density of states at the edges of the band and increases radiation efficiency. Moreover, due to its almost cylindrical geometry and high refractive index (~ 2.0), ZnO nanostructures are a natural candidate for optical waveguides [19].

Production of nanosized zinc oxide

There are two main methods used in the synthesis and production of ZnO nanostructures. These techniques are called top-down and bottom-up. Top-down technique refers to the manufacturing technology by which an object is created by carefully removing pieces of a larger object, essentially cutting out the desired object. In this technique, it starts with a bulk material and then breaks it into smaller pieces using mechanical, chemical or other forms of energy. The top-down approach often uses traditional workshop or micro-production techniques, where externally controlled tools are used to cut, mill and shape materials into the desired shape and order. A key advantage of the descending approach is that the parts are molded and assembled on site, so assembly is not required. The bottom-up approach, or sometimes called the self-assembly approach, used chemical or physical forces acting on a nanoscale to assemble the basic units into larger structures. Unlike top-down technology, bottom technology starts with small designs and ends with large units.

Ball grinding. Spherical milling is an example of top-down technology, and it is used to obtain nanocomposites and establish the basic parameters of the mechanochemical reaction and mechanical doping process. It can also be used to obtain alloys that are ultimately more useful than individual elements, because composite alloys are more homogeneous than metals, less corrosive, have higher melting points

and hardness. In fact, the technique of ball milling is more environmentally friendly than the modern method of chemical synthesis, generating much less chemical waste. On the other hand, ZnO nanoparticles obtained by abrasion have a fairly wide size distribution and a variety of particle shapes or geometries. In addition, they may contain a significant number of impurities from the grinding medium and defects arising from grinding.

Synthesis from solutions. Solution-based synthesis (SBS) is determined by any chemical reaction that requires a liquid. As a general method of synthesis, SBS is vital for the production of a variety of materials that are often difficult to produce using other methods. As a rule, decision-based methodologies are low cost and provide control materials with high yield and homogeneity. However, growth is complicated, and many defects are formed during the reaction. The most important and common methods of ZnO synthesis are hydrothermal and sol-gel synthesis, both of which will be discussed below.

Sol-gel synthesis. The sol-gel technique is a long-established industrial process for obtaining colloidal nanoparticles from the liquid phase, which has been further developed in recent years for the production of advanced nanomaterials and coatings. Sol-gel

processes are well adapted for the synthesis of oxide nanoparticles and composite nanopowders. The main advantages of sol-gel methods of material preparation are low processing temperature, versatility and flexible technology.

Hydrothermal synthesis. The hydrothermal process has been carried out to obtain crystalline structures since the 1970s. As defined, hydrothermal fusion is a subset of solvothermal fusion that includes water under elevated conditions. The basic principle is that small crystals are uniformly formed and grow out of solution under the action of high temperatures and pressures. Usually, a temperature of 100 °C to 300 °C is used and the pressure exceeds 1 atm. During the processes of nucleation and growth, water is both a catalyst and sometimes a solid-phase component. In extreme conditions of the synthesis vessel, water often becomes supercritical, thereby increasing the dissolution force, diffusion and mass transport of the liquid by reducing its viscosity. In addition, the ability to regulate the pressure of the vessel provides a way to adapt to the density of the final product. Compared to other methodologies, hydrothermal synthesis is environmentally safe, inexpensive and reduces free energy for different equilibria [20; 21].

References

1. Hussain S. Investigation of Structural and Optical Properties of Nanocrystalline ZnO. *Thesis Report*. 2008. 94 p. URL: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:18017/FULLTEXT01.pdf> (Last accessed: 21.01.2022).
2. Ozgur U. A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Electrical and Computer Engineering Publications*. 2005. 105 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/51293424.pdf> (Last accessed: 03.02.2022).
3. Ghosh H. Enhancement of UV emission and optical bandgap of ZnO nanowires via doping and post-growth annealing. *Materials research Express*. 2020. 8 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/ab77f0/pdf> (Last accessed 27.01.2022).
4. Ghosh H. Physical Properties of Wurtzite. *Materials research Express*. 2018. 12 p. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9783527628155.nanotech004> (Last accessed 29.01.2022).
5. Galdamez A. Photoluminescence of ZnO Nanowires: A Review. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10. № 857. 23 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/341037284_Photoluminescence_of_ZnO_Nanowires_A_Review (Last accessed 15.01.2022).
6. Table of wurtzite physical properties. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/figure/Physical-properties-of-wurtzite-ZnO-Properties-Values_tbl1_318659085 (Last accessed 20.01.2022).
7. Araneo R. Design Concepts, Fabrication and Advanced Characterization Methods of Innovative Piezoelectric Sensors Based on ZnO Nanowires. *Sensors* : web-site. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4299076/> (Last accessed: 11.02.2022).
8. Manoharan M. P. Synthesis and Elastic Characterization of Zinc Oxide Nanowires. *Journal of Nanomaterials* : web-site. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jnm/2008/849745/> (Last accessed: 14.02.2022).
9. Chen C. Q. Size Dependence of Young's Modulus in ZnO Nanowires. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/7174108_Size_Dependence_of_Young's_Modulus_in_ZnO_Nanowires (Last accessed: 10.02.2022).
10. Wen B. Mechanical Properties of ZnO Nanowires. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/23464272_Mechanical_Properties_of_ZnO_Nanowires (Last accessed: 14.01.2022).
11. Oshikiri M. Comparison of the electron effective mass of the n-type ZnO in the wurtzite structure measured by cyclotron resonance and calculated from first principal theory. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/239287861_Comparison_of_the_electron_effective_mass_of_the_n-type_ZnO_in_the_wurtzite_structure_measured_by_cyclotron_resonance_and_calculated_from_first_principal_theory (Last accessed: 25.01.2022).
12. Park Y. K. Comparison Between the Electrical Properties of ZnO Nanowires Based Field Effect Transistors Fabricated by Back- and Top-Gate Approaches. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/23985840_Comparison_Between_the_Electrical_Properties_of_ZnO_Nanowires_Based_Field_Effect_Transistors_Fabricated_by_Back_and_Top-Gate_Approaches (Last accessed: 17.01.2022).
13. Witkowski B. S. Applications of ZnO Nanorods and Nanowires – A Review. *Acta Physica Polonica*. 2020. Vol. 134. № 6. 21 p. URL: <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/134/app134z6p23.pdf> (Last accessed: 17.01.2022).
14. Ellmer K. Intrinsic and extrinsic doping of ZnO and ZnO alloys. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/308273887_Intrinsic_and_extrinsic_doping_of_ZnO_and_ZnO_alloys (Last accessed: 19.01.2022).

15. Ton-That C. Shallow carrier traps in hydrothermal ZnO crystals. *New Journal of Physics* : web-site. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/16/8/083040> (Last accessed: 21.01.2022).
16. PL spectra of ZnO. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/figure/a-PL-spectra-of-6-and-200-nm-wide-ZnO-nanobelts-show-a-blue-shift-of-the-emission-peak_fig5_7520203 (Last accessed: 22.01.2022).
17. Fan Z. Zinc Oxide Nanostructures: Synthesis and Properties. *Chemical Engineering and Materials Science*. 2005. 27 p. URL: <https://eezfan.home.ece.ust.hk/Papers/16-JNanosciNanotech.pdf> (Last accessed: 11.01.2022).
18. Bhaskar R. Mechanism of green luminescence in ZnO. *ResearchGate* : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/230576681_Mechanism_of_green_luminescence_in_ZnO (Last accessed: 24.01.2022).
19. Optical Properties of zinc oxide. *OsaPublishing* : web-site. URL: https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/CB683648-2BA1-4809-877B4260D48B58CF_401428/oe-26-24-31965.pdf?da=1&id=401428&seq=0&mobile=no (Last accessed: 17.01.2022).
20. Hasnidavani J. N. Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method. *Procedia Chemistry*. 2016. № 19. P. 211–216. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/82238669.pdf> (Last accessed: 16.02.2022).
21. Khan M. Sol-gel synthesis of thorn-like ZnO nanoparticles endorsing mechanical stirring effect and their antimicrobial activities: Potential role as nano-antibiotics. *Scientific Reports*: web-site. URL: <https://www.nature.com/articles/srep27689> (Last accessed: 27.01.2022).

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ У ПОСІВАХ БОБІВ (*FABA BONA MEDIC.*)

Пида С.В.¹, Конончук О.Б.¹, Тригуба О.В.², Брошчак І.С.³, Герц А.І.¹

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2, 46027, м. Тернопіль

²Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка
вул. Ліцейна, 1, 47003, м. Кременець

³Тернопільська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»
вул. Микулинецька, 22, 46006, м. Тернопіль

spyda@ukr.net; kononchuk@tnpu.edu.ua; boratun1@ukr.net; terno_rod@ukr.net; herts@tnpu.edu.ua

Технологія екологічного землеробства стрімко поширюється в усьому світі. Одним із його напрямків є використання бактеріальних препаратів природного походження, які підвищують урожайність рослин, дозволяють отримати екологічно безпечну продукцію без шкоди навколишньому середовищу. У статті приведено результати трирічного дослідження перед-посівної обробки насіння бобів сорту Хоростківські мікробіологічними препаратами Ризобофіт і Ризогумін на формування симбіотичних систем *Rhizobium leguminosarum* – *Faba bona Medic.* у різні фази росту та розвитку, виживання рослин впродовж вегетації, насінневу продуктивність та структуру урожаю.

Польові дослідження проводились на чорноземі типовому важкосуглинистому на лесі агробіологічної лабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Встановлено, що за використання мікробних препаратів зростає чисельність та маса бульбочок на коренях бобів. Виживання рослин, що вирости з інокульованого насіння, за вегетацію збільшувалося порівняно з контролем на 9,2 (Ризобофіт) і 13,4 (Ризогумін) %. За рахунок оптимального формування симбіотичних систем *Rhizobium leguminosarum* – *Faba bona Medic.*, більшого виживання рослин протягом онтогенезу отримано статистично достовірне зростання насінневої продуктивності бобів за дії мікробних препаратів у ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської області (Західний Лісостеп України). Приріст урожаю насіння становить 4,4 (або 15,0 %) (Ризобофіт) та 6,2 ц/га (або 21,2 %) (Ризобофіт) на фоні щільної популяції місцевих рас *Rhizobium leguminosarum*.

Отримані результати свідчать про доцільність використання мікробіологічних препаратів у посівах бобів як засобу біологізації землеробства, інтенсифікації формування азотфіксуючих систем на коренях, підвищення фітоімунітету рослин, їх стійкості до несприятливих умов навколишнього середовища та насінневої продуктивності бобів. **Ключові слова:** боби, інокуляція, мікробіологічні препарати, Ризобофіт, Ризогумін, бульбочки, насіннева продуктивність.

The effectiveness of microbiological preparations in bean sowing (*Faba bona Medic.*). Pyda S., Kononchuk O., Tryhuba O., Broshchak I., Herts A.

The technology of organic farming is spreading rapidly around the world. One of its trends is the use of bacterial preparations of natural origin, which increase harvest, allow to grow environmentally friendly products without harming the environment. The results of three-year study of pre-sowing treatment of Khorostkiv beans are presented in the article. That is pre-sowing treatment with microbiological preparations Ryzobofit and Ryzohumin for the formation of symbiotic systems *Rhizobium leguminosarum* – *Faba bona Medic.* in different phases of growth and development, survival of plants during the growing season, seed productivity and harvest structure.

Field experiments were carried out on typical black soil heavy loam of agrobiological laboratory of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. It was found that the use of microbial preparations increases the number and mass of nodules on the roots of beans. Survival of plants grown from inoculated seeds during the growing season increased compared to the control by 9,2 % (Ryzobofit) and 13,4 % (Ryzohumin). Due to the optimal formation of symbiotic systems *Rhizobium leguminosarum* – *Faba bona Medic.*, greater plant survival during ontogenesis, a statistically significant increase in seed productivity of beans under the action of microbiological preparations in soil and climatic conditions of Ternopil region (Western Forest-Steppe of Ukraine) is received. The increase in seed harvest is 4,4 (or 15,0 %) (Ryzobofit) and 6,2 hundredweight per hectare (or 21,2 %) (Ryzobofit) on the background of dense population of local races *Rhizobium leguminosarum*.

The obtained results prove the expediency of using of microbiological preparations in bean sowing as a means of biologization of agriculture, intensification of formation of nitrogen-fixing systems on roots, increase of phytoimmunity of plants, their resistance to adverse environmental conditions and seed productivity of beans. **Key words:** beans, inoculation, microbiological preparations, Ryzobofit, Ryzohumin, nodules, seed productivity.

Постановка проблеми. Підвищення урожайності сільськогосподарських культур із збереженням екологічного стану та родючості ґрунтів є запорукою сталого розвитку агроєкосистем і актуальною проблемою сьогодення. Застосування хімічних добрив, засобів захисту рослин, інших пестицидів

сугнуло небезпечних розмірів та порушує природні біологічні та фізико-хімічні процеси. У зв'язку із цим, перевагу і перспективу мають мікробіологічні препарати. Вони підвищують стійкість рослин до абіотичних та біотичних стресів, не викликають звикання шкідників та є екологічно безпечними [1].

Екологічне землеробство досить часто сприймається як синонім «природного», «біологічного», «альтернативного» та «біодинамічного». Екологічне ж землеробство – це спосіб господарювання, який передбачає не лише відмову від всього синтетичного, а зважений, обґрунтований науково підхід, який виключає можливість будь якого забруднення продукції і довкілля [2]. Одним із способів досягнення цієї мети є використання мікробіологічних препаратів природного походження.

Актуальність дослідження. В останні роки у Бразилії, США, Ізраїлі, Індії, та інших країнах інтенсивно використовуються біологічні препарати на основі мікроорганізмів. У нашій країні зареєстровано низку вітчизняних препаратів: клепис (на основі *Klebsiella spp.*) для кукурудзи і гречки, ризобіфіт (на основі *Rhizobium sp.*) – бобових культур), альбобактерин (на основі *Achromobacter album*) та поліміксобактерин (на основі *Paenobacillus polymyxa*) – цукрового буряка, ярої та озимої пшениці, ячменю. На стадії завершення перебуває розробка інших мікробних препаратів для сільськогосподарських культур [3]. Для поліпшення азотного живлення рослин використовують також Оптімиз, Діазофіт, Азотофіт, Мікрогумін, Ризогумін [4].

Застосування мікробних препаратів сприяє інтродукції корисних мікроорганізмів у ризосферу рослин у потрібній кількості та в потрібний час. До складу зазначених препаратів входять фізіологічно активні речовини бактеріального походження, які стимулюють ріст кореневої системи та формування її адсорбуючої поверхні, що сприяє зростанню ступеня використання органічних добрив інокульованими рослинами та розвитку симбіотичних систем [3; 5]. У структурі рослинних білкових ресурсів в Україні перше місце займають зернобобові культури, серед них важлива роль належить бобам.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проводилися відповідно до напрямків наукової діяльності кафедр ботаніки та зоології; загальної біології та методики її навчання Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка, біології, екології та методик їх навчання Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка та Тернопільської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України». Дослідження узгоджуються із Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» та Цілями сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Високоєфективним засобом біологізації землеробства, відновлення родючості ґрунту, підвищення продуктивності та поліпшення якості рослин, зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище є використання мікробних препаратів на основі азотфіксувальних бактерій у технологіях вирощу-

вання бобових культур [6]. Нині досліджено їх дію на: сої [4; 6; 7], горосі [4; 8], люпині [9; 10; 11], нуті [12], квасолі [13], люцерні [6], бобах [14; 15] та ін.

Встановлено, що передпосівна обробка насіння рослин люпину білого сортів Діста та Серпневий бактеріальними препаратами, регуляторами росту рослин та їх комплексами сприяє активнішому формуванню та функціонуванню симбіотичного і фотосинтетичного апаратів, підвищенню урожайності культури [10; 11]. Виявлено зростання інтенсивності азотфіксації (кількість і розвиток бульбочок) в рослин сої сорту Білосніжка за обробки мікробним препаратом Ризогумін [7]. Інокуляція насіння гороху сорту Альфа штамми *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae RRL8 і RRL9 також інтенсифікувала фіксацію азоту [8].

Вагоме місце серед зернобобових культур належить бобам [15], які в симбіозі з бульбочковими бактеріями за вегетаційний період фіксують 100–140 кг/га біологічного Нітрогену [16], характеризуються високим вмістом у насінні протеїнів (28–35 %) [17; 18] та вітамінів групи В (23,08–39,26 мкг/г) [19].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На території України та Тернопільської області бактеріальні препарати Ризобіфіт та Ризогумін використовувалися при вирощуванні бобових культур і показали позитивні результати щодо ростових процесів, формування симбіотичних систем, фотосинтетичного апарату та урожайності. Разом з тим, у літературі відсутні роботи, в яких вивчали вплив Ризогуміну на насінневу продуктивність бобів та чинники, які впливають на її формування. Оскільки боби є важливою харчовою та кормовою культурою, тому впровадження екологічних елементів технології, які б сприяли підвищенню їх урожайності дозволяє вирішити проблему рослинних білків та біологізації землеробства.

Новизна. Вперше на території Західного Лісостепу України (Тернопільська область) досліджено вплив мікробних препаратів Ризобіфіту та Ризогуміну на формування симбіотичних систем на коренях, виживання впродовж онтогенезу та урожайність рослин бобів сорту Хоростківські із збереженням природного стану ґрунтів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Мета нашої роботи – встановити вплив передпосівної обробки насіння мікробіологічними препаратами Ризобіфіт та Ризогумін за показниками формування симбіотичних систем на коренях, виживання рослин впродовж онтогенезу, насінневої продуктивності та структури урожаю бобів сорту Хоростківські в умовах Західного Лісостепу України.

Результати нашого дослідження мають на меті пошук способів підвищення продуктивності бобів шляхом біологізації землеробства, зниження хімізації сільськогосподарського виробництва та забруднення природного навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу. Польові дослідження проводились протягом 2019–2021 рр. на чорноземі типовому важкосуглинистому на лесі агробіологічної лабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. У досліді висівали боби сорту Хоростківські у трьох варіантах та чотирьох повтореннях. Розміщення ділянок – рендомізоване. Площа облікової ділянки 25 м². Насіння бобів контрольного варіанту зволожували водою з розрахунку 2 % від маси насіння, а дослідних – мікробіологічними препаратами Ризобіотом та Ризогуміном згідно норм виробника. Мікробіологічне добриво Ризобіот під боби містить селекціоновані штами *Rhizobium leguminosarum*, розмножені у стерильному торфі. Ризогумін – комплексний мікробіологічний препарат для бобових, до складу якого, крім штамів азотфіксуючих бактерій *Rhizobium leguminosarum* (компонент 1), входить оптимальна для впливу на ювенільну рослину та для життєдіяльності ризобій кількість фізіологічно активних речовин біологічного походження (компонент 2) [4]. Мікробіологічні препарати Ризобіот і Ризогумін надані співробітниками Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (м. Чернігів).

Сорт бобів Хоростківські занесено до Державного реєстру сортів рослин придатних до поширення в Україні з 2017 року. Рекомендований для вирощування в Лісостепу та Степу України. Технологія вирощування культури була типовою для Лісостепу України [16]. Висівали боби у 8-пільній польовій сівоzmіні без використання добрив та хімічних засобів захисту. Система догляду за рослинами передбачала лише агротехнічні прийоми. Насіння бобів сорту Хоростківські отримали із Державного підприємства «Дослідне господарство «Подільське» Тернопільської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту кормів і сільського господарства Поділля НААН (м. Хоростків). Протягом вегетаційного періоду оцінювали формування симбіотичних систем шляхом підрахунку кількості бульбочок на коренях рослин та визначення їх сирової маси. Визначення величини урожаю здійснювали методом пробних майданчиків [20]. У фазі повних сходів визначали польову схожість, а перед збиранням – виживаність рослин [21]. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою програми *Microsoft Excel*.

Важливим чинником, що істотно впливає на продуктивність бобових культур є забезпечення взаємовигідного співжиття між рослиною і бульбочковими бактеріями, що сприяє біологічній фіксації Нітрогену та поліпшує азотне живлення [6, 22]. Засвоєння бобами Нітрогену біологічним шляхом можливе за наявності добре розвинутого і активно функціонального симбіотичного апарату.

Встановлено, що бульбочки на коренях бобів розміщувалися на головному корені і мали рожеве забарвлення, що свідчить про активну фіксацію

ними молекулярного Нітрогену з атмосферного повітря. Очевидно, селективні штами бульбочкових бактерій, що входять до складу мікробіологічних препаратів характеризуються більш високими конкурентоспроможністю і вірулентністю, порівняно з місцевими популяціями азотфіксуючих бактерій. У ґрунті дослідних ділянок наявні місцеві раси бульбочкових бактерій, які спонтанно інокулювали корені рослин контрольного варіанту.

Дослідження динаміки утворення бульбочок на кореневій системі (табл. 1) та наростання їх маси у бобів, оброблених мікробіологічними препаратами Ризобіот і Ризогумін показало, що найбільш сформована симбіотична система у фенологічній стадії росту і розвитку зелений біб.

Таблиця 1

Вплив мікробіологічних препаратів на формування симбіотичних систем на коренях бобів сорту Хоростківські, $M \pm m$, $n = 20$

Варіант	Фенологічна стадія росту і розвитку		
	бутонізація	цвітіння	зелений біб
Контроль	$7,4 \pm 0,4$ $0,62 \pm 0,05$	$10,8 \pm 0,5$ $0,88 \pm 0,05$	$18,4 \pm 1,0$ $1,42 \pm 0,04$
Ризобіот	$12,5 \pm 0,5^*$ $1,21 \pm 0,07^*$	$16,8 \pm 0,7^*$ $1,69 \pm 0,06^*$	$26,0 \pm 1,3^*$ $2,37 \pm 0,07^*$
Ризогумін	$13,2 \pm 0,6^*$ $1,31 \pm 0,04^*$	$18,5 \pm 0,6^*$ $1,87 \pm 0,07^*$	$32,1 \pm 1,1^*$ $2,98 \pm 0,08^*$

Примітка: * – тут і в наступних таблицях, достовірна різниця з контролем; чисельник – кількість бульбочок, штук; знаменник – маса бульбочок, г.

Встановлено, що за обробки насіння бобів Ризобіотом та Ризогуміном зростала чисельність бульбочок на коренях рослин в 1,7 та 1,8 (бутонізація), 1,6 та 1,7 (цвітіння), 1,4 та 1,7 (зелений біб) рази. Мікробіологічні препарати істотно впливали також і на показник сирової маси бульбочок. Так, у фенологічній стадії бутонізація маса сирих бульбочок рослин дослідних варіантів порівняно з контролем зростала на 95,2 (Ризобіот) та 114,5 % (Ризогумін), відповідно, цвітіння – 92,0 та 115,5, зеленого бобу – 66,9 та 109,9 %. Найінтенсивніше наростала маса бульбочок порівняно з контролем до фенологічної стадії цвітіння. Комплексний біопрепарат Ризогумін ефективніше, порівняно з Ризобіотом, впливав на показники кількості та маси бульбочок. Відомо, що біологічно активні речовини (БАР) регулюють розвиток бульбочок [6, 22]. До складу Ризогуміну, крім ризобій, входять БАР, що відповідно позначилося на формуванні симбіотичних систем на коренях рослин зазначеного варіанту.

За дії мікробіологічних препаратів Ризобіот і Ризогумін бульбочки на коренях бобів були крупнішими (табл. 2). Маса однієї бульбочки в інокульованих рослин зростала на 15,5 та 18,4 % у стадії бутонізації, 23,4 та 24,0 – стадії цвітіння і 18,0 та 20,2 % – стадії зеленого бобу.

Таблиця 2

Вплив мікробіологічних препаратів на масу однієї бульбочки (мг) на кореневій системі бобів сорту Хоростківські, $M \pm m$, $n=20$

Варіант	Фенологічна стадія росту і розвитку		
	бутонізація	цвітіння	зелений біб
Контроль	83,8 ± 1,2	81,5 ± 1,5	77,2 ± 1,6
Ризобіфіт	96,8 ± 1,4*	100,6 ± 1,6*	91,1 ± 1,4*
Ризогумін	99,2 ± 1,6*	101,1 ± 1,4*	92,8 ± 1,1*

Варто зазначити, що у рослин контрольного варіанту в фенологічній стадії росту і розвитку зелений біб почався лізис бульбочок, що відповідно вплинуло на показник маси однієї бульбочки. Мікробні препарати Ризобіфіт і Ризогумін сприяють тривалому функціонуванню симбіотичних систем на коренях бобів.

Стійкість рослин впродовж вегетації до несприятливих умов навколишнього середовища та шкодо-чинної дії різного роду патогенів є одним із найважливіших показників для вирощування культурних рослин. Встановлено, що мікробіологічні препарати на основі азотфіксувальних бактерій Ризобіфіт і Ризогумін підвищували фітоімунітет рослин бобів та їх стійкість до несприятливих умов. Виживання рослин, що вирости з інокульованого насіння, за вегетацію збільшилося порівняно з контролем відповідно на 9,2 і 13,4 % (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив мікробіологічних препаратів на виживання рослин бобів сорту Хоростківські впродовж вегетації, $M \pm m$, $n=16$

Варіант	Кількість проростків шт./м ²	Кількість рослин перед збиранням, шт./м ²	Виживання рослин за вегетацію, %
Контроль	32 ± 0,8	25 ± 0,6	78,1
Ризобіфіт	34 ± 0,7	29 ± 0,5*	85,3
Ризогумін	35 ± 0,6*	31 ± 0,6*	88,6

Отже, за інокуляції насіння мікробіологічним препаратом Ризогумін, рослини протягом вегетації здатні максимально пристосовуватись до зміни природних чинників і виживання бобів зазначеного вище варіанту в порівнянні з іншими є максимальним.

Важливим критерієм оцінки формування та функціонування симбіотичних систем бобових культур є насіннева продуктивність [22]. Застосування високоефективних штамів бульбочкових бактерій для інокуляції сучасних сортів зернобобових культур підвищує їх продуктивність на 10–30 % і збільшує вміст білків у зерні на 2–6 %, навіть, за наявності в ґрунті популяцій аборигенних, або раніше інтродукованих ризобій [23].

Вплив біопрепаратів на продуктивність та основні елементи урожаю бобів представлено у таблиці 4. На час збирання урожаю зерна висота стебла рослин за

обробки насіння Ризобіфітом та Ризогуміном була більшою на 11,3 та 12,3 % порівняно з контролем. При механізованому збиранні врожаю важливим показником, який необхідно враховувати, є висота прикріплення нижнього бобу на стеблі рослини, оскільки висота зрізу стебла комбайном істотно впливає на втрати насіння при збиранні врожаю. За обробки насіння перед сівбою Ризогуміном визначено статистично достовірний приріст (12,9 %) зазначеного вище показника. За дії мікробіологічних препаратів Ризобіфіт і Ризогумін активізується (на 14,0 та 30,2 % порівняно з контролем) процес формування бобів на рослинах, що має істотне значення для збільшення врожаю насіння. Встановлено суттєве підвищення насінневої продуктивності бобів на 4,1 (або 14,4 %) та 5,9 ц/га (або 20,8 %) за впливу Ризобіфіту та Ризогуміну.

Таблиця 4

Вплив мікробіологічних препаратів на насіннєву продуктивність та елементи структури урожаю бобів сорту Хоростківські, $M \pm m$, $n = 20$

Показник	Контроль	Ризогумін	Ризобіфіт
висота стебла, см	127,4 ± 2,8	143,1 ± 3,9*	141,8 ± 2,8*
висота кріплення нижніх бобів, см	41,7 ± 2,1	47,1 ± 2,1*	42,8 ± 1,4
к-сть бобів на рослині, шт.	10,9 ± 0,8	14,2 ± 0,7*	12,4 ± 0,7
урожай зерна, ц/га, НР ₀₅ 1,3	28,4	34,3	32,5

Головні висновки. Мікробіологічні препарати, виготовлені на основі *Rhizobium leguminosarum* Ризобіфіт і Ризогумін істотно впливають на формування азотфіксувальних систем у бобів сорту Хоростківські на фоні щільної популяції місцевих рас бульбочкових бактерій бобів, підвищують фітоімунітет рослин і їх стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища.

За рахунок добре сформованих симбіотичних систем *Rhizobium leguminosarum* – *Faba bona* Medic., більшого виживання рослин протягом онтогенезу встановлено статистично достовірне зростання насінневої продуктивності бобів сорту Хоростківські за дії мікробних препаратів Ризобіфіт і Ризогумін за вирощування у ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської області (Західний Лісостеп України). Приріст урожаю насіння становить 4,1 (або 14,4 %) та 5,9 ц/га (або 20,8 %) на фоні щільної популяції місцевих рас *Rhizobium leguminosarum*.

Комплексний біопрепарат Ризогумін, який крім ризобіїв містить БАР (ауксини, цитокініни, амінокислоти, гумінові кислоти), мікроелементи в хелатованій формі та сполуки макроелементів у стартових

концентраціях, ефективніше впливає на досліджувані показники порівняно з Ризобіфітом.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути

використані сільськогосподарськими підприємствами при розробці технологій вирощування бобів у Західному Лісостепу України для отримання високих урожаїв екологічно безпечної продукції.

Література

1. Білявська Л. О., Іутинська Г. О., Бабич А. Г., Бабич О. А. Перспективи створення й використання сучасних біопрепаратів, створених на основі макролідного антибіотика авермектину – продукту метаболізму ґрунтового стрептоміцета *Streptomyces avermitilis*. *Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві: мат. XIV наук. конф. молодих вчених* (м. Чернігів, 27–28 жовтня 2020 р.). Чернігів, 2020. С. 15–17.
2. Волкогон В. В. Мікробіологія у сучасному аграрному виробництві. *Сільськогосподарська мікробіологія: міжвід. темат. наук. зб.* Чернігів, 2005. Вип. 1–2. С. 6–29.
3. Волкогон В. Мікробіологи пропонують змінити стратегію удобрення сільгоспкультур. *Пропозиція*. 2009. № 5. С. 52–54.
4. Грицаєнко З. М., Пономаренко С. П., Карпенко В. П., Леонтюк І. Б. Біологічно активні речовини в рослинництві. Київ, 2008. 352 с.
5. Остапчук М. О., Поліщук І. С., Мазур В. А. Мікробіологічні препарати – складова органічного землеробства. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Вінниця, 2011. № 7 (47). URL: <http://www.http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/3703.pdf> (дата звернення: 23.03.2022).
6. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз: монография: в 4-х т. Т. 2. С. Я. Коць, В. В. Моргун, В. Ф. Патыка и др. Киев: Логос, 2011. 522 с.
7. Шевніков М. Я., Кулібаба М. Ю. Урожайність та якість насіння сої залежно від строків сівби і використання біопрепаратів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 3. С. 41–44.
8. Стамбульська У. Я. Вплив місцевих штамів азотфіксуючих бульбочкових бактерій на деякі біохімічні показники рослин гороху. *Біологічні системи*. 2016. Т. 8. Вип. 1. С. 40–47.
9. Мазур В. А., Панцирева Г. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на урожайність і якість зерна люпину білого в умовах Правобережного Лісостепу. *Сільське господарство і лісівництво*. Вінниця, 2017. Вип. № 7. Т. 1. С. 27–36.
10. Пидя С. В., Тригуба О. В. Функціонування симбіотичної системи люпин – *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*) за сумісного застосування ризобіфіту та регуляторів росту рослин: монографія. Тернопіль, 2019. С. 172.
11. Тригуба О. В., Пидя С. В., Брошак І. С. Ефективність застосування PPP у посівах люпину білого (*Lupinus albus* L.). *Наукові записки ТНПУ ім. Володимира Гнатюка*. 2019. № 4 (98). С. 10–15.
12. Карпенко В. П., Коробко О. О. Елементи біологізованої технології вирощування нуту. Рекомендації виробництву. Черкаси, 2019. 24 с.
13. Крутило Д. В., Надкернична О. В., Іванюк С. В., Куц О. В. Ефективність біопрепаратів на основі нового штаму *Rhizobium phaseoli* ФБ1 за вирощування квасолі. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 3. С. 58–62.
14. Ефективність використання мікробіологічних препаратів у посівах бобів (*Faba bona Medic.*) за морфометричними показниками / С. В. Пидя, М. Р. Сорока, О. В. Тригуба та ін. *Dynamics of the development of world science: abstracts of VI International Scientific and Practical Conference (19–21 February 2020)*. Vancouver, Canada, 2020. P. 884–894.
15. Пидя С. В., Конончук О. Б., Тригуба О. В., Гурська О. В. Ефективність застосування мікробіологічних препаратів Ризобіфіт та Ризогумін за біометричними показниками бобів (*Faba bona Medic.*). *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 114–120.
16. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур. Львів, 2020. Вид. 5-е. С. 384–392.
17. Cuccia G., Lacollaa G., Summob C., Pasqualoneb A. Effect of organic and mineral fertilization on faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 243. P. 338–343.
18. Faba bean meal, starch or protein fortification of durum wheat pasta differentially influence noodle composition, starch structure and in vitro digestibility / Manu P. Gangola et al. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 349. Art. 129167.
19. Targeted quantification of B vitamins using ultraperformance liquid chromatography-selected reaction monitoring mass spectrometry in faba bean seeds / Jeremy Marshall et al. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. Vol. 95. Art. 103687.
20. Конончук О. Б. Навчальна практика з основ сільського господарства: навч. посіб. 3-є вид., випр., допов. Тернопіль, 2020. 136 с.
21. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ, 1994. 334 с.
22. Біологічний азот / В. П. Патики, С. Я. Коць, В. В. Волкогон та ін.; за заг. ред. В. П. Патики. Київ, 2003. 424 с.
23. Толкачев Н. З. Бобово-ризобійний симбіоз як основа екологічно безпечних технологій вирощування зернобобових культур. *Матеріали Міжнародної наукової конференції Сталій розвиток агроєкосистем: мат. Міжнар. наук. конф. (17–20 вересня 2002 р.)*. Вінниця, 2002. С. 169–167.

БАЛАНС ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН У ГРУНТІ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР

Ткачук О.П., Врадій О.І.

Вінницький національний аграрний університет
вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця
tkachukop@ukr.net

Проаналізовано за даними Державної служби статистики за 2021 рік рівні середньої урожайності найпоширеніших зернобобових культур в Україні: сої культурної, гороху посівного, нуту звичайного, сочевиці звичайної, квасолі зернової та бобів кормових. Визначено обсяг утворення ними побічної продукції залежно від частки урожаю насіння. Приведено вміст основних неорганічних елементів у побічній продукції зернобобових культур. Розраховано обсяги надходження мінеральних речовин до ґрунту із заорюванням рослинних решток зернобобових культур. Представлено обсяги симбіотичної азотфіксації зернобобових рослин. Подані дані щодо використання поживних речовин зернобобовими культурами для формування урожаю їх насіння. Обчислено загальне використання поживних речовин досліджуваними рослинами на запланований урожай. Розраховано баланс поживних речовин між їх використанням зернобобовими культурами для росту і розвитку та повернутими неорганічними елементами до ґрунту з побічною продукцією та симбіотичною азотфіксацією. На основі цього рекомендовані ті види зернобобових культур, які здійснюють найбільш позитивний вплив на агроекологічний стан ґрунту.

Залучення до сівозміни зернобобових культур, зокрема нуту, сочевиці, гороху та квасолі за умови повного повернення до ґрунту їх побічної продукції та з урахуванням симбіотичної азотфіксації дозволить збільшити запас мінерального азоту на 5–25 % без додаткового внесення мінеральних добрив, що істотно поліпшить агроекологічний стан ґрунту за рахунок підвищення його родючості та обмежить використання синтетичних мінеральних добрив. Баланс фосфору та калію у ґрунті за вирощування усіх видів зернобобових культур є негативним. Найбільш сприятливий баланс фосфору у ґрунті при вирощуванні зернобобових культур спостерігається після нуту, сочевиці та квасолі, а калію – після сочевиці. *Ключові слова:* зернобобові культури, ґрунт, поживні речовини, баланс.

Balance of nutrients in the soil in the growing of legumins. Tkachuk O., Vradiy O.

According to the State Statistics Service for 2021, the levels of average yield of the most common legumes in Ukraine were analyzed: soybeans, peas, chickpeas, lentils, lentils, beans and fodder beans. The volume of by-products formation depending on the share of seed yield was determined. The content of basic inorganic elements in by-products of legumes is given. The volumes of mineral inflow to the soil with plowing of plant residues of legumes are calculated. Volumes of symbiotic nitrogen fixation of legumes are presented. Data on the use of nutrients by legumes for crop formation of their seeds are presented. The total use of nutrients by the studied plants for the planned harvest is calculated. The balance of nutrients between their use of legumes for growth and development and returned inorganic elements to the soil with by-products and symbiotic nitrogen fixation is calculated. Based on this, those types of legumes are recommended that have the most positive impact on the agro-ecological condition of the soil.

The research was carried out by calculation based on the assessment of yield levels of the main legumes: soybeans, peas, chickpeas, lentils, beans and beans according to the State Statistics Service of Ukraine. Reference data were used to determine the ratio of seed yield to by-products, the content of mineral elements in by-products, the amount of nutrients removed by legumes from the soil and their return with by-products, as well as the value of symbiotic nitrogen fixation.

Involvement of legumes, including chickpeas, lentils, peas and beans in crop rotation, provided that their by-products are fully returned to the soil and taking into account symbiotic nitrogen fixation, will increase mineral nitrogen reserves by 5–25 % without additional fertilizers, which will, significantly improve agroecological conditions, by increasing its fertility and limit the use of synthetic fertilizers. The balance of phosphorus and potassium in the soil for growing all types of legumes is negative. The most favorable balance of phosphorus in the soil in the cultivation of legumes is observed after chickpeas, lentils and beans, and potassium – after lentils. *Key words:* legumes, soil, nutrientsbalance.

Постановка проблеми. Зернобобові культури належать до групи цінних в агроекологічному плані рослин сучасної інтенсивної сівозміни, оскільки здатні підвищувати родючість ґрунтів як за рахунок симбіотичної азотфіксації бульбичковими бактеріями на коренях рослин, так і завдяки оптимальному співвідношенню у їх вегетативній масі вуглецю та азоту, на відміну від зернових злакових культур. Проте на сьогоднішні посівні площі цих культур різко скоротилися, що позначається родючості ґрунтів [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тривалий час у структурі посівних площ польової

сівозміни серед зернобобових культур переважав горох, що займав площі до 10 % польового клину. За часів занепаду сільськогосподарського виробництва в Україні в 90-х роках 20-го століття посівні площі гороху різко скоротилися. Із запровадженням заходів інтенсивного землеробства на початку 21 століття була переглянута структура посівних площ у напрямі збільшення посівів економічно привабливих культур, таких як кукурудза, соняшник, пшениця, ріпак та соя. Більшість цих культур вимагають високих норм добрив та виснажують ґрунт. Саме зростання посівних площ сої, як зернобобової

культури, у структурі інтенсивної сівозміни, сприяло частковому збереженню агроекологічного стану ґрунтів [3–5].

На сьогодні соя залишаються найпоширенішою зернобобовою культурою у структурі посівних площ, як технічна і фуражна рослина. Проте певне посівне значення мають інші зернобобові культури: горох, нут, сочевиця – як харчові культури, квасоля – як овочева та боби – як кормова культура. Саме в умовах глобальної зміни клімату роль нетрадиційних та малопоширених зернобобових культур різко зростає, адже нут та сочевиця належать до жаростійких культур, боби – до вологолюбивих, горох – до помірних, а квасоля та соя – до посухостійких культур. Тому залежно від фактичних ґрунтово-кліматичних умов можна підібрати оптимальний вид зернобобових культур, який зможе забезпечити найвищу урожайність [6; 7].

Мета роботи. Важливою передумовою еколого-збалансованого землеробства при вирощуванні сільськогосподарських культур є розрахунок балансу поживних речовин у ґрунті, враховуючи винос їх з урожаєм зернобобових культур та кількість поживних речовин, що повертаються у ґрунт при заорюванні рослинних решток, а також з урахуванням накопичення симбіотичного азоту бульбочковими бактеріями на коренях рослин.

Методологія. Дослідження проводилися розрахунковим способом на основі оцінки рівнів урожайності основних зернобобових культур: сої, гороху, нуту, сочевиці, квасолі та бобів за даними Державної служби статистики в Україні [8]. Використовували довідкові дані для визначення співвідношення урожаю насіння з побічною продукцією, вмісту у побічній продукції мінеральних елементів, обсягу виношення поживних речовин зернобобовими культурами з ґрунту та їх повернення з побічною продукцією, а також величини симбіотичної азотфіксації [9–12].

Виклад основного матеріалу. Дані Державної служби статистики в Україні засвідчують урожайність зернобобових культур у 2021 році в межах 1,39–2,32 т/га. Найвищою зафіксована урожайність насіння бобів кормових – 2,32 т/га. Урожайність сої була на 1,3 % нижча, гороху – на 1,7 %, квасолі – на 31,5 %, нуту і сочевиці – на 40 % нижча (табл. 1).

Аналіз урожайності зернобобових культур в Україні показує, що їх можна умовно поділити на дві групи: умовно високоврожайні – боби кормові, соя, горох та умовно низькоурожайні – квасоля, нут та сочевиця, що мають середню урожайність на 30–40 % нижчу, ніж зернобобові культури першої групи.

Сучасне інтенсивне землеробство передбачає використання для господарських потреб лише основну частину урожаю: зерно, насіння, плоди та ін. У зернобобових культур продуктивною частиною урожаю є насіння. В той же час побічна продукція рослин використовується для повернення у ґрунт

та часткової компенсації затрачених з нього поживних речовин.

Таблиця 1

Середня урожайність насіння зернобобових культур в Україні та обсяг утворення побічної продукції

№	Вирощувана культура	Урожайність насіння, т/га	Співвідношення насіння до побічної продукції рослин	Середній обсяг утворення побічної продукції, т/га
1	Соя культурна	2,29	1 : 1,4	3,2
2	Горох посівний	2,28	1 : 1,4	3,2
3	Нут звичайний	1,40	1 : 1,3	1,8
4	Сочевиця звичайна	1,39	1 : 1,2	1,7
5	Квасоля зернова	1,59	1 : 1,4	2,2
6	Боби кормові	2,32	1 : 1,5	3,5

Обліковують побічну продукцію рослин за відповідними коефіцієнтами та за співвідношенням основної продукції (насіння, зерно) до побічної продукції (соломи, стебел, бадилля, листя, стерні і т. д.). У зернобобових культур побічною продукцією виступають стебла та листя. На відміну від зернових культур у зернобобових частка побічної продукції є істотно більшою, ніж частка насіння та переважає основну продукцію в 1,2–1,5 рази залежно від виду рослин.

Найбільше побічної продукції відносно урожаю насіння формується у бобів кінських – в 1,5 рази більше, у сої, гороху та квасолі – в 1,4 рази більше, у нуту – в 1,3 рази, а у сочевиці – в 1,2 рази більше, ніж маса насіння.

З урахуванням середньої урожайності насіння зернобобових культур найбільше до ґрунту може повернутися побічної продукції бобів – 3,5 т/га. При вирощуванні сої та гороху до ґрунту може надійти побічної продукції на 8,6 % менше, ніж від бобів – 3,2 т/га, після квасолі – на 37,1 % менше – 2,2 т/га, а найменше – після нуту і сочевиці – 1,7–1,8 т/га, що у 2 рази менше, ніж надійде до ґрунту рослинної маси бобів.

Незважаючи на значну частку побічної продукції у зернобобових культур, порівняно з насінням, до ґрунту з площі 1 га надійде відносно не багато органічної рослинної маси, оскільки ці культури формують невисоку урожайність насіння. За кількістю повернутої рослинної маси зернобобові культури прирівнюються до ячменю ярого, але поступаються іншим культурам сучасної інтенсивної сівозміни, таким як озима пшениця, озимий ріпак, соняшник та кукурудза.

Вміст основних елементів живлення рослин у побічній продукції зернобобових культур становив: азоту – 10,0–12,0 кг/т, фосфору – 3,4–3,6 кг/т, калію – 4,6–5,0 кг/т. Найвищий вміст азоту мала побічна продукція сої – 12,0 кг/т, сочевиці – на 10 % менша, нуту, квасолі і бобів – на 11,7 % менша і гороху – на 16,7 % менша, ніж сої. Найвищий вміст фосфору мала побічна продукція сої та бобів – по 3,6 кг/т. У гороху, нуту та квасолі фосфору у побічній продукції містилося на 2,8 % менше, а у сочевиці – на 5,6 % менше, ніж у сої та бобів. Найбільший вміст калію у побічній продукції встановлений у сої – 5,0 кг/т. У нуту, квасолі та бобів його вміст був на 6,0 % менший, а у гороху та сочевиці – на 8,0 % менший. Таким чином, серед усіх зернобобових культур найвищий вміст азоту і калію у побічній продукції виявлений у сої, фосфору – у сої та бобів. Найменший вміст азоту спостерігався у побічній продукції гороху, фосфору – сочевиці, калію – гороху та сочевиці (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст основних елементів живлення у побічній продукції зернобобових культур, кг/т

Культура	Елементи живлення		
	N	P	K
Соя культурна	12,0	3,6	5,0
Горох посівний	10,0	3,5	4,6
Нут звичайний	10,6	3,5	4,7
Сочевиця звичайна	10,8	3,4	4,6
Квасоля зернова	10,6	3,5	4,7
Боби кормові	10,6	3,6	4,7

З урахуванням утвореної та загорнутої в ґрунт побічної продукції зернобобових рослин, до нього надійде 19,1–38,4 кг/га мінерального азоту. Найбільше мінерального азоту у ґрунт надійде з побічною продукцією сої – 38,4 кг/га. З побічною продукцією бобів азоту надійде на 3,4 % менше, з продукцією гороху – на 16,7 %, квасолі – на 39,3 %, нуту – на 50,3 % та з продукцією сочевиці – на 52,1 % менше, ніж з побічною продукцією сої. Мінерального фосфору до ґрунту з побічною продукцією зернобобових культур надійде 5,8–12,6 кг/га. Найбільше накопичує фосфору побічна продукція бобів, сої – на 8,7 % менше, гороху – на 11,1 %, квасолі – на 38,9 %, нуту – на 50 % і сочевиці – на 54 % менше, ніж надійде до ґрунту фосфору із побічною продукцією бобів. Калію з побічною продукцією зернобобових культур надійде до ґрунту 7,8–16,5 кг/га. Найбільше калію накопичує побічна продукція бобів – 16,5 кг/га, сої – на 3 % менше, гороху – на 10,9 %, квасолі – на 37,6 %, нуту – на 48,5 % і сочевиці – на 52,7 % менше, ніж його надійде до ґрунту з побічною продукцією бобів. Таким чином, найбільше азоту з побічною продукцією надійде від сої – 38,4 кг/га, фосфору і калію –

з бобів – відповідно 12,6 та 16,5 кг/га. Найменше азоту, фосфору та калію надійде до ґрунту з побічною продукцією сочевиці (табл. 3).

Унікальною властивістю зернобобових культур є здатність акумулювати мінеральний азот у ґрунті з атмосфери завдяки симбіотичній азотфіксації бульбчкових бактерій на коренях бобових та зернобобових культур. Симбіотично фіксований азот використовується рослинами для свого росту і розвитку, а також залишається у ґрунті для наступних культур у сівозміні. Найбільше утворює симбіотично фіксованого азоту соя – 120 кг/га, боби – на 8,3 % менше, горох – на 16,7 %, сочевиця – на 29,2 %, нут – на 33,3 %, квасоля – на 41,7 % менше, ніж соя.

Загальне накопичення азоту у ґрунті від побічної продукції та симбіотичної азотфіксації зернобобових культур становить 93,3–158,4 кг/га. Найбільше накопичується у ґрунті азоту після вирощування сої – 158,4 кг/га, після бобів – на 7,1 % менше, після гороху – на 16,7 %, після сочевиці – на 34,7 %, після нуту – на 37,4 % і після квасолі – на 41,1 % менше, ніж після сої.

Таблиця 3

Обсяги накопичення у ґрунті основних елементів живлення при заорюванні побічної продукції зернобобових культур та їх симбіотична азотфіксація, кг/га

Культура	Елементи живлення			Симбіотична азотфіксація	Загальне накопичення азоту у ґрунті з побічною продукцією та симбіотичною фіксацією
	N	P	K		
Соя культурна	38,4	11,5	16,0	120	158,4
Горох посівний	32,0	11,2	14,7	100	132,0
Нут звичайний	19,1	6,3	8,5	80	99,1
Сочевиця звичайна	18,4	5,8	7,8	85	103,4
Квасоля зернова	23,3	7,7	10,3	70	93,3
Боби кормові	37,1	12,6	16,5	110	147,1

На утворення 1 т насіння зернобобові культури використовують з ґрунту 53–100 кг мінерального азоту. Найменше азоту використовує нут – 53 кг/т, квасоля і горох – на 3,6 % більше, сочевиця – на 8,6 %, боби – на 18,5 % та соя – на 47 % більше, ніж нут. Обсяги використання мінерального фосфору на формування 1 т урожаю насіння становлять 16–31 кг. Найменше фосфору використовує горох – 16 кг, нут, квасоля та боби – на 11,1 % більше, сочевиця – на 20 % і соя – на 48,4 % більше, ніж використовує нут. Споживання калію зернобобовими культурами ста-

новить 25–75 кг/т. Найменше використовує калію на формування 1 т насіння горох – 25 кг, боби – на 7,4 % більше, сочевиця – на 10,7 %, соя – на 30,6 % та нут – на 66,7 % більше, ніж горох (табл. 4).

Таблиця 4

Використання поживних речовин з ґрунту на формування урожаю зернобобових культур, кг/т

Культура	Елементи живлення		
	N	P	K
Соя культурна	100	31	36
Горох посівний	55	16	25
Нут звичайний	53	18	75
Сочевиця звичайна	58	20	28
Квасоля зернова	55	18	45
Боби кормові	65	18	27

Із сформованим урожаєм насіння зернобобових культур, вилучення із ґрунту поживних речовин є значно вищим і становить 74–229 кг/га. Зокрема із урожаєм насіння сої 2,29 т/га з ґрунту буде використано найбільше азоту серед усіх зернобобових культур – 229 кг/га, з урожаєм бобів азоту буде вилучено на 34,1 % менше, гороху – на 45,4 %, квасолі – на 61,6 %, сочевиці – на 64,6 % та нуту – на 67,7 % менше, ніж з урожаєм сої. Зокрема нут із середньою урожайністю 1,4 т/га найменше використовує азоту з ґрунту серед усіх зернобобових культур – лише 74 кг/га (табл. 5).

Таблиця 5

Внесення поживних речовин з ґрунту урожаєм зернобобових культур при їх середній урожайності, кг/га

Культура	Елементи живлення		
	N	P	K
Соя культурна	229	71	82
Горох посівний	125	37	57
Нут звичайний	74	25	105
Сочевиця звичайна	81	28	39
Квасоля зернова	88	29	72
Боби кормові	151	42	63

Фосфору з урожаєм зернобобових культур буде вилучено з ґрунту 28–71 кг/га. Найбільше виносить цього елемента з ґрунту соя – 71 кг/га, боби – на 40,8 % менше, горох – на 47,9 %, квасоля – на 59,2 %, сочевиця – на 60,6 % і нут – на 64,8 % менше, ніж з урожаєм сої.

Обсяги витрат калію з ґрунту при вирощуванні зернобобових культур становлять 39–105 кг/га. Найбільше виносить калію на формування урожаю нут – 105 кг/га, соя – на 21,9 % менше, квасоля – на 31,4 %, боби – на 40 %, горох – на 45,7 %, сочевиця – на 62,9 % менше, ніж виносить з урожаєм нут. Загалом найбільше азоту і фосфору з ґрунту виносить з урожаєм соя, калію – нут.

Найменший виніс з урожаєм азоту і фосфору має нут, а калію – сочевиця.

При порівнянні обсягів винесення поживних речовин з ґрунту урожаєм досліджуваних зернобобових культур з тією кількістю поживних речовин, які повернуться до ґрунту з післяжнивними рештками при їх повному заорюванні та з урахуванням надходження азоту від симбіотичної фіксації, виявлено, що позитивний баланс азоту у ґрунті після вирощування зернобобових культур спостерігається після нуту – плюс 25 кг/га, сочевиці – плюс 22 кг/га, гороху – плюс 7 кг/га та квасолі – плюс 5 кг/га. Від’ємний баланс азоту у ґрунті спостерігається після вирощування сої – мінус 71 кг/га та бобів – мінус 4 кг/га (табл. 6).

Таблиця 6

Баланс основних елементів живлення у ґрунті при вирощуванні зернобобових культур

Культура	Елементи живлення		
	N	P	K
Соя культурна	–71	–59	–66
Горох посівний	+7	–26	–42
Нут звичайний	+25	–19	–96
Сочевиця звичайна	+22	–22	–31
Квасоля зернова	+5	–21	–62
Боби кормові	–4	–29	–46

Баланс фосфору у ґрунті після вирощування зернобобових культур негативний і складає мінус 19 – мінус 59 кг/га. Найбільше виносить фосфору з ґрунту після вирощування сої – мінус 59 кг/га, після бобів – на 50,8 % менше, після гороху – на 55,9 %, після сочевиці – на 62,7 %, після квасолі – на 64,4 %, а найменше – після вирощування нуту – мінус 19 кг/га, що на 67,8 % менше, ніж після вирощування сої.

Баланс у ґрунті калію після вирощування зернобобових культур також негативний і становить мінус 31 – мінус 96 кг/га. Найбільш негативний баланс калію у ґрунті після вирощування нуту – мінус 96 кг/га, після сої – на 31,3 % менш негативний, після квасолі – на 35,4 %, після бобів – на 52,1 %, після гороху – на 56,3 %, а найменш негативний – після вирощування сочевиці – мінус 31 кг/га, що на 67,7 % кращий, ніж після нуту.

Таким чином встановлено, що вирощування зернобобових культур без додаткового внесення добрив, але з повним поверненням до ґрунту побічної продукції та з урахуванням симбіотичної азотфіксації, баланс азоту буде позитивним після вирощування нуту, сочевиці, гороху та квасолі. Баланс фосфору і калію у ґрунті після усіх досліджуваних зернобобових культур буде негативним.

При проведенні залежностей між досліджуваними величинами встановлено, що соя відзначається найбільшим вмістом у побічній продукції азоту, фос-

фору та калію, найвищою симбіотичною азотфіксацією, що дозволяє накопичити у ґрунті найбільше азоту. В той же час соя серед усіх зернобобових культур найбільше споживає з ґрунту азоту і фосфору на формування 1 т її насіння, що призводить до найбільшого їх винесення з ґрунту на сформований урожай та забезпечує найбільш негативний баланс азоту і фосфору у ґрунті після її вирощування.

У побічній продукції гороху міститься найменше азоту і калію серед усіх зернобобових культур. В той же час горох найменше використовує з ґрунту на формування 1 т насіння фосфору і калію та забезпечує позитивний баланс азоту у ґрунті після нього.

Нут використовує на формування 1 т урожаю насіння найменше азоту, але найбільше – калію серед усіх зернобобових культур, найменше виносить з сформованим урожаєм азоту і фосфору, але найбільше – калію, що забезпечує після вирощування нуту найбільш позитивний баланс азоту у ґрунті, найбільш негативний – калію та найменший негативний баланс фосфору серед усіх зернобобових культур.

Сочевиця формує серед усіх зернобобових культур найменший урожай насіння, а також вихід побічної продукції, найменше споживає фосфору і калію на формування 1 т урожаю, але найбільше – азоту, найменше виносить з урожаєм калію та забезпечує позитивний баланс азоту в ґрунті і найменш негативний баланс калію серед усіх зернобобових культур.

Квасоля серед усіх зернобобових культур відзначається найнижчою симбіотичною азотфіксацією, проте забезпечує позитивний баланс азоту у ґрунті через низький обсяг його винесення з урожаєм.

Боби відзначаються найвищою урожайністю насіння та найбільшим виходом побічної продукції серед усіх зернобобових культур, містять найбільше фосфору у побічній продукції, найбільше накопичують у ґрунті фосфору і калію при заорюванні його рослинних решток.

Отже, при заорюванні побічної продукції зернобобових культур у ґрунт та з урахуванням симбіотичної азотфіксації, найсприятливіший баланс азоту та фосфору спостерігатиметься після вирощування нуту, а калію – після вирощування сочевиці.

Частка повернутих до ґрунту поживних речовин азоту з побічною продукцією та симбіотично фіксованим азотом, відносно використаного для свого росту і розвитку посівами сої становить 69 %, гороху – 106 %, нуту – 134 %, сочевиці – 128 %, квасолі – 106 %, бобів кормових – 97 %. Частка повернутого фосфору з побічною продукцією становить у сої 16 %, гороху – 30 %, нуту – 25 %, сочевиці – 28 %, квасолі – 27 %, бобів кормових – 30 %. Повертається до ґрунту із побічною продукцією калію при вирощуванні сої 20 %, гороху – 26 %, нуту – 8 %, сочевиці – 20 %, квасолі – 14 %, бобів кормових – 26 %.

Головні висновки. Залучення до сівозміни зернобобових культур, зокрема нуту, сочевиці, гороху та квасолі за умови повного повернення до ґрунту їх побічної продукції та з урахуванням симбіотичної азотфіксації дозволить збільшити запас мінерального азоту на 5–25 % без додаткового внесення мінеральних добрив, що істотно поліпшить агро-екологічний стан ґрунту за рахунок підвищення його родючості та обмежить використання синтетичних мінеральних добрив.

Література

1. Альтернативні заходи відтворення родючості ґрунтів в сучасних умовах господарювання. URL: <https://khoda.gov.ua/alternativn%D1%96-zahodi-v%D1%96dtvorennja-rodjuchost%D1%96-grunt%D1%96v--v-suchasni-umovah-gospodarjuvannja> (дата звернення: 2.01.2022).
2. Попов С., Авраменко С., Манько К. Немає гною – візьміть соломку! *Agroexpert*. URL: [https://btu-center.com/upload/images/stories/u_to_know/agroexp\(6\)14.pdf](https://btu-center.com/upload/images/stories/u_to_know/agroexp(6)14.pdf) (дата звернення: 2.01.2022).
3. Іванчук М. Д. Способи обробітку рослинних решток. *Агроном*. URL: <https://www.agronom.com.ua/sposoby-obrobitku-roslynnyh-reshtok/> (дата звернення: 2.01.2022).
4. Пришвидшення мінералізації соломи та поживних решток. URL: https://zeolit.com.ua/attach/ceovit_259.pdf (дата звернення: 2.01.2022).
5. Ткачук О. П., Овчарук В. В. Потенціал біомаси побічної продукції рослинництва для удобрення ґрунту. *Scientific achievements of modern society. Abstracts of IX international scientific and practical conference*, April 28–30, 2020, Liverpool. P. 1069–1076.
6. Овчарук В. В. Побічна продукція рослинництва – альтернатива поповнення органічної речовини ґрунту. *Dynamics of the development of world science. Vancouver, Canada*. 2020. № 9. P. 781–788.
7. Ovcharuk V. Biomass potential of post-harvest residues as an organic fertilizers. *The scientific heritage*. 2020. № 49. P. 4–7.
8. Посівні площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур. *Державна служба статистики України*. URL: http://ukrstat.gov.ua/metaopus/2019/2_03_07_03_2019.htm (дата звернення: 11.08.2021).
9. Камінський І. В. Ефективність використання зернобобових культур у польових сівозмінах як попередника. *Економіка АПК*, 2013. № 10. С. 24–27.
10. Viktor Mazur, Ihor Didur, Oleksandr Tkachuk, Hanna Pansyryeva, Vitaliy Ovcharuk. Agroecological stability of cultivars of sparsely distributed legumes in the context of climate change. *Scientific Horizons*, 2021. Vol. 24, № 1. P. 54–60.
11. Бутенко А. О., Дерев'янко Ф. М., Павленко Д. Г. Властивості соломи як органічного добрива. Наукове мислення. Двадцять четверта всеукраїнська практично-пізнавальна інтернет-конференція. URL: <http://naukam.triada> (дата звернення: 11.08.2020).
12. Ткачук О. П., Овчарук В. В. Екологічний потенціал зернобобових культур у сучасній інтенсивній сівозміні. *Сільське господарство та лісівництво*, 2020. № 18. С. 161–171.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Шелудченко Л.С.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
вул. Шевченка 13, 32300, м. Кам'янець-Подільський
seludcenkolesa@gmail.com

Функціонування автодорожньої інфраструктури має забезпечувати екологічну та техногенну безпеку, економічну доцільність та технічну надійність. В свою чергу, автодорожня інфраструктура являє собою складну систему, яка за нормальних умов функціонування не призводить до негативного впливу на об'єкти навколишнього середовища та не впливає на здоров'я людей. Тому забезпечення екологічної безпеки території з щільною мережею автомобільних доріг є важливим завданням, щодо функціонування системи «автомобіль-дорога-довкілля», яке можливо досягнути шляхом використання сучасних інформаційних технологій. Зокрема, застосуванням кіберфізичної системи на транспорті дозволить підвищити ефективність функціонування автодорожньої інфраструктури на основі реальної інформації, що дасть можливість зменшити завантаженість транспортними засобами вулиць і доріг, підвищити рівень безпеки дорожнього руху, інформувати учасників руху про стан дорожньо-транспортної ситуації по обраному маршруту, рекомендувати оптимальний маршрут, покращити рівень екологічної безпеки території, встановлювати пріоритетність заходів, щодо підвищення ефективності функціонування транспортної системи на основі зібраних даних тощо.

В роботі розроблена та запропонована загальна схема поширення небезпеки в умовах функціонування автодорожньої мережі. Зокрема встановлено, що негативний вплив на навколишнє середовище здійснюється як в процесі «нормального» функціонування транспортної системи, так і при виникненні аварійних ситуацій. Теоретично обгрунтовано про необхідність забезпечення економічної доцільності, техногенної безпеки та екологічної надійності функціонування транспортної системи відповідно до принципу системного підходу, а зокрема базованих на критеріях ефективності та встановлених нормованих показниках транспортного потоку в реальних умовах.

Впровадження кіберфізичної системи на транспорті необхідно здійснювати з урахуванням трьох векторних напрямків: у транспортній інфраструктурі, у взаємодії транспортних засобів з інфраструктурою та на транспортних засобах. Це дасть можливість здійснювати управління дорожнім рухом з метою попереджувальної, інформативної, регулятивної функції та дозволить забезпечити достатній рівень екологічної безпеки автодорожньої інфраструктури. *Ключові слова:* автодорожня інфраструктура, екологічна безпека, кіберфізична система, транспортні потоки.

Theoretical substantiation of application of cyberphysical system on transport for maintenance of ecologically safe functioning of road infrastructure. Sheludchenko L.

The functioning of road infrastructure should ensure environmental and ecological safety, economic feasibility and technical reliability. In turn, the road infrastructure is a complex system that under normal operating conditions does not adversely affect the environment and does not affect human health. Therefore, ensuring the environmental safety of the territory is an important task of the system «car-road-environment», which can be achieved using modern technologies. In particular, the use of cyberphysical system will increase the efficiency of transport infrastructure based on real information, which will reduce traffic congestion on streets and roads, increase road safety, inform road users about the traffic situation on the selected route, and recommend the optimal route, to improve the level of ecological safety of the territory, to establish the priority of measures to increase the efficiency of the transport system on the basis of collected data, etc.

The general scheme of danger distribution in the conditions of road network functioning is developed and offered in the work. In particular, it is established that the negative impact on the environment is carried out both in the process of «normal» functioning of the transport system and in the event of emergencies. Theoretically substantiated the need to ensure economic feasibility, technogenic safety and environmental reliability of the transport system in accordance with the principle of a systematic approach, and in particular based on efficiency criteria and established standardized indicators of traffic flow in real conditions. The implementation of cyberphysical systems must be caring out taking into account three areas: in transport infrastructure, in the interaction of vehicles directly with the infrastructure and on vehicles. The use of cyberphysical systems will make it possible to manage traffic not only as a preventive, informative, regulatory function, but also to ensure a sufficient level of environmental safety of road infrastructure. *Key words:* road infrastructure, environmental safety, cyberphysical system, transport flows.

Постановка проблеми. Розвиток сучасного суспільства характеризується інтенсивним загро-
щенням ряду глобальних екологічних проблем, детальний аналіз яких дозволить розробити дієвий алгоритм дій та рішень для забезпечення достат-

нього рівня екологічної безпеки. Сучасний розвиток всієї автодорожньої інфраструктури зумовлюється значним збільшенням кількості транспорту, обсягів пасажирських та вантажних перевезень. Таким чином, функціонування автодорожньої інфраструк-

тури має забезпечувати екологічну та техногенну безпеку, економічну доцільність, технічну надійність та мобільність функціонування всього автотранспортного комплексу [1].

Актуальність досліджень. Національна безпека України включає в себе комплекс як законодавчих, так і організаційних заходів, які мають бути спрямовані на постійну захищеність важливих інтересів людини, суспільства і держави, за яких забезпечуються сталий розвиток суспільства, здійснюється своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних та потенційних загроз, в тому числі, у сферах транспорту та зв'язку, інформаційних технологій, захисту довкілля тощо. Слід відмітити, що автодорожня інфраструктура являє собою складну, багаторівневу систему «автомобіль-дорога-довкілля», яка за нормальних умов функціонування перебуває у стані, коли дія зовнішніх факторів і внутрішніх чинників не призводить до певних негативних процесів, її функціонального призначення та стійкості [2; 3].

Проте автомобільні магістралі та окремі об'єкти інфраструктури автомобільних доріг відносять до «...об'єктів підвищеної екологічної небезпеки техногенного характеру». В свою чергу, техногенна безпека охоплює питання раціонального використання та відновлення природних ресурсів та охорони об'єктів навколишнього середовища (атмосфери, гідросфери, літосфери), здоров'я людини [4]. Відповідно до загальноприйнятого розуміння термін «техногенна безпека» тлумачиться як «відсутність виникнення надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах». Джерелом небезпеки, в такому випадку, можуть виступати потенційно небезпечні об'єкти та об'єкти підвищеної небезпеки господарської діяльності, будівлі та споруди із порушенням умов їх експлуатації. Таким чином, забезпечення техногенної безпеки є основною функцією захисту територій і населення від виникнення надзвичайних ситуацій в зоні впливу джерела небезпеки.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями виконаний відповідно до «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року», яка визначає основні пріоритети комплексного формування транспортної політики та ефективного державного управління, основні напрями розвитку транспортної галузі на період до 2030 року. Метою Стратегії є створення інтегрованого до світової транспортної мережі безпечно функціонуючого та ефективного транспортного комплексу України. Зокрема важливий акцент у даній роботі базується на врахування світових тенденцій, які враховує Стратегія: «...*пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища та збереження цінних природоохоронних територій під час розвитку транспортної інфраструктури*».

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Загальна екологічна оцінка функціонування

автодорожньої інфраструктури висвітлювалася в дослідженнях провідних науковців: у галузі екологічної безпеки (Внукова Н. В., Шмандій В. М., Хрутьба В. О., Бахарєв В. С., Артемчук В. О., Кундельська Т. В.), у галузі екологічного права (Антонюк У. В.) тощо.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячуються означена стаття. Водночас, недостатньо дослідженим і актуальним залишається питання, щодо застосування кіберфізичної складової в системі «автомобіль-дорога-довкілля» для забезпечення екологічно безпечного функціонування автодорожньої інфраструктури в цілому.

Новизна полягає у покращенні ефективності функціонування системи «автомобіль-дорога-довкілля» шляхом застосування кіберфізичної системи, спрямованої на підвищення надійності та безпечності функціонування автодорожньої інфраструктури в цілому в умовах екологічної безпеки.

Методологічне або загальнонаукове значення. Реалізація технічних та технологічних рішень для окремих елементів системи транспортної інфраструктури не можуть призвести до підвищення загальної ефективності функціонування системи в цілому. Саме тому, інженерні рішення для задоволення транспортно-комунікаційних потреб необхідно розглядати як комплексну задачу, яка поєднує в собі комп'ютерні, інформаційні та комунікаційні технології в режимі реального часу для усіх учасників дорожнього руху, що дозволить значно підвищити рівень безпеки транспортного обслуговування в тому числі з високим рівнем екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу. Вплив автодорожньої мережі на навколишнє середовище визначається технічними характеристиками транспортних засобів, експлуатаційними показниками автомобільної дороги, основними характеристиками транспортного потоку (його інтенсивністю, швидкістю та складом), а також щільністю автомобільних доріг. Пропускна здатність автомобільної дороги визначається її конструкцією, особливостями організації дорожнього руху, яка має забезпечувати безпеку усіх учасників дорожнього руху [5]. Відповідно до принципу системного підходу, ефективність транспортного потоку може базуватися на прийнятному критерії ефективності на основі загальних оцінок:

$$\varphi = \sum_{i=1}^m b_i \times g_i, \quad (1)$$

де g_i – нормований показник ефективності;

m – кількість показників ефективності.

b_i – вагові коефіцієнти, які відповідають умові

наступного виразу $\sum_{i=1}^m b_i = 1$.

До нормованих показників транспортного потоку можна віднести:

- 1) показник виконаної корисної роботи;
- 2) ефективність витрати пального;
- 3) екологічність корисної дії.

Негативний вплив транспортної інфраструктури на навколишнє середовище відбувається як в процесі «нормальної» експлуатації (постійний вплив з ефектом накопичення небезпеки), так і в результаті виникнення аварійної ситуації (раптовий одномоментний вплив та миттєвість виникнення небезпеки), що характеризується різким надходженням небезпечних речовин та інших негативних проявів в результаті руйнування транспортних споруд і дорожньо-транспортних пригод (рис. 1).

Слід відмітити, що вплив, який можна охарактеризувати як наслідок «нормального» функціонування автодорожньої інфраструктури, можна контролювати та обмежувати за допомогою інженерних рішень захисту довкілля, розрахунку ризиків та превентивних заходів, які працюють на випередження.

Таким чином мова йде про дотримання рівня автотранспортної ємності певної локальної території, вихід за межі якої може призвести до ймовірності виникнення екологічної небезпеки (табл. 1).

Слід відмітити, що саме транспортні потоки здійснюють найбільший негативний вплив на навколишнє середовище на відміну від одиничних транспортних засобів, особливо в умовах урбосистеми. Серед основних факторів транспортного впливу є: склад, інтенсивність, швидкість, прискорення транспортного потоку, технічний рівень транспортних засобів, їх експлуатаційний стан, пальне, яке вико-

ристовується ТЗ, об'єм та номенклатура вантажів тощо [6]. Рівень впливу транспорту, а зокрема викидів забруднюючих речовин CO , C_xH_y , NO_x в складі автотранспортного потоку [7] (табл. 2), визначений на прикладі м. Кам'янець-Подільський:

$$Y_i = \begin{cases} N_a \times A_{j1}^m, & \text{якщо } S_{\text{вант.а}} \leq 5 \% \\ N_a \times A_{j2}^m, & \text{якщо } S_{\text{вант.а}} \geq 5 \dots \leq 25 \% \\ N_a \times A_{j3}^m, & \text{якщо } S_{\text{вант.а}} > 25 \% \end{cases}, (2)$$

де N_a – загальна кількість транспортних засобів, авт./год;

$A_{j1,2,3}^m$ – коефіцієнти регресії, $\left[\frac{\text{кг}}{\text{год} \cdot \text{км}} \right]$;

$S_{\text{в.а}}$ – частка вантажних автотранспортних засобів в автотранспортному потоці, %.

Для забезпечення ефективних нормованих показників функціонування автодорожньої інфраструктури необхідні реальні дані, щодо стану завантаженості ВДМ міста або окремих ділянок транспортними засобами, кількісного і якісного складу транспортного потоку, дослідження характеру руху та його розподілу по функціональних зонах міста тощо.

Удосконалення організації руху можливо здійснювати на основі впровадження сучасних технологій, а зокрема кіберфізичних систем (КС) по трьох векторах: 1) КС транспортної інфраструктури, 2) КС взаємодії транспортних засобів з інфраструктурою, 3) КС транспортних засобів [8; 9].

Головні висновки. Застосування кіберфізичних систем дасть можливість збору великої кількості інформації, що значно підвищує характер процесу

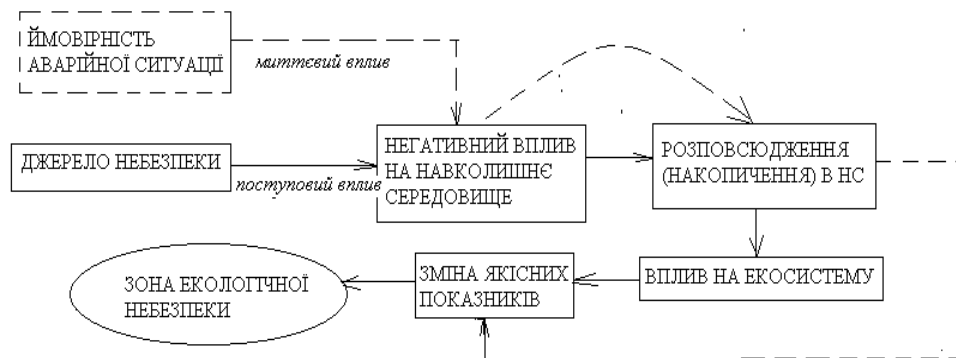


Рис. 1. Загальна схема поширення небезпеки в межах функціонування транспортної інфраструктури

Таблиця 1

Небезпечні впливи транспорту на навколишнє середовище, які можуть призвести до виникнення екологічної аварії

Назва впливу	Транспортні засоби	Автомобільні дороги	Транспортна інфраструктура
Вплив на навколишнє середовище	Викиди забруднюючих речовин (ЗР); дорожньо-транспортні пригоди (ДТП); порушення умов перевезення небезпечних вантажів	Вилучення території; Зміна показників якості; Вплив на екосистеми	Вилучення території; Забруднення водних потоків; Небезпечні відходи
Масштаби впливу	Придорожні території	Зона впливу автодороги	Уся територія +СЗЗ

Таблиця 2

Викиди ЗР потоком транспортних засобів

Назва вулиці	Легкові ТЗ, авт/год	Вантажні ТЗ, авт/год	Сумарна кількість ТЗ, авт/год	Викиди ЗР (CO, C _x H _y , NO _x) транспортним потоком
Хмельницьке шосе	708	24	732	5112,29
вул. Шевченка	580	6	586	4092,62
Проспект Грушевського (центр)	888	54	942	9876,12
Проспект Грушевського (до центру)	905	124	1029	10788,24
Північна (центр)	580	21	601	4197,38
Північна	108	60	168	2672,88
Привокзальна	108	60	168	2672,88
Князів Кориатовичів	660	36	696	7297,0
Замкова	54	1	55	384,12

фізичної, соціальної та інформаційної складової транспортної системи шляхом розрахунків, комунікаційних зв'язків та системи управління дорожнім рухом не лише в якості попереджувальної, інформативної, регулятивної функції, а й у забезпеченні достатнього рівня екологічної безпеки.

Слід додати, що з початку війни російськими окупантами відбувається цілеспрямоване знищення транспортної інфраструктури по всій території України. Суттєво знизилася обсяги перевезень пасажирів і вантажів усіма видами транспорту, що призводить до зниження соціально-економічного становища усіх регіонів країни. В результаті екологічного злочину в навколишнє середовище потрапляють небезпечні речовини в концентраціях, які значно перевищують їх ГДК. Зокрема зруйновано та пошкоджено майже 8 тис. км доріг. Повністю оцінити вартість шкоди заподіяної транспортній інфраструктурі

та навколишньому середовищу можливо буде лише після завершення невинуватеної війни росії проти українського народу.

Перспективи дослідження. Застосування кіберфізичної системи в транспорті дозволить забезпечити взаємодію всіх учасників дорожнього руху між собою та транспортною інфраструктурою загалом та дозволить вирішити наступні завдання: інформувати учасників руху про дорожні умови; здійснювати управління рухом транспортних засобів; визначати завантаженість транспортними засобами вулично-дорожньої мережі; здійснювати моніторинг умов руху транспортних засобів у реальному часі; проводити оптимізацію алгоритмів керування світлофорними об'єктами; здійснювати моніторинг якості атмосферного повітря в режимі реального часу та при цьому забезпечити достатній рівень екологічної безпеки функціонування автодорожньої інфраструктури.

Література

- Екологічна безпека та економіка : монографія / М. І. Сокур, В. М. Шмандій, Є. К. Бабець, В. С. Білецький, І. Є. Мельнікова, О. В. Харламова, Л. С. Шелудченко. – Кременчук, ПП Щербатих О. В., 2020. 240 с.
- Борисов О. О., Кофанов О. Є. Екологічне навантаження з боку автотранспортних потоків на придорожні території рекреаційного призначення. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. № 4. С. 124–133.
- Вознюк С. В. Аналіз впливу дорожньо-транспортного комплексу на придорожній ландшафт. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання». Чернівці: «Місто», 2015. С. 44–46.
- Борисов О. О., Кофанова О. В. Проблеми вторинної міграції хімічних елементів – інгредієнтів викидів автотранспортних засобів на придорожніх рекреаційних територіях міст. Екологічні науки, 2019. Вип. 1(924). Т. 1. С. 17–21.
- Мнацаканян В. Г., Мнацаканян М. С. Екологічна безпека транспортних систем індустриального центру на основі методів імітаційного моделювання. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 29 (68). Ч. 1. № 1. Київ, 2018. С. 191–196.
- Шелудченко Л. С. Дослідження матеріального балансу “пальне – викиди”. Склад та обсяги шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками. Наук.-техн. журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування». Вип. № 2 (16) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2017. С. 133–140.
- Шелудченко Л. С., Чинчик О. С., Поліщук Д. В. Функціональні ознаки автотранспортного потоку та шляхи забезпечення екологічної безпеки природних територій. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 29 (68) № 4, 2018. Частина 2, Київ, 2018. С. 163–167.
- Dusan Jolovic, Aleksandar Stevanovic, Soheil Sajjadi, Peter T. Martin, 2016. Assessment of Level-Of-Service for Freeway Segments Using HCM and Microsimulation Methods, ISEHP 2016. International Symposium on Enhancing Highway Performance, Transportation Research Procedia, 15 (2016) 403–416.
- Shi Jianjuna, Wu Xub, Guan Jizhenc, Chen Yangzhoua, 2013. The analysis of traffic control cyber-physical systems, 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013), Procedia – Social and Behavioral Sciences, 96 (2013) 2487–2496.

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 504.055:534.6

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.9>

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Гільов В.В., Саньков П.М., Полторацька В.М., Ткач Н.О.
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
вул. Чернишевського, 24А, 49600, м. Дніпро
hilyov.v@gmail.com

Розглянуті питання, пов'язані з оцінкою рівня шумового забруднення на автомобільних дорогах Дніпропетровської області. Наведено приклади забруднення від автомобільного транспорту та його вплив на довкілля, рівень екологічної безпеки, стан здоров'я мешканців. На сьогодні автомобільні дороги, що пронизують населені пункти, не повною мірою відповідають чинному законодавству про охорону навколишнього природного середовища та атмосферного повітря, державних будівельних норм та державних стандартів України. Вздовж автомобільних доріг створюються зони шумового забруднення від автомобілів. Стан шумового забруднення на автомобільних дорогах Дніпропетровської області визначено недостатньо. Проведено дослідження транспортних навантажень на основних автомобільних дорогах різних категорій. Зазначено, що в потоці транспорту спостерігається велика кількість вантажного транспорту, причому основна його частина припадає на великоваговий. Використовуючи методику проведення досліджень характеристик руху транспортних потоків, виміряні еквівалентні рівні шуму на міжнародних (категорія Е, М), національних (категорія Н), регіональних (категорія Р) та територіальних (категорія Т) автомобільних дорогах. Встановлено перевищення припустимого значення еквівалентних і максимальних рівнів звуку проникаючого шуму на територіях, що безпосередньо прилягають до житлових будинків. Ситуація, що склалася, вимагає більш детального розгляду проблеми шумового забруднення територій прилеглих до автомагістралей та проведення подальшого соціального, екологічного та економічного дослідження рівня екологічної безпеки. Проведена авторами оцінка рівня шумового забруднення на автомобільних дорогах Дніпропетровської області дозволить розробити та реалізувати архітектурно-планувальні та організаційні заходи щодо збереження та поліпшення стану житлового середовища. *Ключові слова:* автомобільна дорога, шумове забруднення, характеристики транспортних потоків, шумомір.

Study of the level of noise pollution from motor vehicles on the roads of the Dnipropetrovsk region. Hilov V., Sankov P., Poltoratska V., Tkach N.

The paper considers issues related to the assessment of the level of noise pollution on the roads of the Dnipropetrovsk region. The impact of pollution from road transport on the environment, public health and the level of environmental safety are presented. Today, highways passing through settlements do not meet the requirements of the laws on protection of the environment and atmospheric air, state building codes and state standards of Ukraine. Zones of noise pollution from automobile flows are created along highways. The state of noise pollution on the roads of the Dnipropetrovsk region is insufficiently determined. Studies of the characteristics of traffic flows of the main highways of different categories have been carried out. It is determined that a large number of freight transport is observed in the traffic flow, and the main part of it is heavy trucks. Equivalent noise levels on international (category E, M), national (category H), regional (category P) and territorial (category T) highways were measured using the methodology for conducting research on the characteristics of the movement of traffic flows. An excess of the permissible value of equivalent and maximum sound levels of penetrating noise was established in the territories directly adjacent to residential buildings. The current situation requires a more detailed consideration of the problem of noise pollution of the areas adjacent to the highways and further social, environmental and economic research of the level of environmental safety. The assessment of the level of noise pollution on the roads of the Dnipropetrovsk region, carried out by the authors, will allow developing and implementing architectural planning and organizational measures to preserve and improve the state of the living environment. *Key words:* highway, noise pollution, characteristics of traffic flows, noise meter.

Постановка проблеми. На сьогодні автомобільний транспорт є одним з найважливіших елементів в економічному розвитку країни, необхідною умовою функціонування сучасного суспільства, якій зіграв величезну роль у формуванні сучасного характеру розселення людей. Але з іншого боку, автотранспорт справляє негативний вплив

на людину і навколишнє середовище. Особливо, шумове забруднення. Ця проблема, насамперед, виникає на дорогах, що перетинають житлову забудову, прокладених неподалік лікарень, санаторіїв, будинків відпочинку тощо. Діяльність людини пов'язана із викликами зовнішніх подразників, що обумовлюють відповідний ступінь виснаження

й втоми нервової системи, тому важливо убезпечити їх негативні наслідки там, де вона працює, веде активний спосіб життя, відпочиває.

Актуальність дослідження. Нині постійно зростає кількість автотранспортних засобів, що впливає на стан здоров'я населення та рівень екологічної безпеки. Пронизуючи населені пункти, автомобільні шляхи України призводять до обмеження швидкості руху автомобільного транспорту та значно погіршують санітарно-гігієнічні й екологічні умови, що не відповідає вимогам до міжнародних транспортних коридорів. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище є актуальною проблемою оцінки рівня екологічної безпеки населення, що мешкає на урбанізованих територіях, розташованих вздовж автошляхів.

Дослідження здійснюється відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри «Екології та охорони навколишнього середовища» Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» на 2021–2023 рр.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Забруднення від автомобільного транспорту призводить до виникнення короткострокових та довгострокових ефектів на навколишнє середовище. Дія транспорту на навколишнє середовище [1–5]:

- вплив на процес глобального потепління;
- забруднення атмосфери, водних об'єктів та земель, зміна хімічного складу ґрунтів і мікрофлори;
- виділення тепла в навколишнє середовище під час роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ);
- створення високих рівнів шуму та вібрації;
- можливе виникнення несприятливих природних процесів: водної ерозії, заболочування місцевості, утворення селевих потоків, обвалів;
- руйнування ґрунтово-рослинного покриву і зменшення врожайності сільськогосподарських культур;
- травмованість і загибель людей, тварин, значні матеріальні збитки від аварій і катастроф;
- вплив на здоров'я населення.

Одним з негативних наслідків автомобілізації є транспортний шум, який не менш шкідливий, ніж забруднення повітря чи води. За даними вітчизняних і зарубіжних джерел шумове забруднення на сьогодні є одним з найбільш шкідливих фізичних факторів [1; 2; 6].

Вплив факторів шуму на стан здоров'я людини виражається в підвищенні нервового напруження, хронічної перевтоми, виснаженні центральної нервової системи і кори головного мозку, швидкої стомлюваності, ослаблення пам'яті, уваги, гостроти зору, патологічні зміни в органах слуху, серцево-судинній системі, фізіологічні зміни в організмі людини. Шум негативно впливає на рівень творчої діяльності людини, знижує працездатність, продуктивності

праці, його якість і безпеку [7]. Проблемі шумового забруднення в населених місцях присвячено багато досліджень, які зачіпають як медичні аспекти, так і систему шумозахисту [8–10].

Але стан шумового забруднення на автодорогах Дніпропетровської області визначено недостатньо. Необхідно проведення оцінки стану екологічної безпеки за чинником шумового забруднення території населених місць, що прилягають до автодоріг.

Виклад основного матеріалу. На території Дніпропетровської області прокладені шляхи різних категорій: міжнародні автомобільні дороги (Е, М), національні автомобільні дороги (Н), регіональні автомобільні дороги (Р), територіальні автомобільні дороги (Т). При розробці карти шуму великий обсяг робіт припадає на визначення рівня шуму транспортних потоків на дорогах інструментальним або розрахунковим методом. Вимірювання були проведені в години «пік» на перегонах не ближче 100–150 метрів від перехресть. На ділянках проведення вимірювань відсутні сторонні джерела шуму, або рівні звуку сторонніх шумів при проведенні вимірювань були на 10 дБА нижче мінімального рівня звуку, створюваного транспортними засобами. Швидкість вітру при вимірюванні не перевищувала 3 м/с, атмосферні опади – відсутні. Тривалість вимірювань в залежності від інтенсивності руху N екіпажів на годину становила 10–30 хвилин.

Місця проведення вимірювань для визначення шумової характеристики транспортних потоків розташовані на прямолінійних горизонтальних ділянках доріг з асфальтобетонним покриттям. Поздовжній ухил дороги не перевищував 1 %. Поверхня проїжджої частини доріг була гладкою, чистою і сухою (без вибоїн, піску, гравію, бруду, води і снігу). Навколо місця проведення вимірювань в радіусі 50 м відсутні будь-які споруди (будинки, суцільні паркани та ін.), або елементи рельєфу, що відбивають звук, або перешкоджають його доступу до мікрофону. Місця проведення вимірювань розташовані на ділянках доріг з постійною швидкістю руху транспорту. Натурні вимірювання еквівалентного рівня шуму проводилися за допомогою шумоміра «Октава-101А» та Benetech GM 1356.

При вимірюванні шумових характеристик зовнішнього шуму транспортних засобів шумомір було встановлено так, щоб мікрофон був направлений в сторону транспортного потоку на висоті $1,2 \pm 0,1$ метрів від рівня проїжджої частини, на відстані $(7,5 \pm 0,2)$ м від осі першої смуги руху. Головна вісь мікрофона була орієнтована горизонтально і спрямована на середину вимірювальної ділянки.

Шумовими характеристиками потоку автомобільного транспорту на дорогах міст та сільських поселень є еквівалентні $L_{\text{Аекв}}$ і максимальні $L_{\text{Амакс}}$ кориговані рівні звуку в дБА на відстані 7,5 м від осі найближчої до краю смуги руху транспорту. Місця проведення вимірювань (рис. 1) розташо-

вуються на прямолінійних горизонтальних ділянках дороги.

Одночасно з вимірюванням шуму визначаються й інші характеристики транспортного руху. Рівень шумів на автомобільних дорогах розрахунковим методом визначається інтенсивністю, швидкістю і характером (складом) транспортного потоку згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [11].

При оцінці рівня шумового забруднення від автотранспорту великий обсяг робіт припадає на визначення характеристик транспортних потоків на дорозі. Вимірювання проводились у на протязі 2020 року та восени 2021 року. Середні значення характеристик транспортних потоків та отриманих результатів вимірювання рівня шумового забруднення від автотранспорту на дорогах різних категорій надані в таблиці 1. За результатами досліджень характеристик транспортних потоків встановлено, що інтенсивність руху транспортних потоків складає від 230 до 2810 авто/годину, в потоці транспорту спостерігається велика кількість вантажного транспорту (від 20 до 50 %), причому основна його частина припадає на великовантажний транспорт з дозволеною максимальною масою понад 12 тонн.

За результатами вимірювань класи шумового забруднення на автодорогах складають 65–80 дБА. Припустимі значення октавних рівнів звукового тиску, рівнів звуку, еквівалентних і максимальних

рівнів звуку проникаючого шуму на територіях, які безпосередньо прилягають до житлових будинків встановлюються ДБН В.1.1-31:2013 [12], для денного часу доби 55 дБА та нічного 45 дБА часу доби.

Будинки першого ряду забудови майже не захищені від транспортного шуму. Тому для захисту населених місць необхідно спроектувати систему шумозахисних заходів.

Головні висновки. Проаналізовано негативний вплив, який автотранспорт справляє на людину і навколишнє середовище, з урахуванням класифікації автодоріг України. За результатами досліджень характеристик транспортних потоків встановлено, що інтенсивність руху транспортних потоків на автодорогах Дніпропетровської області складає від 230 до 2810 авто/годину. Визначено, що в потоці транспорту спостерігається велика кількість вантажного транспорту (від 20 до 50 %), основна його частина припадає на великовантажний транспорт з дозволеною максимальною масою понад 12 тонн. Встановлено, що за даними натурних досліджень рівень шумового забруднення на автодорогах Дніпропетровської області складає від 65 дБА до 80 дБА. За результатами досліджень шумового режиму встановлено, що для захисту населених місць необхідно спроектувати систему шумозахисних заходів та провести соціально-економічну оцінку рівня екологічної безпеки техногенно навантажених урбоєкосистем.



Рис. 1. Точки вимірювання рівнів шуму та характеристик транспортних потоків на автодорогах Дніпропетровської області

Таблиця 1

**Характеристики транспортних потоків та рівні шумового забруднення
на дорогах Дніпропетровської області**

Номер точки вимірювання	Місце вимірювання	Середня інтенсивність руху транспортів, авто/год					Середня швид- кість транспорту, км/год	Рівень шуму, дБА
		загальна	легковий	вантажний та автобуси				
				легкий	середній	важкий		
1	T0401 (м. Дніпро – с. Іларіонове)	420	350	20	20	30	77	68,2
2	T0401 (м. Сінельникове)	350	250	30	30	40	75	68,1
3	M04 (E50) (поворот на м. Кам’янське)	2120	1830	80	80	130	96	79,1
4	M04 (E50) (с. Миколаївка)	560	360	70	20	110	91	74,1
5	M04 (E50) (поворот на Київ)	540	390	100	-	50	94	73,5
6	H11 (смт Софіївка)	264	136	24	24	80	81	69,8
7	H08 (м. Дніпро – с. Братське)	1570	1280	140	60	90	101	79,0
8	H08 (с. Братське)	1130	880	140	50	60	101	77,6
9	H08 (смт Солоне – Р73)	680	490	80	20	90	99	76,0
10	P73 (H08 – с. Сергіївка)	210	80	20	10	100	49	63,4
11	P73 (м. Нікополь – с. Сергіївка)	200	130	10	20	40	61	63,9
12	H31 (м. Дніпро – с. Лобойківка)	1020	600	90	80	250	90	76,8
13	H31 (с. Лобойківка – смт Петрівківка)	680	330	70	80	200	62	70,1
14	H31 (смт Царичанка)	470	300	20	20	130	73	70,1
15	H11 (смт Софіївка – м. Кривий Ріг)	390	240	10	60	80	86	71,9
16	P74 (м. Кривий Ріг – смт Широке)	430	310	60	20	40	75	68,8
17	M04 (E50) (м. П’ятихатки)	230	140	20	10	60	62	64,8
18	M18 (E105) (T0401 – траса M04 (E50))	270	110	40	20	100	80	70,0
19	M04 (E50) (траса M18 (E105) – траса M29)	920	600	90	40	190	87	75,6
20	M04 (E50) (м. Дніпро – траса M29)	2810	2300	240	160	110	95	80,3
21	M04 (E50) (траса M18 (E105) – м. Павлоград)	550	410	50	70	20	91	72,7
22	M04 (E50) (м. Павлоград)	568	418	78	54	18	82	70,8
23	M29 (E105) (траса на м. Харків)	1810	1320	200	110	180	90	78,1

Література

1. Sankov P. N., Hilov V. V., Gvazhaia B. D., Makarova V. N. Acoustic Safety of the Living Environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1079. P. 1–6. doi: 10.1088/1757-899X/1079/4/042067
2. Transport, environment and health. *WHO regional publications. European series*. 2000. Vol. 89. 81 p. URL: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0003/87573/E72015.pdf (дата звернення: 10.10.2021).
3. Полторацька В. М. Системний аналіз визначення ступеня забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин від автотранспорту та стаціонарних джерел коксохімічного виробництва ПАТ «Євраз ДМЗ ім. Петровського» на основі натурних спостережень та даних розрахунків на ЕОМ. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2014. Вип. 3. С. 27–37.
4. Далкман Х., Бранніган Ш. Транспорт і зміна клімату. Модуль 5е, Стійкий розвиток транспортної системи : збірник матеріалів для політиків міст. Німеччина. 2010. URL: https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/GIZ_SUTP_SB5e_Transport-and-Climate-Change_UA_0.pdf (дата звернення: 11.09.2021).
5. Экология города / под ред. Ф. В. Стольберга. Киев : Либра, 2000. 463 с.
6. Welch D., Shepherd D., Dirks K. N., McBride D., Marsh S. Road traffic noise and health-related quality of life: A cross-sectional study. *Noise & Health*. 2013. Vol. 15. P. 224–230.
7. Охрана труда в строительстве : учеб. / А. С. Беликов и др. Киев, 2014. 592 с.
8. Зельцер Э. Градостроительные аспекты защиты от шума / пер. с нем. Н. Г. Лебедевой. Москва, 1979. 72 с.
9. Самойлюк Е. П. Основы градостроительной акустики : учебник. Днепропетровск, 1999. 438 с.
10. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий / под ред. В. И. Заборова. Киев : Будивзельник, 1989. 160 с.
11. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сільбищних територій. [Чинний від 2014-01-01]. Київ, 2014. 46 с. (Інформація та документація).
12. ДБН В.1.1-31: 2013. Захист території, будинків і споруд від шуму. [Чинний від 2014-06-01]. Київ, 2014. 85 с. (Інформація та документація).

ОЦІНКА ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ОДЕСА)

Полетаєва Л.М., Сафранов Т.А., Житкевич Я.Я.

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна

l.poletayeva555@gmail.com, safranov@ukr.net, yaroslavayar1997@gmail.com

Основним джерелом шумового забруднення є автотранспорт, який генерує 60–80 % міського шуму. Метою дослідження є оцінка рівня шумового забруднення та методів захисту від його негативного впливу на прикладі окремих ділянок міста Одеса. Методологічну основу роботи складає критичний аналіз даних щодо шумового забруднення довкілля автотранспортом та обґрунтування методів захисту від автотранспортного шуму. Робота ґрунтується на опублікованих даних, а також на матеріалах власних досліджень. Виміри рівня шуму на окремих ділянках Одеси проводилися за допомогою портативного шумоміру Benetech GM1352. За даними спостережень Одеської міської санітарно-епідеміологічної станції у 2012 р. та у 2015 р. на перехрестях основних транспортних магістралей міста рівень шуму складав 85–92 дБ у денний час. За нашими вимірами у 2021–2022 рр. на всіх досліджених вулицях також перевищувався допустимий норматив рівня шуму (55 дБ) для денного часу. Крім того, були проведені вимірювання рівня шуму на чотирьох перехрестях Київського району Одеси у денний час у робочі дні тижня в жовтні 2021 р. та лютому 2022 р. Для різних перехресть зафіксовані наднормативні для денного часу рівні шуму 65–84 дБ у жовтні 2021 р., та 69–88 дБ у лютому 2022 р. Для порівняння проводилися розрахунки еквівалентного рівня звуку (L_A) за методикою В. І. Стурмана на відстані 7,5 м від осі магістралі, які також перевищують допустимий рівень на 30 дБ. Вимірний і розрахований рівень шуму на перехрестях Київського району Одеси восени і взимку перевищують встановлений нормативами допустимий рівень. За даними вимірювань взимку 2022 р. на досліджуваних перехрестях та вулицях у більшості випадків зафіксовано збільшення рівня шумового забруднення, що, можливо, зумовлено відсутністю вегетації зелених насаджень. Рівень шуму зумовлений структурою автотранспортного потоку, регульованістю перехрестя і в нашому випадку менше залежить від типу дорожнього покриття (асфальтобетон) та характеру забудови. Оскільки вивчені перехрестя та вулиці можна віднести до зони постійного акустичного дискомфорту, для мінімізації автотранспортного шуму на окремих ділянках Одеси доцільно впровадження комплексу шумозахисних заходів. *Ключові слова:* шум, шумове забруднення довкілля, автотранспорт.

Assessment of noise pollution of urbanized territories from motor vehicles (on the example of the city of Odessa). Poletayeva L., Safranov T., Zhytkevych Ya.

The main source of noise pollution are vehicles, which generate 60–80 % of urban noise. The aim of the study is to assess the level of a noise pollution and methods of protection against its negative impact on the example of certain parts of the city of Odessa. The methodological basis of the work is a critical analysis of data on the noise pollution by vehicles and substantiation of methods of protection against the traffic noise. The work is based on the published data, as well as on the materials of an own research. The noise level measurements in some parts of Odessa were performed using a portable noise meter Benetech GM1352. According to the observations of the Odessa City Sanitary and Epidemiological Station in 2012 and 2015 at the intersections of the main transport arteries of the city, the noise level was 85–92 dB during the daytime. According to our measurements in 2021–2022, the permissible noise level (55 dB) for daytime was also exceeded on all surveyed streets. In addition, the noise level measurements were carried out at four intersections of a Kyiv district of Odessa during the daytime on weekdays in October 2021 and February 2022. For different intersections, daytime noise levels of 65–84 dB were recorded in October 2021 and 69–88 dB in February 2022. To compare, calculations of the equivalent noise levels (L_A) were conducted using the V. Sturman's methodology at a distance of 7.5 m from the axis of the highway, which also exceeded the permissible level by 30 dB. The measured and calculated noise levels at the intersections of the Kyiv district of Odessa in autumn and winter exceeded the permissible level established by the standards. According to measurements in the winter of 2022, at the intersections and streets under study, in most cases, an increase in the level of noise pollution was recorded, which may be due to the lack of the seasonal vegetation. The noise level is determined by the structure of the traffic, the regulation of the intersection and in our case less depends on the type of the road surface (asphalt concrete) and the nature of the buildings type. Since the studied intersections and the streets may be attributed to the zone of constant acoustic discomfort, to minimize traffic noise in some parts of Odessa, it is advisable to implement a set of noise protection measures. *Key words:* noise, noise pollution, motor vehicle.

Постановка проблеми. Під шумом розуміють усі неприємні та небажані звуки, які заважають нормально працювати та відпочивати. Звичайно рівень шуму вимірюється в децибелах (дБ), або в акустичних децибелах (дБА), тобто з урахуванням сприйняття звука людиною. Шумове забруднення довкілля (ШЗД) є фактором негативного впливу на

здоров'я і благополуччя людей, і це викликає занепокоєння. ШЗД впливає на слух, вегетативну нервову систему, психіку, розмовне спілкування, сон та працездатність, сприяти захворюванням, у яких стрес відіграє важливу роль, наприклад, захворювання кровотворної системи, які потім можуть проявлятися у формі гіпертонії, інфаркту міокарда, стенокардії

або навіть апоплексії. Метою дослідження є оцінка рівня шумового забруднення та методів захисту від його негативного впливу на прикладі окремих ділянок міста Одеса.

Актуальність дослідження. Одним з основних джерел шумового забруднення (ШЗ) на урбанізованих територіях України є автотранспорт. Завдяки безперервному зростанню автотранспортних засобів (АТЗ) неухильно зростає рівень ШЗ багатьох міст України, як за його тривалістю, так і за площею впливу.

Державні будівельні норми [1] при визначенні допустимого рівня шуму на території житлової забудови враховують специфіку приміщень і час доби, коли проявляється вплив звуків. Наприклад, для житлових будинків середній допустимий рівень інтенсивності звуків ($L_{\text{Аекв}}$) в денний час складає 55 дБ, у нічний – 45 дБ, максимальний ($L_{\text{макс}}$) – відповідно 70 і 60 дБ. Для територій, прилеглих до санаторіїв і лікарень – на 10 дБ нижче, а для готелів на 5 дБ вище.

На територіях захищених об'єктів, до яких відносяться прибудинкові території, Державними санітарними нормами [2] встановлені такі нормативи: вдень з 8 ранку до 22.00 допустимий рівень шуму не повинен перевищувати 55 дБА; вночі з 22.00 до 8.00 – 45 дБА. При середньорічному рівні шуму 40 дБ та вище можливі порушення сну, а при понад 55 дБ – підвищення артеріального тиску, пригнічення центральної нервової системи, зміна швидкості дихання і пульсу, порушення обміну речовин, виникнення захворювань кровотворної системи, язви шлунку, психічні розлади [3; 4]. Тому картографування шуму міської забудови на основі вимірів рівня шуму є дуже важливою задачею міст для забезпечення комфортного проживання населення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика дослідження відповідає основним напрямкам наукової діяльності кафедри екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного університету.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Європейське регіональне бюро Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) розробило «Керівництво з питань шуму у навколишньому середовищі для Європейського регіону» [5], виходячи зі зростаючого розуміння наслідків для здоров'я населення, що настають внаслідок схильності до ШЗД. Основне призначення цього керівництва полягає в тому, щоб дати рекомендації щодо захисту здоров'я людей від впливу ШЗД з різних джерел: засобами автомобільного, залізничного та повітряного транспорту; вітроенергетичними турбінами; розважальними заходами тощо. Показниками рівнів шуму пропонуються: еквівалентний рівень середньозваженого добового шуму ($L_{\text{ден}}$) та еквівалентний рівень нічного шуму ($L_{\text{ніч}}$). Ці показники виводяться зі складових їх елементів – еквівалентних рівнів денного, вечірнього та нічного шуму ($L_{\text{день}}$, $L_{\text{вечір}}$, $L_{\text{ніч}}$ та тривалості у годинах ніч-

ного шуму $L_{\text{ніч}}$) та використовуються для оцінки впливу зовнішнього шуму біля фасаду, найбільш схильного до шуму. Зазвичай, відомості про показники добового та нічного шуму ($L_{\text{ден}}$ та $L_{\text{ніч}}$) дають державні органи та їх широко використовують для оцінки схильності до впливу при дослідженні наслідків для здоров'я. Запропоновані такі рекомендації щодо зменшення шуму від АТЗ: 1) щодо середнього рівня впливу шуму – знижувати шум, що виробляється АТЗ, до еквівалентного рівня добового шуму $L_{\text{ден}}$ нижче 53 дБ, оскільки шум вище за цей рівень асоціює з негативними наслідками здоров'ю; 2) щодо впливу нічного шуму – знижувати шум, вироблений АТЗ у нічний час $L_{\text{ніч}}$ до рівня нижче 45 дБ, оскільки вище за цей рівень асоціює із негативним впливом на сон; 3) для зменшення наслідків для здоров'я – знижувати рівні шуму як у джерела, так і на шляху розповсюдження шуму між джерелом та населенням, за рахунок внесення змін до інфраструктури [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Міжнародні стандарти ISO 1996-1:2016 та ISO 1996-2:2017 використовуються як орієнтир для картографування шуму у Директиві ЄС [6], та містять рекомендації щодо проведення натурних вимірювань рівнів шумового забруднення, що проводяться відповідно ISO 1996-1:2016. В українському законодавстві відсутні будь-які норми, рекомендації, щодо проведення візуалізації та картографування рівнів шумового забруднення, тому необхідна реалізація положень, що зазначені в Директиві 2002/49/ЄС, з метою створення шумових карт великих міст, які дозволили б розробляти та впроваджувати заходи щодо зменшення шумового пресингу [7].

Директивою ЄС 2002/49 [6] встановлена необхідність: картографування шуму міської забудови для країн-членів ЄС; спрямування дій на попередження та захист від шуму в країнах спільноти; оприлюднення інформації щодо рівнів шуму та надання вільного доступу громадськості. Проведення спостережень за рівнями шуму на територіях населених пунктів має включати такі обов'язкові спостереження: еквівалентні рівні шуму вдень і ввечері протягом 15–30 хвилин, та вночі вздовж 15 хвилин; максимальні рівні шуму на кожний час доби. Допустимі рівні шуму на різних територіях населених пунктах та в приміщеннях різного значення, може встановлюватися країною-учасником ЄС окремо та затверджуватися на законодавчому рівні. На жаль, Директива ЄС 2002/49 не пройшла в Україні процес імплементації.

Європейська комісія надала оцінку економічної ефективності способів зниження шумового забруднення за 5-тибальною шкалою [8]: електромобілі – зниження шуму на 1 дБ, економічна ефективність 1 бал; ізоляція будівель – зниження на

5–10 дБ, ефективність 1 бал; штучні шумозахисні бар'єри – зниження на 2–20 дБ, ефективність 2 бали; управління дорожнім рухом – зниження на 1–4 дБ, ефективність 3 бали; малощумні шини – зниження на 3–4 дБ, ефективність 3 бали; архітектурно-будівельні заходи – зниження на 2–15 дБ, ефективність 3 бали; зміна стилю управління автомобілем («екологічне водіння») – зниження на 5–7 дБ, ефективність 3 бали; раціональне землекористування – ефективність 4 бали; малощумні покриття доріг – зниження на 3–7 дБ, ефективність 5 балів.

На урбанізованих територіях України 80 % шуму створюється рухом транспортних засобів, насамперед АТЗ. При рівні шуму 65–90 дБА можливий його фізіологічний вплив: пульс пришвидшується, тиск крові зростає, судини звужуються, що погіршує постачання органів кров'ю. Дія шуму з рівнем 90 дБА і вище може призвести до функціональних порушень в органах та системах організму людини: знижується слухова чутливість, погіршується діяльність шлунку та кишечника, з'являється відчуття нудоти, головний біль, шум у вухах. При рівні шуму 120 дБА можливий розрив барабанної перетинки [9].

Запропоновані моделі надмірного впливу ШЗД на людину, що дозволяють передчасно виявляти небезпеку для запобігання здоров'я міського населення, зниження його рівня якості життя та благополуччя, а також розробляти заходи щодо зниження акустичного навантаження на конкретних ділянках урбанізованих територій [10; 11; 12]. Вказані дослідження стосувалися рівня шуму денного дорожнього руху та поширення інфаркту міокарда як наслідку впливу ШЗ.

Новизна. На основі натурних вимірювань проведена оцінка рівня шуму на окремих вулицях Одеси у жовтні 2021 р. та у лютому 2022 р. Також вперше проведено порівняння вимірних і розрахованих за методом В. І. Стурмана рівнів шуму на чотирьох перехрестях Київського району Одеси восени 2021 р. і взимку 2022 р. Визначено, що рівні шуму головним чином зумовлені інтенсивністю та структурою автотранспортного потоку, регульованістю перехресть, шириною розділової смуги між проїзними частинами.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічну основу роботи складає критичний аналіз даних щодо шумового забруднення довкілля автотранспортом та обґрунтування методів захисту від автотранспортного шуму. Робота ґрунтується на опублікованих даних, а також на матеріалах власних досліджень. Виміри рівня шуму на окремих ділянках Одеси проводилися за допомогою портативного шумоміру *Benetech* GM1352. Зазвичай картографування шумового забруднення проводиться за допомогою результатів вимірів на місцевості або ж беруться за основу розрахункові дані. Також може бути використане поєднання цих двох методів. У випадку проведення вимірів, беруть результати

вимірювання рівню шуму шумомірами першого або другого класів.

Викладення основного матеріалу. Натурні дослідження є єдиним способом отримання достовірної інформації щодо рівнів ШЗД. Для характеристики рівня шуму використовується величина еквівалентного рівня звуку ($L_{екв}$) за допомогою шумомірів 1–2 класів. Виміри, які наведені у даній роботі проводилися за допомогою портативного шумоміру *Benetech* GM1352, який призначений для вимірювання рівня шуму в діапазоні від 30 до 130 дБ на виробництві, у навчальних закладах, у транспорті, медичних закладах та ін. Відповідність стандартам: IEC PUB 651 тип 2, та ANSI S1.4 тип 2 для шумомірів.

Величина розрахункового еквівалентного рівня звуку (L_A) в децибелах за кількістю транспортних одиниць в годину, визначалася для умовних точок, розташованих на відстані 7,5 м від осі руху, на висоті 1,2 м, за формулою :

$$L_A = L_{A1} + \Delta L_{хар.потоку} + \Delta L_{дорож.умов} + \Delta L_{хар.забуд},$$

де L_{A1} – вихідна величина розрахункового еквівалентного рівня звуку (дБ), яка залежить тільки від кількості руху транспортних одиниць; $\Delta L_{хар.потоку}$ – поправка, яка відображає особливості характеру потоку транспорту; $\Delta L_{дорож.умов}$ – поправка, яка враховує дорожні умови; $\Delta L_{хар.забуд}$ – поправка, яка враховує характер забудови. Значення вихідної величини розрахункового еквівалентного рівня звуку і поправок до нього наводяться у літературних джерелах [13; 14].

Місто Одеса є потужним транспортним вузлом, пунктом перетину автомобільних, залізничних, водних і повітряних шляхів, що зумовлює негативний вплив ШЗД на міське населення. Автотранспорт генерує 60–80 % міського шуму. У зв'язку з особливостями геологічної будови в Одесі немає альтернативи наземному транспорту, кількість якого постійно зростає. Тому головна задача оптимального планування організації руху автотранспорту – мінімізувати збиток довкіллю міста при зростанні автопарку. На автомагістралях рівень шуму складає 85–92 дБ [15].

ШЗ урбанізованої території можна простежити по вихідних матеріалах до проектної документації ТОВ «Цивільпроект» та Одеської міської санітарно-епідеміологічної станції (СЕС). Визначено, що основними джерелами шуму в Одесі є магістральна вулична мережа, залізниця та «Міжнародний аеропорт Одеса». Вимірювання рівнів шумового забруднення фахівцями СЕС у 2012 р. проводилось у 26 контрольних точках, при цьому в 41,3 % випадках спостерігалось перевищення нормативних значень. Встановлено, що рівень акустичного забруднення відчувається на відстані в межах 22–82 м і 100–127 м на об'їзній дорозі від лінії руху. Міська СЕС, що контролює рівень акустичного режиму вулично-дорожньої мережі, фіксує постійне перевищення допустимих шумових характеристик. Рівні шуму на окремих

вулицях Одеси (за даними епізодичних вимірювань у 2015 р.) в усіх 10 точках спостережень перевищували нормативне значення 55 дБ.

За даними санітарно-гігієнічних досліджень Одеського обласного лабораторного центру МОЗ України, найвище шумове забруднення, яке перевищує гранично-допустимий рівень, було зареєстровано на 1 ст. Люстдорфської дороги, проспекті Шевченка, площі Бориса Дерев'янка, а також вулицях Середньофонтанській та Богдана Хмельницького.

Задачами нашого дослідження є вимірювання рівнів шуму та проведення розрахунків еквівалентного рівня звуку для окремих ділянок Одеси, де основним джерелом ШЗД є автотранспорт, а також обґрунтування методів шумозахисту.

Для того, щоб знайти дійсні показники шуму, за допомогою шумоміру були проведені вимірювання на чотирьох перехрестях: 1) вулиць Львівська та Люстдорфська дорога (нерегульоване перехрестя А); 2) вулиці Академіка Корольова та проспекті Академіка Глушка (регульоване перехрестя Б, є світлофор); 3) вулиць Львівська та Дачна (регульоване перехрестя В, є світлофор); 4) перехрестя вулиці Гаршина та Фонтанської дороги (нерегульоване перехрестя Г).

За даними вимірювання восени (05–06.10.2021 р. з 9:00 до 11:00 год у робочі дні тижня) було отримано такі результати: перехрестя А – 65–80 дБ; перехрестя Б – 70–84 дБ. Інтенсивність автотранспортного потоку складала: перехрестя А – 4400 авт./год; перехрестя Б – 5300 авт./год. При цьому приблизна швидкість АТЗ складала 47 км/год, а відстань до найближчих будівель сягала 75 м (перехрестя А) та 125 м (перехрестя Б).

Для порівняння проводилися розрахунки еквівалентного рівня звуку (L_A) для перехресть А та Б за методикою В.І. Стурмана [13]: для перехрестя А – 86 дБ та перехрестя Б – 90 дБ з урахуванням поправок.

За даними вимірювання у взимку 21–22.02.2022 р. (з 9:00 до 11:00 год) було отримано такі результати: перехрестя А – 69–88 дБ; перехрестя Б – 74–86 дБ, тобто декілька вище порівняно з результатами замірів восени 2021 р. При цьому приблизна швидкість АТЗ складала 47 км/год, а інтенсивність руху – 4250 АТЗ/год (перехрестя А) та – 5500 АТЗ/год (перехрестя Б).

З табл. 1 видно, що рівень шуму в м. Одеса за нашими вимірами восени 2021 р. (06–08.10.2021 р.) на всіх досліджених вулицях перевищує допустимі рівні (55 дБ) для денного часу. За даними досліджень взимку 2022 р. (21–22.02.2022 р.) на цих вулицях у більшості випадків зафіксовано збільшення рівня шумового забруднення. Рівень шуму зумовлений багатьма факторами, але у даному випадку, можливо, це пояснюється тим, що спостереження восени 2021 р. проводилися у вегетативний період, а взимку 2022 р. – поза періодом вегетації зелених насаджень.

Таблиця 1

**Вимір шуму на окремих ділянках міста Одеса
(жовтень 2021р./лютий 2022р., денний час)**

Вулиця	Рівень шуму, дБ		Допустимі рівні шуму в денний час, дБ	
	<i>min</i>	<i>max</i>	$LA_{екв}$	LA_{max}
Макаренко	64/66	76/79	55	70
Дачна	73/74	81/83	55	70
Фонтанська дорога	71/73	80/88	55	70
Довга	66/68	81/87	55	70
Люстдорфська дорога	78/77	86/88	55	70
Академіка Глушка	73/74	84/86	55	70
Академіка Корольова	75/75	89/88	55	70
Левітана	64/68	75/77	55	70
Героїв Крут	71/73	78/78	55	70
Варненська	70/70	76/78	55	70
Космонавтів	74/76	81/84	55	70
Генерала Петрова	76/78	88/88	55	70
Івана та Юрія Лип	76/77	85/87	55	70
Преображенська	78/80	85/88	55	70
Жуковська	74/76	83/85	55	70
Катерининська	79/79	82/84	55	70
Рішельєвська	77/78	82/85	55	70
Буніна	72/74	80/83	55	70
Грецька	75/76	79 (83)	55	70

Взимку, 21 та 22 лютого 2022 р., проведені більш детальні спостереження на чотирьох перехрестях Київського району Одеси. Визначено інтенсивність автотранспортного потоку, його склад та швидкість руху. Для отримання поправок на характер структури потоку транспорту [13] для всіх досліджуваних перехресть прийняти кількість вантажного і громадського транспорту з карбюраторними двигунами (40 %) та кількість вантажного і громадського транспорту з дизельними двигунами (60 %). При швидкості 47–52 км/год, поправка на швидкість потоків транспорту (менше 50 % вантажних автомобілів) [13] для всіх перехресть буде становити 0 дБ.

$\Delta L_{дор.умов}$ – поправка, що враховує дорожні умови, в тому числі тип перехрестя (регульований або нерегульований), позовжний ухил вулиці (0 %), розділову смугу між проїзними частинами (менш 3 м, на перехресті В більше 3 м). Поправка на тип дорожнього покриття (асфальтобетон) проїжджої частини та дорожні умови при середній швидкості 50 км/год для всіх досліджуваних перехресть дорівнюють 0 дБ.

$\Delta L_{хар.збуд}$ – поправка, що враховує характер забудови: двостороння або одностороння, за різної ширини вулиці між лініями забудови з урахуванням зміни відстані між будинками. У нашому випадку $\Delta L_{хар.збуд}$ дорівнює 0 для всіх перехресть [13].

Таблиця 2

Порівняння рівнів шуму за виміром та за розрахунками на досліджуваних перехрестях міста Одеса (лютий 2022 р., денний час)

	Рівень шуму, дБ	Інтенсивність руху, АТЗ/год	L_{A1} , дБ	Поправки, дБ			L_A , дБ, відстань 7,5 м	Відстань до будинків, м	$L_{Aтер}$, дБ, біля будинків
				$\Delta L_{хар. потоку}$	$\Delta L_{дор. умов}$	$\Delta L_{хар. забуд}$			
А	69–88	4250	79	5	2	0	86	75	73
Б	74–86	5500	80	5	5	0	90	125	70
В	70–83	3400	78	3	5	0	86	50	75
Г	73–88	4400	79	4	2	0	85	55	75

Рівні звуку на прилеглих до автомагістралей територіях ($L_{Aтер}$), за межами 7,5-метрової зони від осі магістралі, тобто біля будинків, залежать від зниження рівнів звуку в атмосфері за рахунок поглинання та розсіювання звуку в повітрі внаслідок інерції мас молекул води у повітрі, дії метеорологічних факторів реального середовища а також за рахунок взаємодії звукової хвилі з поверхневим покривом ґрунту. Наближені значення шумового забруднення $L_{Aтер}$ в залежності від початкового розрахованого рівня шуму (L_A) та відстані забудови на розглянутих перехрестях представлені у табл. 2.

Таким чином, порівняння рівнів шуму за виміром та за розрахунками у денний час в жовтні та лютому 2022 р. наочно показує, що досліджувані перехрестя окремих ділянок міста Одеса відносяться до зони постійного акустичного дискомфорту.

Фізіолого-біологічна адаптація людини до шуму практично неможлива, тому регулювання й обмеження шумового забруднення є дуже важливими і обов'язковими заходами. Внаслідок низької пропускної здатності вулично-дорожньої мережі Одеси, особливо її центральної частини, створюється скупчення АТЗ, що зумовлює надмірний рівень ШЗД, що негативно впливає на самопочуття і стан здоров'я міського населення. Зниженню рівня ШЗД Одеси має сприяти створення мал шумних засобів АТЗ, таких як електромобілі, автомобілі з гібридними і водневими двигунами, високоефективними глушниками та доопалювачами відпрацьованих газів тощо. Однак це не може бути створено в короткий термін, а тому для мінімізації ШЗД Одеси слід використовувати насамперед заходи зниження шумового забруднення міст.

Для мінімізації ШЗ довкілля Одеси слід використовувати насамперед заходи: побудова шумової карти; оптимізація автотранспортних потоків, насамперед вантажних та транзитних АТЗ; вдосконалення дорожніх конструкцій та підтримка їх в належному технічному стані; збільшення частки тролейбусів, які створюють низький рівень шуму, у структурі міського транспорту; обмеження швидкості руху

АТЗ на міських вулицях міста і дорогах; логістичне обґрунтування організації автотранспортного руху; посилювання контролю за технічним станом АТЗ, особливо за тими, термін експлуатації яких понад десяти років; створення додаткових смуг зелених насаджень; встановлення шумозахисних екранів, ефективних конструкцій тощо. Впровадження цих заходів сприятиме зменшенню ШЗД сельбищних територій Одеси.

Головні висновки. В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки: вимірний і розрахований рівень шуму на чотирьох перехрестях Київського району Одеси восени і взимку перевищують встановлений нормативами допустимий рівень; рівень шуму на окремих вулицях Одеси за даними спостережень у жовтні 2021 р. та у лютому 2022 р. перевищує допустимі рівні шуму (55 дБ) для денного часу; за даними досліджень взимку 2022 р. на досліджуваних перехрестях та вулицях у більшості випадків зафіксовано збільшення рівня шумового забруднення, що, можливо, зумовлено тим, що спостереження восени 2021 р. проводилися у вегетативний період, а взимку – поза періодом вегетації зелених насаджень; рівень шуму головним чином зумовлений інтенсивністю та структурою автотранспортного потоку, регульованості перехресть, ширини розділової смуги між проїзними частинами і не залежить від типу дорожнього покриття (асфальтобетон) та характеру забудови при ширині вулиці між лініями забудови більше 50 м; оскільки вивчені перехрестя та вулиці можна віднести до зони постійного акустичного дискомфорту, для мінімізації автотранспортного шуму на окремих ділянках Одеси доцільно впровадження комплексу шумозахисних заходів.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати будуть використані під час подальшого виконання науково-дослідної роботи кафедри екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного університету та призведуть до побудови карти шумового забруднення деяких районів міста Одеса.

Література

1. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій будинків і споруд від шуму. Київ. 2014. 54 с.
2. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови : Наказ МОЗ від 22.02.2019 № 463 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text> (дата звернення: 15.02.2022).
3. Health implication of road, railway and aircraft noise in the European Union (2014). National Institute for Public Health and the Environment. 59 p.
4. Stansfeld S. A., Shipley M. (2015). Noise sensitivity and future risk of illness and mortality // Science of the Total Environment. Vol. 520. P. 114–119. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.053
5. Environmental noise guidelines for the European region. World Health organization (2018). 181 p. URL: <http://www.euro.who.int/ru/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018> (дата звернення: 21.02.2022).
6. Директива 2002/49/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 25 червня 2002 року стосовно оцінки та управління процесами, пов'язаними з шумом OBL 189, 18.07.2002. С. 12.
7. Решетченко А. І., Борсук А. І., Вергелес Ю. І. Аналіз існуючих нормативів країн ЄС порівняно із вимогами українського законодавства в сфері шумового навантаження в урбоексистемі. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. № 2 (20). С. 16–23.
8. Science for Environment Policy. Noise abatement approaches. from http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/noise_abatement_approaches_FB17_en.pdf
9. Дяченко Т. О., Євчук В. М. Аналіз впливу транспортного шуму на навколишнє середовище та людину. *Економіка та управління на транспорті*. 2018. Вип. 6. С. 125–131.
10. Babisch W., Ising H., Gallacher J. E., Sweetnam P. M., Elwood P. C. (1999). Traffic noise and cardiovascular risk: The Caerphilly and Speedwell studies, third phase – 10 years follow-up. *Arch Environ Health*. # 54. P. 210–216.
11. Babisch W., Ising H., Gallacher J. E. (2003). Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischemic heart disease. *Occupational and Environmental Medicine*. # 60. P. 739–45.
12. Babisch W., Beule B., Schust M., Kersten N., Ising H. (2005). Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology*. # 16. P. 33–40.
13. Стурман В. И. Экологическое картографирование : учебное пособие. М. : Аспект-Пресс, 2003. 251 с.
14. Методические рекомендации по расчету уровней шума транспортных потоков в условиях городской среды. Киев, 1981. 25 с.
15. Про затвердження Концепції охорони атмосферного повітря у місті Одесі на період до 2010 року. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/OD060642> (дата звернення: 15.02.2022).

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Семерня О.М.¹, Любинський О.І.¹, Федорчук І.В.¹, Рудницька Ж.О.², Семерня А.О.³

¹Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
вул. Огієнка, 61, 32302, м. Кам'янець-Подільський

²Національний Авіаційний Університет
пр. Гузара Любомира, 1, 03058, м. Київ

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ

semerniaoksana@gmail.com, lubin.alex@gmail.com,

fedorchuk.ivan@kpmu.edu.ua, zhanna.rudnytska@npp.nau.edu.ua, semernia.a25@gmail.com

Проаналізовано і систематизовано статистичні дані опитування респондентів щодо екологічної безпеки в Україні в умовах воєнного стану. Описано нові підходи екологічної безпеки України в час після війни. Актуальні питання сьогодення стану довкілля – у суцільному зруйнуванні архітектури в державі. Основна мета статті висвітлити можливості євроінтеграції України через нові сучасні підходи, зокрема екологічну безпеку. Нові підходи євроінтеграції України у воєнний час вбачаються у відстоюванні перед агресором європейських цінностей прав і свобод громадян. Такі незламні та патріотичні відстоювання прав і свобод демократичності країн Європи, забезпечують екологічну безпеку і національну безпеку, зокрема. Публікація актуалізує питання просвітництва щодо екологічної безпеки і небезпеки в Україні з різних точок зору, на різних контентах, людей з інших держав, української національності. Ми проаналізували опитування пересічних людей щодо екологічної безпеки в Україні та отримали різні судження і думки, остаточна мета яких, відстоювати права і свободи нації, відбудовувати зруйновану архітектуру, враховуючи нові європейські стандарти для стабілізації довкілля. Робота містить огляд основних думок респондентів з таких областей України як: Вінницька, Волинська, Закарпатська, Запорізька, Івано-Франківська, Київська, Кіровоградська, Миколаївська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Херсонська, Хмельницька, з країн: Польща, Болгарія, США. Основна увага в статті приділяється участі громадськості в опитуванні щодо екологічної безпеки та небезпеки в Україні під час воєнного стану. Це є гостро актуальна проблема сьогодення не тільки для нашої держави, а й для всього цивілізованого світу. Ядерна, хімічна, біологічна, бактеріологічна небезпеки можуть катастрофічно вплинути на цивілізацію людства, і цьому треба протистояти, насамперед, активним просвітництвом і пропагандою у цілому світі про ці небезпеки. Екологічна безпека стану довкілля України – новий напрям упровадження європейських принципів у реальне довкілля держави через ядерну, хімічну, біологічну, бактеріологічну безпеки та національну інтерпретацію таких безпек. Підсумовуючи цей матеріал зазначено, що теоретичне і практичне значення реалізується в дослідженні та опублікуванні кваліфікаційних робіт студентів галузі 101 Екологія Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, наукових робіт Національного авіаційного університету та Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Екологічна безпека в Україні за умов воєнного стану реалізується через активне просвітництво даної ситуації, а також через розвиток нових галузей екологічного майбутнього держави які є євроінтегровані. Екологічну безпеку України після війни розглянемо в практичній та емпіричній діяльності підготовки бакалаврів і магістрів з 101 Екологія. *Ключові слова:* євроінтеграція, екологія, воєнний стан, екологічна безпека.

Ecology Security in state of war. Semernia O., Liubynskyi O., Fedorchuk I., Rudnytska Zh., Semernia A.

This article describes a statistical data of the survey on environmental security in Ukraine under martial law. Respondents from many regions of Ukraine took part in the survey. These are such regions as Vinnytsia, Volyn, Zakarpattia, Zaporizhia, Ivano-Frankivsk, Kyiv, Kirovohrad, Mykolaiv, Poltava, Rivne, Sumy, Ternopil, Kherson, Khmelnytsky. Among other countries, we surveyed respondents from Poland, Bulgaria and the United States about environmental safety in Ukraine. These were topical issues of environmental catastrophe under martial law. The main idea of the article was to enlighten readers with different points of view on the issue of environmental danger and safety in Ukraine. A new problem has been posed. We called its ecological security in Ukraine under martial law. This article shows the statistical data of the survey of respondents to express their own point of view on current events. Today's events are covered inside and outside the country among Ukrainians who have lived outside our country for a long time. This article reveals a new direction of ecology is the ecological security of Ukraine under martial law. This is a new approach to the study of the general ecology of Ukraine. The best way to study and training the ecology of Ukraine is to conduct surveys of respondents for feedback from the authorities and the population as of now. The important task of this scientific abstract is to demonstrate the diversity of opinions of respondents from Ukraine and abroad on environmental security and danger in martial law. We enlighten readers in the dangers of nuclear, chemical, biological nature and set the psychological setting for the implementation of algorithmic actions to reduce the consequences of this type of danger in martial law. Special attention of the scientific text paid to the statistical data of the respondents' survey. We saw a new approach to Ukraine's European integration through a combination of different methods of studying the state of the environment. These are methods such as observation, survey, observation, measurement, evaluation, analysis, generalization, comparison, modelling, forecasting, psychological establishment, suggestion, involvement in activities and some other methods. As a result, we received statistical material to analyse the situation in Ukraine. We see further research on this issue in modelling and forecasting the state of the environment in the new Ukraine after the war and the restoration of destruction, in updating the environmental legislation, including environmental impact assessment. *Key words:* European Integration, Ecology, State of War, Ecology Security.

Постановка проблеми. В Україні екологічна безпека в умовах воєнного стану носить глобальну проблему цивілізації, загалом, через можливість гуманітарної катастрофи внаслідок бойових дій і незабраних тіл окупантів із нашої території. Окрім цього існує загроза хімічної, біологічної, ядерної катастроф, унаслідок використання зброї масового знищення для мирного населення України. Це принесе загрозу всьому людству, а не тільки нашій державі. Саме в цьому стоїть постановка проблеми: зупинити екологічну небезпеку в умовах бойових дій.

Актуальність дослідження. Нині наша країна перебуває у стані війни, це доволі скрутне становище для усіх звичних для нас речей, у тому числі екологічної безпеки.

Ми усі зараз активно слідкуємо за неприємними новинами, і розуміємо, що війна має величезні наслідки для нашої країни. У перші дні повномасштабного наступу російські бойовики змогли захопити Чорнобильську АЕС (ЧАЕС). Але до того, як ЧАЕС перейшла під контроль агресора, за неї велися бої, російські солдати нещадно стріляли на території небезпечної зони, і могли з легкістю пошкодити реактори, що призвело би до глобальної катастрофи.

Окрім ЧАЕС, у ніч на 4 березня ядерну безпеку на Запорізькій АЕС було порушено, реактори опинилися в небезпеці через обстріл російських військових і пожежу. Спочатку пожежників, навіть, не допускали для ліквідації пожежі, проте, згодом, вони, все ж таки, це зробили та пожежу було ліквідовано. Російські військові погрожували підірвати блоки АЕС, і це могло би мати величезні наслідки для багатьох країн, у тому числі і для країни-агресора.

Російська Федерація не бажає замислитись над тим, яку екологічну катастрофу вони можуть спричинити своїми божевільними діями. Поки на нашій території ведуться воєнні дії, ми знаходимось у потенційній екологічній небезпеці, адже ворог не хestує божевільними діями.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження пов'язане з тематикою дослідження кафедри екології Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка під назвою «Еколого-генетичний, біологічний, хімічний, фізико-географічний моніторинг біорізноманіття Поділля і Буковини (0116U006382)», науковий керівник Любинський О. І.

Колектив кафедри екології та решту співавторів приймали активну участь у Міжнародному проєкті ЄС Erasmus+ Жана Моне "The Best European Practices for the "Water Security" Platform to Achieve the Goals of Sustainable Development", лютий-квітень 2021 року, у якості стажування [8; 9]. У результаті закінчення стажування була опублікована колективна англomовна монографія Water Security : Monograph / editors: prof. Olena Mitryasova & prof. Chad Staddon.

Mykolaiv : PMBSNU ; Bristol : UWE, 2021. Issue 2. Улітку 2021 року члени кафедри екології та решту співавторів приймали участь у Міжнародних школах від цього проєкту. Спершу, літня школа «Стратегія циклічної та зеленої економіки Європейського союзу: виклики для України» в рамках двох проєктів програми ЄС ERA3МУС+: Центр Європейського Союзу Жана Моне з Циклічної та Зеленої Економіки JM ECO (620627-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-CoE) та Жан Моне Підтримка Асоціацій EUforUA (611278-EPP-1-2019- 1-UA-EPPJMO-SUPPA), яка відбулась 10 червня 2021 р. у місті Києві [8; 13]. Наступною літньою школою стала школа Жана Моне в рамках одного проєкту програми ЄС ERA3МУС+: Центр Європейського Союзу, яка відбулась 17–18 червня 2021 року в м. Миколаєві [8; 9; 13].

Також опубліковані матеріали конференцій, тези доповідей, статті, науково-популярні публікації в рамках Міжнародного проєкту ЄС Erasmus+ Жана Моне [12–15].

Колектив кафедри екології та решту співавторів приймали активну участь в ряді науково-практичних конференцій різного рівня значення за підтримки міжнародного проєкту ЄС ERAMUS+ [8; 9; 12–15].

На базі кафедри екології Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка систематично проводяться наукові семінари. Це, на кшталт, науковий семінар на тему «Актуальні проблеми екологічної безпеки в Україні», викладач Семерня О. М.

Отже, проблема екологічної безпеки України гостро досліджується та вивчається членами кафедри й співавторами статті. Про це свідчать систематичні та періодичні участі в міжнародних проєктах ЄС Еразмус+ за цим напрямком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджуючи проблему екологічної безпеки в умовах воєнного стану виявили недостатнє вирішення питання екологічної катастрофи загалом.

Дослідженням екологічної безпеки займалися і займаються автори наукових робіт і вчені-дослідники як-от: [1–3; 5–7; 11] та інші.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дана стаття присвячується висвітленню проблеми екологічної безпеки та безпеки в умовах воєнного стану в Україні на основі опитування пересічних громадян України, Болгарії, Польщі, США. В Україні, для опитування, ми задіяли фактично всі області країни: Вінницька, Волинська, Закарпатська, Запорізька, Івано-Франківська, Київська, Кіровоградська, Миколаївська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Херсонська, Хмельницька. У країні Болгарія, для опитування, місто Софія, у країні Польща – м. Краків, у США – м. Вірджинія.

Новизна. Уперше описана проблема екологічної безпеки в Україні в умовах воєнного стану.

Уперше запропоновані способи її реалізації. Удосконалено напрямок про екологічну безпеку в Україні. Дістало подальшого вивчення питання екологічної безпеки в межах держави та за її межами в акцентах на ядерну, хімічну, біологічну, бактеріологічну безпеки.

Методологічне або загальнонаукове значення. Значення даного дослідження реалізується у викладанні нормативних курсів «Екологічна безпека» та «Техноекологія» у Кам'янець-Подільському національному університеті імені Івана Огієнка. Методологічне значення статті полягає в звертанні уваги на міжпредметні зв'язки під час викладання даних навчальних дисциплін. Загальнонаукове значення статті реалізується у висвітленні нових сучасних знань для управління пізнавальною діяльністю студентів із окремих навчальних дисциплін нормативного характеру бакалавріату 101 Екології.

Викладення основного матеріалу. Ми провели опитування про екологічну безпеку та небезпеку в умовах воєнного стану для пересічного населення [16]. Опитаних було 129 осіб з різних країн світу, зокрема США, Болгарія, Польща. Ми поставили ряд звичних і дуже простих питань, враховуючи психологічний стан населення України та інших країн світу. Питання були такі:

1. Екологічна безпека в Україні на часі?
2. Чи відчуваєте Ви, особисто, екологічну небезпеку в своєму регіоні тепер?
3. Національна безпека та екологічна безпека взаємопов'язані?
4. Екологічна небезпека спостерігається на активних бойових діях, а в тилу – екологічна стабільність?
5. У світі екологічна безпека є стабільною на зараз?
6. Фактор екологічності в Україні не на часі.

7. Ваша думка про екологічну безпеку в умовах воєнного стану в Україні.

На перше питання про екологічну небезпеку в Україні на зараз, ми отримали 79,3 % стверджувальної відповіді та 20,7 % – «ні».

На друге питання «Чи відчуваєте Ви, особисто, екологічну небезпеку в своєму регіоні тепер?», ми отримали стверджувальну відповідь у 41,4 %, 55,2 % – ні і 3,4 % проживають за кордоном. На питання «Національна безпека та екологічна безпека взаємопов'язані?» ми отримали стверджувальних 93,1 % і 6,9 % – ні. На питання «Екологічна небезпека спостерігається на активних бойових діях, а в тилу – екологічна стабільність?», ми отримали відповіді «так» – 34,5 %, «ні» – 62,1 % і «не знаю» – 3,4 %. На питання «У світі екологічна безпека є стабільною на зараз?» ми отримали такі відповіді (рис. 1). На питання «Фактор екологічності в Україні не на часі», ми отримали відповіді «так» – 28,6 %, «ні» – 50 %, «Важко оцінити» – 3,6 %, 3,6 %: «Складне питання, мабуть, пріоритет, зараз зупинити якнайшвидше війну», «Проживаю за кордоном, моя відповідь не буде вірогідною», «Завжди на часі», «Важливе, але не першочергове».

Світоглядним було питання на виявлення власної точки зору, переконання щодо екологічної безпеки в Україні на тепер.

На питання «Ваша думка про екологічну безпеку в умовах воєнного стану в Україні» ми отримали багато оригінальних думок-відповідей. Основні з них подаємо (текст думок респондентів, ми, навмисно, залишаємо авторським із орфографічними та пунктуаційними помилками, щоб зберегти автентичність написаного):

• Навіть в умовах воєнного стану дотримання екологічної безпеки дуже важливо, адже після бойових дій буде обов'язково мирне життя, в воно повинно бути у комфортних, придатних для існу-

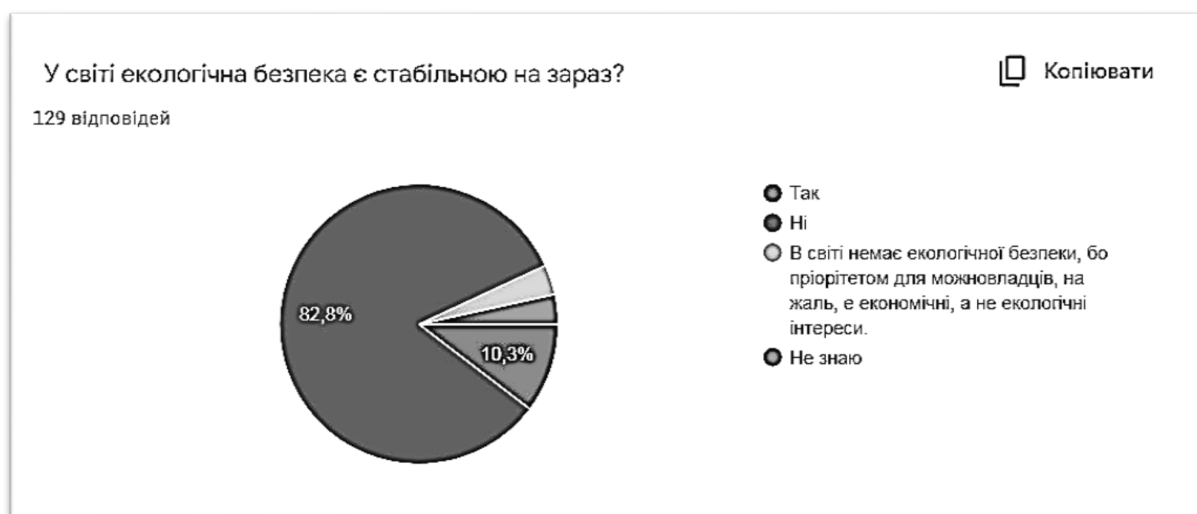


Рис. 1. У світі екологічна безпека є стабільною на зараз?

вання, нешкідливих умовах, з родючими ґрунтами, джерелами чистої води та відсутністю радіоактивних забруднень.

• На жаль, майже неможливо, щоб було все добре. Швидше за все всі дії з боку захватчиків спонукають до її погіршення: і руйнування населених пунктів, вбивства, і пожежі, і дії на кшталт цього можуть призвести до екологічної катастрофи. Процеси тут різні... А що вже говорити про можливість хімічних атак та наявність АЕС... То ж про безпеку мріяти не можна. Я вже не кажу про шантаж ядерною зброєю...

• В Україні екологічна безпека відсутня повністю. Якщо взяти м. Маріуполь, то він займав першу місце щодо онкологічних та інших захворювань. Рівень шкідливих речовин в повітрі було в декілька сотень більше за норму (причина – застаріле виробництво заводів корпорації Метінвест').

• На мою думку, в умовах воєнного стану в Україні про екологічну безпеку недоречно говорити, оскільки ніхто і ніякий регіон нашої держави не застрахований від можливих екологічних катастроф та негативних наслідків від них; сюди можна віднести перш за все забруднення повітря продуктами горіння, забруднення підземних вод, а також усіх водних об'єктів, забруднення ґрунту та його деградації, можливе значне погіршення радіаційного фону та ін. Вся нинішня ситуація прямо або опосередковано впливає або вплине в майбутньому на наше здоров'я або навіть життя. Але попри це, якщо є можливість забезпечити екологічну безпеку як для населення, так і для навколишнього середовища, то це необхідно робити.

• Екологічна безпека, очевидно, не пріоритетний чинник внутрішньої політики держави в умовах воєнного стану. Якщо ранжувати напрямки розвитку суспільства в умовах війни, я б розташував пріоритети наступним чином: 1) армія; 2) економіка; 3) соціально-екологічні питання.

• Бойові дії спричиняють потрапляння в повітря більшої кількості газів за рахунок згоряння палива при підривах, є небезпека втрати контролю над атомними об'єктами. До того ж, тіла загиблих потрібно правильно захоронювати.

Головні висновки. Отже, аналізуючи опитування про екологічну небезпеку в Україні серед пересічних громадян, можна з впевненістю зазначити, що люди розуміють всю катастрофу складеної ситуації та переживають психічну травму війни, яка є наслідком втручання країни-агресора, ворога в наш суверенітет. Тому екологічна безпека як елемент / складова національної безпеки держави гостро актуальна в своєму розв'язанні: спочатку на рівні просвітництва, в освіті, потім на рівні науковому, згодом, залучення до розбудови нової країни.

Проводячи опитування серед респондентів, можна стверджувати про актуальність проблеми екологічної безпеки в воєнний час та й особливо, після воєнний час. Багато інфраструктури та довкілля загалом зруйноване, потрібно буде відновлювати зруйнування і максимально враховувати фактор природності, екологічності, впроваджувати нові чисті технології. Спочатку варто розробити напрями розвитку екологічності нової суверенної держави, оновити законодавчу базу нормативних документів, відбудовувати зруйноване.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальше дослідження ми вбачаємо в застосуванні теоретичних матеріалів статті в написанні кваліфікаційних робіт бакалаврів і магістрантів, зокрема, у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, Національному авіаційному університеті, Кам'янець-Подільському національному університеті імені Івана Огієнка та інших університетів держави, для аналізу літературних і інтернет джерел під час досліджень аспірантів і докторантів галузі 101 Екологія.

Література

1. Бондаренко Д. О. Адміністративно-правове регулювання екологічної безпеки в Україні. *Редакційна колегія*. 2017. № 3. С. 8–9.
2. Смець Л. О. Адміністративно-правові засади управління у сфері забезпечення екологічної безпеки держави : автореф. дис. ... д-ра юрид. наук: 12.00.07; Харківський нац. ун-т внутр. справ. Харків, 2019. 42 с.
3. Іванюта С. П., Качинський А. Б. Екологічна безпека регіонів України: порівняльні оцінки. *Стратегічні пріоритети*. 2013. № 3. С. 157–164.
4. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. Кам'янець-Подільський, 2021. URL: <https://kpmu.edu.ua> (дата звернення: 03.04.2022).
5. Концепція екологічної освіти України. Затверджена Рішенням Колегії МОН України № 13/6-19 від 20.12.01 / Міністерство освіти та науки України. 2001. URL: <http://consultant.parus.ua/?doc=01E1O32CCC0>
6. Копанчук В. Екологічна безпека як складова національної безпеки України: сучасні концепції та підходи. *Вісник Національної академії державного управління при Президентові України*. 2020. № 2 (97). С. 45–49.
7. Краснова Ю. А. Право екологічної безпеки в Україні : дис. ... д-ра юрид. наук; Інститут економіко-правових досліджень НАН України. Київ, 218. 362 с.
8. Міжнародна літня школа Жана Моне «Стратегія циклічної та зеленої економіки Європейського союзу: виклики для України» в рамках проєктів програми ЄС ЕРАЗМУС+ Центр Європейського Союзу Жана Моне з Циклічної та Зеленої Економіки JM ECO (620627-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-CoE) та Жан Моне Підтримка Асоціацій EUforUA (611278-EPP-1-2019-1-UA-EPPJMO-SUPPA), 10 червня 2021 р., Київ. URL: <https://cutt.ly/HUhwg2U>

9. Міжнародна літня школа Жана Моне в рамках проектів програми ЄС ЕРАЗМУС+ Центр Європейського Союзу, 17–18 червня 2021 року, м. Миколаїв. URL: <https://erasmusplus.org.ua/novyny/3019-mizhnarodna-litnia-shkola-zhan-mone-yevropeiski-studii-dlia-staloho-rozvytku-ta-ii-mizhnarodna-naukovo-praktychna-konferentsiia-yevropeiski-vymiry-staloho-rozvytku-25-26062020-on-line.html>
10. Подільські читання. Екологія, охорона довкілля, збереження біотичного та ландшафтного різноманіття: наука, освіта, практика : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. (10–12 жовтня 2019 р., Хмельницький) / за заг. ред. Г. А. Білецької. Хмельницький : ХНУ, 2019. 262 с.
11. Рудько Г. І., Гошовський С. В. Екологічна безпека техноприродних геосистем. Київ : Нічлава, 2006. 464 с.
12. Семерня О. М. та ін. Екологічна безпека та системологія. *Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України*: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 13 жовтня 2021 року / редкол. О. С. Волошкіна та ін. Київ : ІТТА, 2021. С. 503–505.
13. Семерня О. М. Участь у проєкті “The Best European Practices for the “Water Security” Platform to Achieve the Goals of Sustainable Development” у межах програми ЄС Еразмус+ Жана Моне. *Студентський Меридіан* : газета. URL: <https://cutt.ly/oURNGWb> (Міжнародний проєкт ERAMUS+).
14. Семерня О. М., Любинський О. І. Проєкт «Кращі Європейські практики для платформи «Водна Безпека». *Сайт кафедри екології* : офіційна сторінка. К-ПНУ, 2021. Режим доступу: <http://ecolog.kpnu.edu.ua> (Міжнародний проєкт ERAMUS+).
15. Участь у Міжнародній конференції в рамках Міжнародної програми Еразмус+. Сайт кафедри екології : офіційна сторінка. К-ПНУ. URL: <https://cutt.ly/qnjNWUm>
16. Екологічна безпека в умовах воєнного стану, 2022. URL: <https://forms.gle/finYNFciAz3JPtEaA> (дата звернення: 03.04.2022).

КАРТОГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net

Висвітлена методика розроблення системи карт, що застосовуються в системі державного управління у сфері екологічної безпеки та реалізації програм захисту довкілля. Карти прокласифіковані за масштабом, призначенням та функціональним забезпеченням тематичного навантаження та змістовного наповнення. Вперше визначений широтно-довготний аспект використання відповідних карт, а також топографічні особливості їх застосування безпосередньо під час рекогносрування.

Обґрунтований проєкт геоінтелектуальної системи прийняття екологічних рішень у системі обсерваційного екологічного моніторингу довкілля-простору м. Києва. Розроблена структурно-функціональна модель програми геоінформаційного забезпечення. Технологія картографічного моделювання та прогнозування є гібридом геоінформаційних, навігаційно-геодезичних, картографо-геоматичних технологічних засобів реєстрації та ідентифікації потенційно-небезпечних процесів, явищ у суцільному (відкритому) та закритому (дискретному) середовищах.

Основою розробленої геоінтелектуальної моделі є програми автоматизованого координування об'єктів критичної інфраструктури: підприємств із базами СДОР (сильнодіючих отруйних речовин), виробництв, що використовують ядерну енергетику, зазначаються викиди від транспортних засобів логістичних хабів тощо). Відображені структурно-параметричні схеми формування спеціальних баз даних, процедури формування картографічних банків даних умовних позначень об'єктів, що певною мірою, потенційно-небезпечні для населення м. Києва.

Розроблений алгоритм автоматизованого прийняття екологічних рішень, що моделює поточну геоінформацію, отримувани з супутникових, наземних та інших стаціонарних (статичних), динамічних та кінематичних систем оцінки впливу на довкілля. Зазначена першочерговість алгоритмічної обробки даних в системі модулів управління надзвичайною ситуацією на відповідних промислових територіях м. Києва. Укладена та представлена карта критичної інфраструктури м. Києва.

Зазначено, що функціональне застосування систем геоінформаційного картографування об'єктів критичної інфраструктури є складовою управлінської системи попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, яка успішно апробована у сфері екологічного моніторингу на загальноміському рівні. *Ключові слова:* карта природно-техногенної безпеки, управління у сфері екологічної безпеки, ландмарк, картографічна модель, ГІС-технології, геоінтелектуальна система.

Cartogeoinformation support of management in the field of environmental safety and implementation of environmental protection programs. Finin G., Shevchenko R.

The article reveals the method of developing a system of maps used in the system of public administration in the field of environmental safety and in the implementation of environmental protection programs. Classified maps by scale, purpose and functionality of thematic load and content. For the first time the latitudinal aspect of the use of relevant maps is mentioned, as well as the topographic features of their use directly during reconnaissance.

The project of the geointelligent system of ecological decision-making in the system of observational ecological monitoring of the environment-space of Kyiv is substantiated. A structural and functional model of the geoinformation support program has been developed. The technology of cartographic modeling and forecasting is a hybrid of geoinformation, navigation and geodetic, cartographic and geomatic technological means of registration and identification of potentially dangerous processes, phenomena in continuous (open) and closed (discrete) environments.

The basis of the developed geointelligent model are programs of automated coordination of critical infrastructure facilities: enterprises with bases of HTS (highly toxic substances), enterprises that use nuclear energy, emissions from vehicles of logistics hubs, etc.). Structural and parametric schemes of formation of special databases, procedures of formation of cartographic data banks of symbols of objects that pose a potential danger to the population of Kyiv are shown.

The language of automated environmental decision-making has been developed, which simulates current geoinformation obtained from satellite, terrestrial and other stationary (static), dynamic and kinematic systems of environmental impact assessment. The priority of algorithmic data processing in the system of emergency management modules in the relevant industrial areas of Kyiv is indicated. The map of critical infrastructure of Kyiv is concluded and presented.

The paper notes that the functional application of geographic information mapping systems of critical infrastructure is part of the management system for the prevention of emergencies of natural and man-made nature. It has been tested in the field of environmental monitoring at the city level. *Key words:* map of natural and man-caused safety, management in the field of ecological safety, landmark, cartographic model, GIS-technologies, geointelligent system.

Постановка проблеми. Відомості про стан природно-техногенної безпеки, які відображаються на цифрових тематичних картах із різночасовим допов-

ненням в середовищі геоінформаційних систем оновлюються перманентно. Це призводить до необхідності комплексного їх використання в управлінні

в сфері екологічної безпеки. При цьому може бути отримана вся просторова база даних та відповідний обсяг геоінформації, необхідний для реалізації програм захисту довкілля.

Картогеоінформаційне забезпечення призначене для автоматизованого розв'язання задач визначення координат потенційно-небезпечних об'єктів навколишнього природного середовища, прогнозування масштабів розповсюдження сильнодіючих отруйних або радіоактивних речовин, визначення ареалів патогенного впливу на довкілля. Цифрові карти в системі екологічної безпеки знаходять своє практичне застосування для загального вивчення району надзвичайної ситуації природного та техногенного характеру, отримання загально-топографічного, гідрографічного, геолого-геоморфологічного уявлення про локалізацію небезпечних явищ, а також для вирішення прикладних інженерно-геодезичних завдань, пов'язаних із сталим розвитком територій [1].

Актуальність дослідження. Важливою складовою картогеоінформаційних систем у забезпеченні екологічної безпеки є геопросторові дані, що доповнюють еколого-топографічні карти. У поєднанні із даними технологій Близького Космосу (Космосфери) при створенні цифрових ортофотопланів територій, дозволяють використати оптимальну методику запобігання або подолання екологічних катастроф. У системі управління реалізації програм екологічної безпеки відповідні дослідження є найбільш затребуваними, зважаючи на всеохоплюючу діджиталізацію країни.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наукові дослідження реалізовані в рамках виконання п. 2 «Пріоритетних напрямків роботи Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Мінекодовкілля на 2021–2025 рр.» (<http://dea.edu.ua/img/source>).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Геоінформаційні основи картографічного забезпечення програм природоохоронного змісту фундаментально обґрунтовані в наукових працях акад. Руденка Л. Г. (Інститут географії НАН України) [2], проф. Пересадько В. А. (Харківський університет), проф. Шищенко П. Г. та Гавриленко О. П. (Київський університет). Ними сформульовані методики картосеміотичних програм авторського ескізування картографічних моделей. Наукову школу інженерно-екологічного ГІС-картографування формує Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління та її провідні вчені: професори Бондар О. І., Білявський Г. О., Рудько Г. І.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Не розв'язаною залишається проблема науково-методологічного обґрунтування використання цифрових карт та атласів у системі державного управління у сфері екологічної безпеки в кра-

їні, а також під час дослідження міст-мільйонників. В процесі дослідження необхідною на сьогодні постає задача класифікації карт, що використовуються в системі управління у сфері екологічної безпеки та під час реалізації програм збалансованого природокористування й захисту довкілля.

Методологічне або загальнонаукове значення. Картографо-геоінформаційні технології захисту навколишнього природного середовища є універсальними при візуалізації просторових явищ суцільного та дискретного (локального) розповсюдження. Тому одним із важливих наукових завдань даного дослідження є обґрунтування технології спеціального автоматизованого програмування масштабних рядів, практичне застосування карт-моделей у природоохоронній справі, розв'язання прикладних задач різномасштабного державного управління екологічною безпекою.

В результаті апробації алгоритмів обґрунтовано застосування експериментальної GIS/GPS-геоінтелектуальної системи моніторингу довкілля м. Києва, що є оболонкою-ядром акумуляції геопросторових баз даних із семантичним алгоритмом укладання тематичних моніторингових карт стану довкілля міста.

Викладення основного матеріалу. Карти забезпечення системи екологічної безпеки держави поділяються на три основні групи: *маршрутно-навігаційні, спеціальні тематичні природно-техногенної ситуації, довідково-інформаційні (допоміжні)*.

Зміст таких карт має математичну основу (картографічну проєкцію, геодезичну основу, мірило), загально-географічне та еколого-специфічне навантаження та елементи електронного оформлення.

Аналітичний спосіб програмування зазначених параметрів картогеоінформаційних моделей задається рівняннями, що дозволяють за координатами зображувального пікселя даних, які спроектовані на еліпсоїд, автоматично обчислювати координати на площині в проєкції топографічних карт Гаусса-Крюгера. Передбачене застосування геометричного алгоритму проєктування, що складається із опцій автоматичного відображення виду меридіанів та паралелей на цифровій карті та їх відносне розташування.

Під час розкладення відповідних масштабних рядів карт на підземні геотерії, наземні території, акваторії, аеротерії та космосферу, за геодезичну основу беруться картографічні сітки прямокутної системи координування об'єктів. На практиці присутні значні розходження геодезичних основ для зазначених сфер географічної оболонки, насамперед, в координатах одних й тих точок на різноманітних картах. Перехід або перенос точки з одного тематичного шару карти на інший під час рекогноситування неподалік берегів високих широт, необхідно здійснювати за астрономічним азимутом. Треба враховувати відстані до точних орієнтирів-домінантів

(ландмарів) на березі акваторії безпосередньо під час руху експедиційної партії.

Під час екологічного рекогносрування на акваторіях переходити з одного тематичного шару на інший за координатами можна тільки при проходженні пікетажного журналу подалі від суходолу.

Мірило карт природно-техногенної безпеки обирається в залежності від їх призначення, навігаційно-географічних особливостей та ступеня вивченості місцевості. Стандартним масштабним рядом для цифрових карт та планів при управлінні в сфері екологічної безпеки та забезпеченні реалізації програм захисту довкілля є: 1 : 500, 1 : 1000 – 1 : 5000, 1 : 7500, 1 : 10 000, 1 : 15 000, 1 : 20 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000 – 1 : 5 000 000, 1 : 10 000 000, 1 : 20 000 000, 1 : 50 000 000. За мірило карт беруться масштабні ряди спеціально створюваних моделей. При цьому масштабом окремо взятої тематичної карти є математичне співвідношення параметрів простору до її моделі на конкретно визначену територію.

Електронні карти-сітки, що покривають води Світового океану за широтними поясами укладаються у мірілі 1 : 250 000 та 1 : 500 000. Для декількох широтних (фізико-географічних та кліматичних) поясів – укладаються у мірілі 1 : 100 000.

В залежності від мірила та призначення на цифрових картах системи екологічної безпеки із різною повнотою та деталізацією відображаються: берегова лінія та її види, гідрографія суходолу (ріки, озера, канкали), рельєф суходолу, населенні пункти та комунікації дорожньої інфраструктури, рельєф дна гідрографічних об'єктів (глибини та ізобати), навігаційні небезпеки та донні ґрунти, критична інфраструктура територій, ландмарки, навігаційні орієнтири та засоби топографічного навігаційного обладнання, відомості про припливи та відпливи, заборонені зони та небезпечні райони, фарватери, аеролінії, морські канали, рекомендовані курси еколого-рекогносрувальних маршрутів, елементи спеціального змістовного навантаження для службового використання, сітка ізоліній для визначення місця за допомогою радіогеодезичних систем, специфічні написи та елементи дизайнерського оформлення цифрової карти.

За своїм призначенням карти системи екологічної безпеки та управління поділяються на наступні підгрупи: *акваторіальні карти природно-техногенної безпеки, астрономо-геодезичні карти планово-висотних мереж території критичної інфраструктури, карти природно-техногенних небезпек, карти техногенного навантаження на гідросферу.*

Акваторіальні карти природно-техногенної безпеки укладаються на райони, які розташовані у лімітах широт від 0 до 85 градусів північної та південної широти. Математичною основою карт є нормальна проєкція голандського картографа Меркатора

Герарда, а на високі приполярні території – поперечна проєкція його розроблення.

В залежності від масштабу акваторіальні карти природно-техногенної безпеки поділяються на *генеральні, рекогносрувальні, інженерно-прикладні та плани-абриси.*

Генеральні карти акваторіальних природно-техногенних небезпек укладаються в мірилах 1 : 1 000 000 – 1 : 5 000 000. Вони використовуються для загального орієнтування при виборі маршруту еколого-рекогносрувальної експедиції під час руху на транспортному засобі. В деяких випадках вони можуть бути використані для автоматизованого розв'язання задач високоточного астрономо-геодезичного координування на місцевості під час несприятливих метеорологічних умов у відкритих ділянках акваторій.

Рекогносрувальні карти природно-техногенної безпеки укладаються у мірилах 1 : 100 000 – 1 : 500 000. Вони забезпечують навігаційну безпеку при доекспедиційного прокладання маршруту еколого-моніторингового рекогносрування місцевості та розв'язання прикладних задач координування потенційно-небезпечних локацій уздовж узбережжя водосховищ, а також підходів та перевалів через території висотної поясності.

Інженерно-прикладні карти природно-техногенної безпеки укладаються у мірильному ряді 1 : 25 000 – 1 : 50 000. Їх призначення полягає у забезпеченні природно-техногенної безпеки при реалізації експедиційних досліджень.

Плани-абрисы природно-техногенної безпеки укладаються у мірильному ряді 1 : 500 – 1 : 25 000 та призначені для прийняття оперативних управлінських рішень та забезпечення реалізації пікетажного маршруту на рівнинних територіях. Відповідні плани-абрисы складаються окремо в середовищі ГІС у вигляді візок також у тематичному змісті рекогносрувальних та інженерно-прикладних карт.

Астрономо-геодезичні карти планово-висотних мереж території критичної інфраструктури – це спеціальні інженерно-топографічні карти із додатковими тематичними шарами у вигляді сіток ізоліній, а також різноманітних корегувальних величин та пояснень до них, які необхідні для визначення місцеположення за допомогою астрономо-геодезичних методів та супутникових технологій.

Карты природно-техногенних небезпек – геоінформаційні моделі генералізованих топографічних, гідрографічних, аероторних та космофотозображень на які у окремому векторному тематичному шарі виводяться наступні оверлейни: небезпечні ділянки вулканічної активності морського дна, несприятливі синоптичні та клімато-метеорологічні умови, тектонічні розломи та геологічні аномалії, сітки квадратів, відомості про стан критичної інфраструктури, промислові характеристики

території, сітка ізоліній для визначення координат за допомогою радіогеодезичних систем та інші спеціалізовані зведені просторові дані [2].

Карти техногенного навантаження на гідросферу призначені для забезпечення визначення ареалів викидів антропогенного та біогенного забруднення поверхневих вод річок, каналів, водосховищ. Укладаються у мірному ряді діапазону 1 : 5 000 – 1 : 50 000.

Спеціальні карти управління у сфері екологічної безпеки поділяються на оглядові та інформаційно-управлінські.

Оглядові та інформаційно-управлінські карти укладаються на основі *бланкових карт*, на яких позначені лише найбільш узагальнені елементи загально-екологічного навантаження (берегова лінія, важливі шляхи сполучення, адміністративні та промислові центри, ландмарки, мережа геодезичних та астрономо-геодезичних знаків та пунктів радіогеодезичної системи визначення координат, державні кордони та адміністративні межі). Відповідний ряд геопросторових даних формує основу геоінформаційного простору, яка є основою для формулювання різних управлінських програм. Наприклад, на *картах патогенних ґрунтів* розміщуються дані про розподіл донних відкладень, «геологічних вікон» та їх просторова-часова характеристика динаміки явищ. На *картах аномалій земного магнетизму* демонструються лінії рівних значень іоносферних збурень, гравітаційних аномалій, гравіметричні пункти спостережень. На *картах радіогеодезичних систем*, що укладаються у дрібному мірному ряді, додаються зведені просторові дані про локалізацію станцій GPS-спостереження, астрономічні, геофізичні та гравіметричні обсерваторії. Показуються дестинації їх моніторингової дії (охоплення) та лінії рів-

них точностей визначення природно-техногенних явищ та об'єктів.

До оглядових відносять геопортали, як спеціальні картографічні ресурси інтернету із накопичення спеціальної геопросторової інформації. На рис. 1 представлений скріншот геопорталу інфраструктури екологічних обсерваційних ландмарків м. Києва (геодезична мережа столиці).

До числа *допоміжних карт системи екологічної безпеки* відносять *ортометричні карти промислових майданчиків*. Вони укладаються у гномонічній проєкції та призначені для розв'язання задач, пов'язаних із прокладанням дуг великих кіл ймовірності виникнення надзвичайної ситуації природного та техногенного характеру.

Карти-сітки реалізації програм захисту довкілля призначені для автоматизованого геоінтелектуального розв'язання прикладних задач прогнозування надзвичайних ситуацій в районах, які не охоплені великомасштабними картами. Вони представляють собою картографічну основу із сіткою паралелей та меридіанів загально-топографічних карт. На них оцифровані тільки широтні та довготні бокові рамки, додаються контурні значення часового виконання (реалізації) природоохоронних заходів.

На практиці картогеоінформаційне забезпечення управління в сфері екологічної безпеки та реалізації програм захисту довкілля знайшло втілення в *інформаційно-аналітичній системі ГІС & GPS/GNSS-обсерваційного екологічного моніторингу м. Києва*, яка складена на основі програмних модулів фірм ESRI та MicroStation. Це спеціалізована геоінформаційна система узагальнення систематизації та оперативного прийняття екологічних рішень у галузі геоінформаційного картографування природно-територіального комплексу м. Києва. В основу покла-

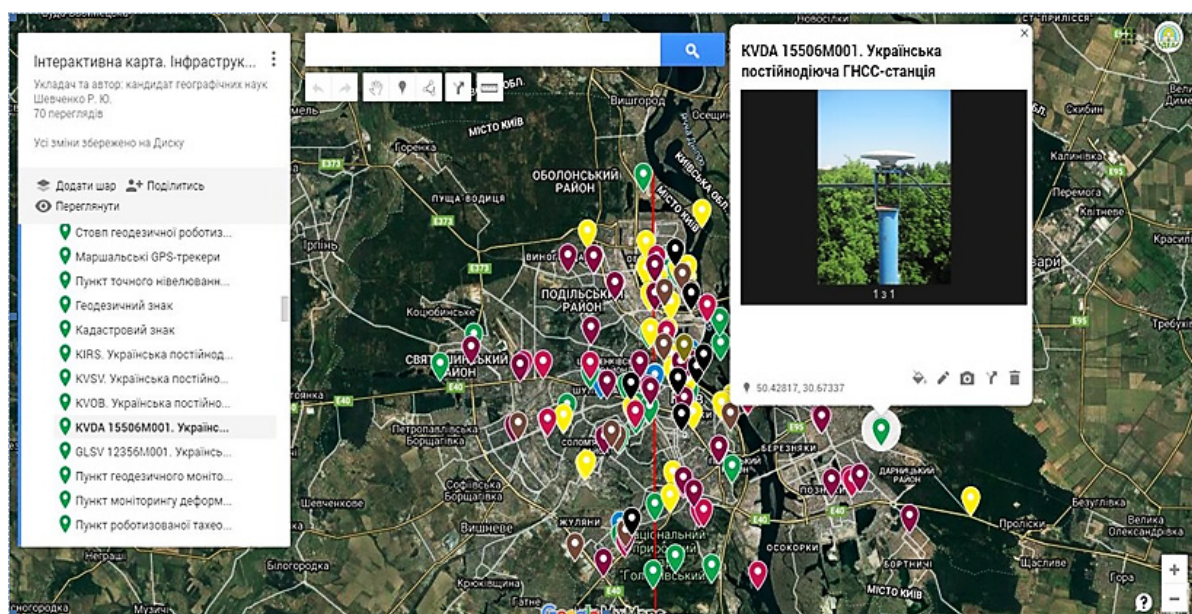


Рис. 1. Інтерфейс геопорталу ландмарків м. Києва

дено результати проведеного польового моніторингу м. Києва протягом 2020–2021 рр. Складений геоінформаційний реєстр критичної антропогенної інфраструктури та небезпечних природно-територіальних комплексів м. Києва.

Оцінка стану *природно-територіальних комплексів* покладена в основу відповідної бази даних *екогеоінформаційної системи*. Модулі системи формують банки даних факторів забруднення навколишнього середовища в межах контуру досліджуваного полігону природно-антропогенного (промислового) району обсерваційного екологічного моніторингу.

Визначеним мірилом екогеоінформаційних моделей (векторних цифрових екологічних карт довкілля-простору) є 1 : 25 000 та 1 : 500 – 1 : 10 000 для окремих урочищ та ландшафтів. Цей ряд масштабних перетворень необхідний для оперативного виявлення джерел забруднення навколо підприємств, оповіщення відповідних аварійно-рятувальних служб для прийняття рішень по їх ліквідації, а також оповіщення населення про небезпеку та загрозу для здоров'я.

Відповідна інформація розміщується у відкритих (публічних) картографічних ресурсах та сервісах – геопорталах Інтернету: Google Earth, Google Map, OpenStreetMap, Wikimapia, Mapillary а також на громадських (інформаційно-довідкових) картографічних зображеннях у відкритих та закритих просторах.

Експертна ГІС стану навколишнього середовища – це програмний комплекс, який є головним геоінформаційним картографічним інструментарієм, що визначає та призначає зміст, методи створення при трасуванні алгоритмів ГІС-досліджень стану, довгострокового прогнозу та моніторингу навколишнього природного середовища м. Києва.

Досвід показує, що при комплексному математичному моделюванні матеріалів ГІС-досліджень із застосуванням сплайн-функцій, математичного та геометричного програмування та залученні даних аерокосмічної зйомки, виявляються нові, невідомі раніше дані про природні ресурси, довкілля, зовнішнє (відкрите) та функціональне (закрите) навколишнє середовище довкілля-простору. Наприклад, геогліфічний антропоморфний образ на космічному знімку м. Києва.

Прикладами застосування ГІС-технологій у картографуванні природно-територіальних комплексів на міському рівні є розроблені *електронні карти небезпечної інфраструктури м. Києва*. Одним з аспектів розробки наукових основ системного обсерваційного картографування довкілля-простору є пошук шляхів створення спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи ГІС & GPS/GNSS-обсерваційного екологічного моніторингу м. Києва для забезпечення шляхів систематизації та узагальнення геоінформаційної бази даних про природно-територіальний комплекс міста.

Головною функцією спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи ГІС & GPS/GNSS

(Global Navigation Satellite Systems)-обсерваційного екологічного моніторингу довкілля-простору м. Києва є оперативність пошуку об'єктів критичної інфраструктури за багатьма характеристиками: адреса, назва споруди, інженерно-конструктивний стан (характеристика) споруди, топонімічна приналежність.

ГІС має традиційні блоки банків і баз даних: топографо-геодезичну інформацію (топографічна основа, аеро- і космічні знімки); геотегінг, кеокешинг; тематичні карти проблемної та покомпонентної спрямованості; цифрову (табличну) статистичну інформацію; додаткову інформацію у вигляді графіків, схем, фото- і відеозображення).

Окрім того, застосовуються алгоритми картографування новозбудованих об'єктів критичної інфраструктури у різноманітних варіаціях у залежності від зміни того чи іншого параметра. Такі алгоритми побудовані на основі принципу експертного програмування екологічної обсерваційної карти (рис. 2).

Основними вимогами щодо програмних засобів, покладених в основу формування ГІС, є модульність, відкритість і повна сумісність з іншими програмними продуктами. Програмне забезпечення ГІС обсерваційного екологічного моніторингу довкілля-простору м. Києва – це інтегроване програмне середовище уніфікованих форматів даних, користувачького інтерфейсу і стандартних прикладних програмних засобів.

Модулі геоінформаційної системи здійснюють: визначення картометричних параметрів географічного розташування об'єктів критичної інфраструктури та залежності між об'єктами; різноманітні викиди відпрацьованих елементів у геосферу, що досліджуються; оперативне картографування новозбудованих димарів та відстійників, несанкціонованих врзок до дощової каналізації, а також таких, що проєктуються та будуються.

ГІС має набір «вмонтованих» алгоритмів, які дозволяють вирішувати всі перераховані вище задачі, тобто встановлювати не лише інформаційно-консультаційні характеристики об'єктів критичної інфраструктури, оперативно визначати функціональні особливості, а також мають змогу оперативного картографування позаштатних ситуацій (рис. 3).

У будь-якій ГІС, розробка системи екологічного моніторингу починається з формування банків і баз даних. Відомо, що більшість просторових і непросторових атрибутивних даних зберігається в реляційних базах даних, що не завжди відповідає сучасним вимогам географічного аналізу. У ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва використовуються об'ємно орієнтовані банки даних та розширені реляційні системи підтримки баз даних. Це забезпечує перехід від механічного зберігання та візуалізації даних до сценаріїв підтримки прийняття рішень (рис. 4).

Функціонування динамічних моделей вимагає, щоб відношення попередньо визначеного набору геопросторових даних накопичувалися в оперативному режимі. Принципову можливість цього підходу забезпечує парадигма об'єктно-орієнтованого програмування та інтерфейс прикладного програмування бази даних. Об'єкти, що мають атрибутивні дані, можуть взаємодіяти між собою й зберігати результати для подальшого використання.

Структура баз даних (БД) ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва має три структурні інформаційно-функціональні групи:

– джерела даних моделей статичної складової, основним призначенням яких є формування пред-

метних БД інформаційного обслуговування структур виконавчої влади м. Києва (КМДА), підтримка прийняття рішень і вирішення всіх функціональних задач системи;

– методи й засоби реалізації інформаційного забезпечення, що зосереджені в основних видах забезпечення функціонування системи алгоритмів побудови картографічного зображення: організаційному, технічному, математичному, програмному;

– інформаційна база системи обслуговування районного й загальноміського рівнів, що складається з необхідної кількості предметних БД, та мають картографічну, текстову й алфавітно-цифрову (табличну) інформацію [3].



Рис. 2. Графічна модель програми організації проєктних робіт із складання обсерваційної екологічної карти м. Києва



Рис. 3. Перетворення баз даних у ГІС-обсерваційного екологічного моніторингу

Структура баз даних у територіальному та змістовному аспектах імітує структуру комплексу критичної інфраструктури м. Києва.

Система управління базами даних (СУБД) ГІС є гнучкою, орієнтованою на змогу використання інформації, що поступає з інших ГІС, сформованих за допомогою іншого програмного забезпечення (рис. 5).

При формуванні комплексної бази даних об'єктів критичної інфраструктури м. Києва постає необхідність створення баз, у яких містяться дані, включаючи географічні співвідношення.

У програмних продуктах попередніх поколінь географічні відомості, як правило, зберігалися в графічних файлах. Відповідна технологія використовується й у даній ГІС. Однак у ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва ця опція відрізняється тим, що за її допомогою проводяться досить складні перетворення даних у процесі трансформації проєкції. При зміні системи координат, такі дані, зазвичай, представлені у різних системах координат від умовної до геодезичної, отримані з різних джерел обсерваційного моніторингу [4].



Рис. 4. Сценарій оброблення даних геоінформації при картографуванні

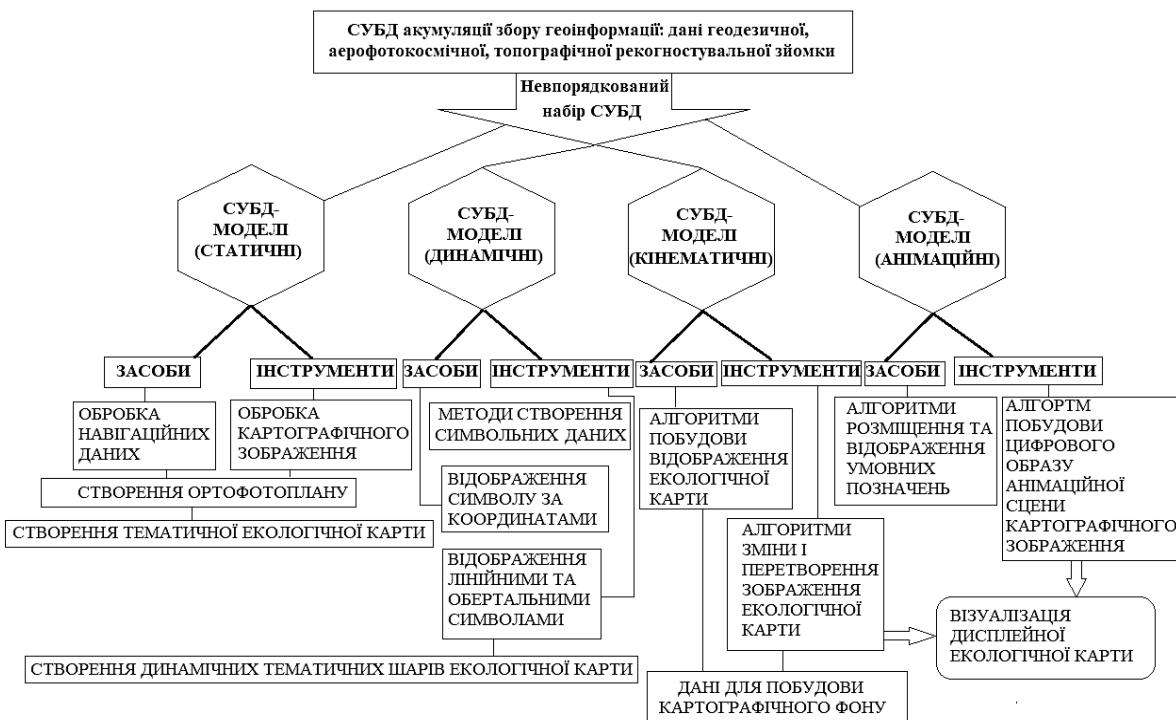


Рис. 5. Алгоритм формування СУБД екологічної карти та її ГІС-архітектура

У пошуку конкретного об'єкту критичної інфраструктури м. Києва в ГІС використовується гнучка система запитів. Принцип гнучкості доповнюється застосуванням алгоритму структурованих запитів. Для створення й виконання таких запитів перетворень даних та їх представлення застосовуються реляційні бази даних. Їхня перевага у тому, що дані структуровані у вигляді таблиць не залежать від програмних додатків. Також можна використовувати прості непроцедурні опції запитів.

Реляційна база даних ГІС широко використовуються лише для збереження атрибутивної інформації. Географічні властивості об'єктів критичної інфраструктури зберігаються у внутрішній структурі бази даних. Вперше збереження атрибутів та їх географічних властивостей у таблицях було проведено в базах даних програмного продукту компанії Intergraph. Відомості про географічні характеристики також містяться в атрибутивних таблицях програмних продуктів фірми ESRI.

Принцип багаторівневості архітектури ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва передбачає можливість використання незалежних функцій програмного додатку зовнішніх баз даних. Імпорт та експорт даних здійснює спеціалізоване програмне забезпечення (рис. 6).

Модульна структура ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва передбачає наявність базового програмного пакету, який називається «ядром» ГІС,

що керує відображенням шарів карти об'єктів критичної інфраструктури м. Києва (рис. 7).

У робочому просторі ГІС зберігаються результати запитів. Оскільки сам запит є реляційною базою даних, за результатами роботи можна обмінятися даними з іншими користувачами в мережі Інтернет, або зберегти їх в основній реляційній базі.

Під час створення геоінформаційної бази даних об'єктів критичної інфраструктури м. Києва застосовуються:

- спеціалізовані картографічні програми, що входять до складу програмно-апаратних картографічних комплексів, призначених для картографічних виробництв;
- картографічні блоки геоінформаційних систем (ArcView, MapInfo, AutoCAD, ArchiCAD);
- векторні та растрові графічні програми загального призначення (Adobe Illustrator, Macromedia, Adobe Photoshop) [5].

У формуванні ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва застосовувалися системи автоматизованого геомодельовання. Це дозволило самостійно створювати картографічні зображення. Проте ефективно сприйняття таких зображень залежить від розуміння користувачем картографічних символів (способів картографічного зображення). Набір картографічних символів має бути зрозумілим кожному користувачеві, без різного тлумачення змісту символів, а сам набір має бути «відкритим», тобто мати здатність розширюватися та модернізуватися.



Рис. 6. Послідовність технології формування реляційної бази даних ГІС

Геоінформаційний банк даних обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору м. Києва відображає інформацію в цифровій формі про об'єкти, що вміщує відомості про місце їх розташування та властивості, їх просторові та непросторові атрибути.

Технологія створення цифрових карт у ГІС обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору м. Києва визначається затвердженими на загальнодержавному рівні, узгодженими, професійно складеними інструкціями й технічними завданнями. При цьому враховується складність і неоднозначність інтеграції даних, що відображаються на карті поза масштабними та оригінальними умовними знаками. Це не призводить до помилок у цифрових картах та актуальності змісту використання як джерел інформації. Так, на комплексній оціночній карті якості життя населення м. Києва використовується механізм знакової комбінаторики у застосуванні способу арелів, масштабних та позамасштабних позначень, що в сукупності підвищує інформативність картографічної моделі.

Основною проблемою, що виникла під час створення геоінформаційного банку даних об'єктів критичної інфраструктури м. Києва в середовищі ГІС обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору, було визначення реального відображення положення меж у різних

цифрових джерелах і часові параметри даних. При цьому визначається наскільки правильні цифрові структури, що представлені в базах даних, тому що вони відображають реальну ситуацію (моделюють реальність) та наскільки точно розроблені алгоритми дозволяють розрахувати правильне значення результату співставлення даних [6].

На карті забруднення повітря м. Києва використовується кількісний фон із якісним відображенням оцінки впливу на атмосферне повітря міста за адміністративними одиницями. Це дозволяє здійснювати районування території міста за загальним рівнем допустимих значень забруднень при використанні автоматизованих станцій замірів забруднюючих елементів у повітрі.

Кількісна інформація в моніторинговій ГІС складається з таких елементів якості: повнота, логічна узгодженість, позиційна точність, часова точність, тематична точність. Кожен елемент включає опис аспектів кількісної оцінки якості набору даних. Повнота визначається достатністю даних для цілісного, детального, адекватного представлення просторових об'єктів. Ці вимоги були застосовані при укладанні карти викидів у повітря від стаціонарних джерел (рис. 8).

Цифрові просторові дані обсерваційного екологічного рекогносциувального моніторингу довкілля-простору м. Києва використовуються як:



Рис. 7. Об'єкти критичної інфраструктури м. Києва

- база цифрових загально-географічних даних, що є сучасним електронним інформаційним ресурсом;
- основа для розробки тематичних баз даних для геоінформаційного картографування на міському рівні в масштабі 1 : 64 000 в багатофункціональній геоінформаційній системі;
- основа для створення електронних карт результатів обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва.

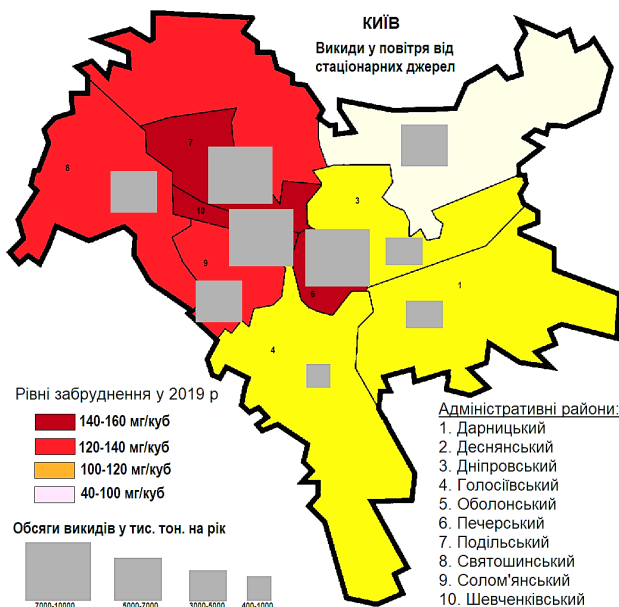


Рис. 8. Тематичний шар «Викиди в повітря від стаціонарних джерел»

Найліпшим способом відображення статистичних даних є картограма із однотонним пошаровим фарбуванням або застосуванням різної гами кольорів для посилення візуального ефекту визначення рівнів забруднення. Така технологія була застосована під час укладення карти рівнів забруднення гідросфери м. Києва.

Складність такого синтетичного (морфокомплексного) картографування ґрунтується в зображеннях кольорового насичення. Кольори в гамі розміщені в напрямку зростання складності передачі багатоморфологічної інформації про об'єкт критичної інфраструктури. Основними кольорами є коричневий, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій. За необхідності гама може розширюватися завдяки використанню фіолетового та бузкового кольорів [7].

Такий рівень складності передачі синтетичної інформації при GPS-картографуванні обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва сформований протягом усього мегациклу географічного краснавчого дослідження об'єктів критичної інфраструктури. Зображення транспортної інфраструктури відносяться до полігонних об'єктів на карті критичної інфраструктури м. Києва та можуть позначатися різними лініями, зокрема, суцільними полігонами

ліній насиченою штриховкою або пунктирно-штриховими комбінаціями, але одної товщини ліній та напрямом штрихування.

Функціональні можливості ГІС дозволяють вносити інформацію на карту без відповідної легенди об'єктів. Був застосований безгенералізаційний режим, що дозволяє отримувати електронні карти у вигляді растрового зображення. В цілому, можливості такої GPS/GNSS-електронної карти-основи – простота безгенералізаційного нанесення баз даних обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва та можливість зміни умовного знаку (способу зображення) без зазначення легенди. Це спрощує картосеміотичні властивості карти з точки зору сприйняття геоінформації.

Існують ще дві форми укладання електронної GPS/GNSS-карти-основи в ГІС. Результати обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва представлені у векторному та растровому форматах. Обидва формати мають свої переваги та недоліки. Передача геодезичної інформації в ГІС зобов'язує використовувати додаткові модулі растрових зображень, що не вимагає наявності додаткових модулів, але потребує постійного оновлення інформації при подальших географічних експедиціях [8].

Векторно-растрова складова присутня в роботі GPS-застосунків для девайсів, що працюють на платформах Android та iOS, які успішно пройшли юстирування та компарування. На рис. 9 представлені скріншоти інтерфесу відповідних мобільних картоінформаційних систем.

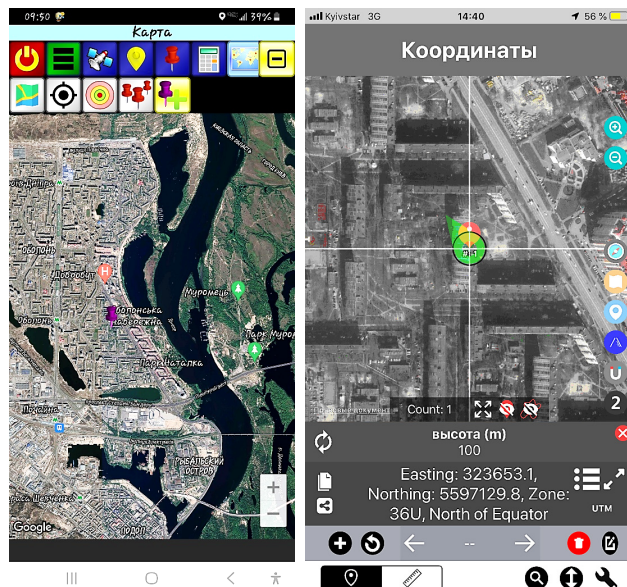


Рис. 9. Gadget-застосунки «Geodezist» та «Координати»

Використовуючи домінуючу функцію поліформатності ГІС, дані необхідно зберігати лише у векторному форматі, а передачу їх користувачу – забез-

печувати в растровому вигляді. Також можливе використання спеціальних браузерів за допомогою Інтернет, що значно прискорюють швидкість оброблення інформації системою в екстреному режимі під час проведення паралельної екологічної експедиції по уточненню географічного положення відповідного об'єкта критичної інфраструктури. Така методологія була застосована при укладанні карти ареалів хайвеїв м. Києва. За картою визначається рівень забруднення повітря. Відповідно, чим менша швидкість, тим більше викидів у довкілля (центральна частина м. Києва).

Стратегічний (управлінський) напрямок застосування геоінформаційної системи орієнтований на вищу керівну ланку. Застосування геоінформаційної системи на цьому рівні здійснюється з метою вирішення неструктурованих задач. Наприклад, планування території для її ревіталізації чи інших промислових місць для їх рекультиватії. Незважаючи на те, що збирання, оброблення та управління даними є важливими функціями спеціалізованої ГІС, проте в основному ГІС використовується для аналізу та підтримки географо-картографічного моніторингу забрудненості ґрунтів м. Києва [4].

Оброблення параметрів у ГІС обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва виконується за допомогою картографічного реєстру із записом значень параметрів. Усі бази даних ГІС зберігаються на серверах та мають проміжні архівні копії на дисках [9].

Статистична серія карт забруднення м. Києва – є результатом моніторингових досліджень і невід'ємною частиною прогнозування і побудови картоекологічних моделей. Однією із задач створення серії статистичних карт м. Києва є картографічна інтерпретація результатів моніторингу на антропогенних територіях із вивченням особливостей географічного положення ландмарків обсерваційного екологічного рекогносцирувального моніторингу довкілля-простору м. Києва з одночасним геоінформаційним картографуванням отриманих даних у режимі онлайн [10].

Змістовна складова серії карт м. Києва на завершальній стадії геоінформаційного моніторингу розв'язує задачі просторового дослідження еколого-небезпечних дестинацій та патогенних антропогенних об'єктів на відповідній території. Це наочне

відображення інформації в картографічному вигляді з точки зору комплексного представлення та оцінки патогенного впливу на довкілля від критичної інфраструктури м. Києва. Постає можливість точної адресації інформації за адміністративними районами міста. Додаткова систематизація інформації є важливою для прийняття управлінських і охоронних рішень. За ними проводиться аналіз та оброблення даних безпосередньо в середовищі ГІС без використання додаткових програмних продуктів і без втрати прив'язки до картографічного зображення [11–12]. Результатом реалізації обсерваційного моніторингу є комплексні статистичні карти рівнів природно-техногенних забруднень на території міста та його агломерацію (рис. 10).

Головні висновки. Розроблені визначення, класифікації та проектування картографічних моделей для потреб державного управління в сфері екологічної безпеки. Складені структурно-параметричні модулі узагальнюють панхронологічну екологічну інформацію з координацією на території і містять атрибутивну геоінформацію, що відображає моніторингові інтегральні дані впливу на довкілля екологічно небезпечних техногенних чинників у найзручнішому для порівняльного вигляду – цифрову карту екологічної безпеки спеціального призначення.

В основу методів проектування спеціалізованих картографічних моделей покладено принцип

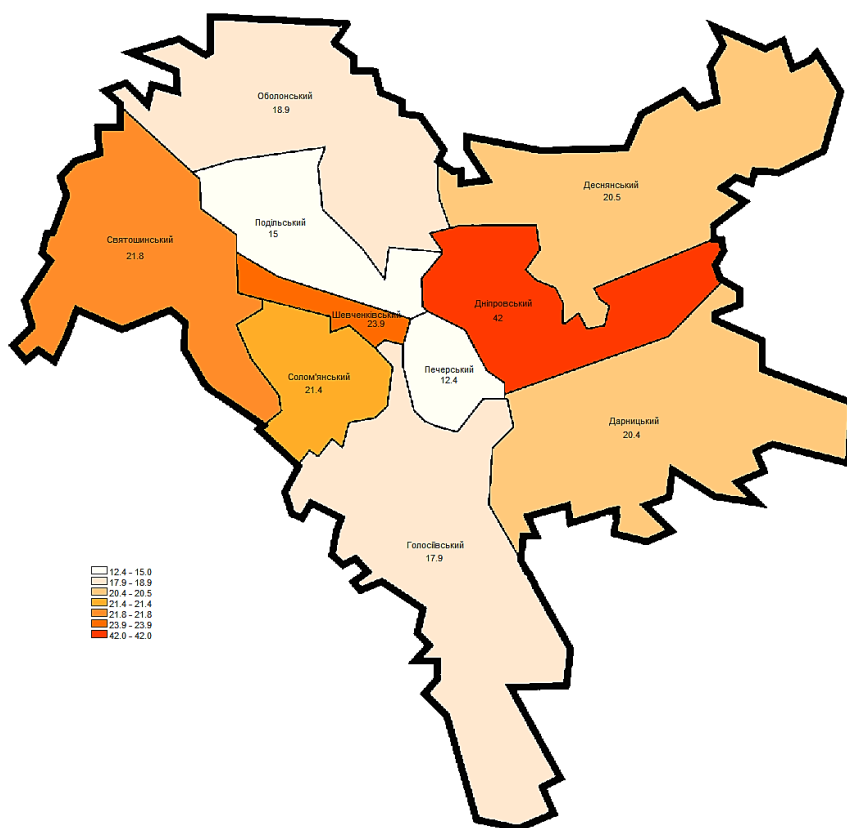


Рис. 10. Сумарні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення за районами, тис. тон у м. Києві за 2020 р.

піксельного сприйняття геозображень, що функціонально пов'язаний із технологією визначення змін показників екологічних характеристик місцевості, отриманих й оброблених за конкретний моніторинговий період часу. Як наслідок, оцінка чинників патогенного впливу на довкілля території визначається диференційними змінами поточних природних параметрів.

Результатом застосування ГІС-технологій у картографуванні надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру є розроблені електронні карти екологічної безпеки м. Києва. Одним з аспектів розроблення наукових основ системного картографування екологічної безпеки є запровадження спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи ГІС & GPS / GNSS-досліджень просторових дестинацій екологічної безпеки м. Києва. Це дозволяє систематизувати та узагальнити геоінформаційні

бази даних щодо потенційно небезпечних природних і промислово-антропогенних територій міста. Вперше в основу картогеоінформаційного забезпечення управління у сфері екологічної безпеки та реалізації програм захисту довкілля у м. Києві покладені Gadget-технології.

Перспективи використання результатів дослідження. Наведений алгоритм апробований під час реалізації проєкту генерального міського планування м. Києва, зокрема, геологічних аномалій, небезпечних природних умов, антропогенних порушень природного потенціалу територій. Такий метод може застосовуватися при складанні статистичних екологічних карт м. Києва у мобільних Gadget-картографічних системах, які дозволяють оперативно й своєчасно прогнозувати потенційно-небезпечні явища та надзвичайні ситуації природного характеру.

Література

1. Актуальні напрямки розвитку картографії в Україні / За редакцією Руденка Л. Г. Київ : Ін-т географії НАН України, 2019. 90 с.
2. Національний атлас України. Наукові основи створення та їх реалізація / За ред. Л. Г. Руденка. К. : Академперіодика, 2007. 408 с.
3. Бондар О. І., Машков О. А., Пашков Д. П., Ващенко В. М., Шевченко Р. Ю. Моніторинг стану навколишнього середовища засобами ГІС. Навч.-метод. та практ. рекомендації. 2018. 52 с.
4. Некос А., Щукін Г., Некос В. Дистанційні методи досліджень в екології. Харків, 2007. 372 с.
5. Бондар О. І., Фінін Г. С., Унгурян П. Я., Шевченко Р. Ю. Дистанційні методи моніторингу довкілля. Навч. посібн. 2019. 298 с.
6. Адаптація до змін клімату: зелені зони міст на варті прохолоди: монографія. За ред. Т. Казанцева. Київ, 2016. 40 с.
7. Світличний О. О. Основи геоінформатики : навч. посібн. Суми, 2006. 295 с.
8. Екологічний атлас Києва. Київ, 2006. 60 с.
9. Клименко М. О., Прищеп А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля. Київ, 2006. 360 с.
10. Мкртчян О. Геоінформаційне моделювання в конструктивній географії. Львів, 2010. 119 с.
11. Шевченко Р. Ю. Інструментарій моніторингу довкілля м. Києва. Монографія. Київ, 2020. 324 с.
12. Шевченко Р. Ю. Києвознавство: просторова інтерпретація урболандшафту. Монографія. Київ, 2021. 248 с.

РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ

УДК 630*3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.13>

ТИПОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ПРИРОДООХОРОННИХ, НАУКОВИХ, ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНИХ ЛІСІВ КРЕМЕНЕЦЬКОГО РАЙОНУ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Бондар О.Б.

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія

імені Тараса Шевченка

вул. Ліцейна, 1, 47003, м. Кременець

olexandr.bondar91@gmail.com

У статті представленні результати досліджень поширення природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів на території Кременецького району Тернопільської області. Зальна площа цієї категорії лісів сягає 8021,7 га. Визначення лісівничо-екологічної структури насаджень проводили згідно української школи лісової типології Алексєєва-Погребняка. Для побудови схеми-карти розташування природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів Кременецького району використовували програму MapInfo Professional 12.7 та векторну карту і.

Лісівничо-екологічна структура природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів регіону дослідження представлена борами, суборами, сугрудами і грудами. Так, найбільшою часткою представлені – сугруди (59,1 % від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель), частка грудів є дещо меншою лише 32,1 %. Частка площ суборі сягає 8,4 % від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель, решта бори – 0,4 %.

Типологічна структура лісів на території Кременецького району є доволі різноманітною. Так, лісовпорядниками виділено 17 типів лісу. У сугрудах виявлено 10 типів лісу, суборах і грудах по 3 типи лісу, а борах лише 1 тип лісу.

На території дослідного об'єкта найбільшою часткою представлений свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (45,9 %) та свіжа грабова діброва становить (29,5 %).

Видове різноманіття насаджень представлено 18 видами дерев. Так, серед цих видів найбільшою частку сягає дуб звичайний (38,4 %) та сосна звичайна (37,4 %).

За походженням переважають насадження штучного походження (58,8 %), а відповідно природного походження (41,2 %).

Переважають високобонітетні (67,1 %) та середньовікові (57,4 %), та високо бонітетні (36,1 %) насадження. Результати аналізу типологічної структури природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів Кременецького району можна бути використати під час формування екологічної політики Тернопільщини, а також в освітньому процесі. *Ключові слова:* тип лісу, дуб звичайний, сосна звичайна, категорія лісу, клас бонітету, відносна повнота, Кременецький район.

Typological structure of nature protected, scientific, historical and cultural forests of Kremenets district, Ternopil region. **Bondar O.**

The results of research on distribution of nature protected, scientific, historical and cultural forests in the area of Kremenets district, Ternopil region are presented in the article. The total area of this category of forests reaches 8021.7 hectares. Defenition of the forest-ecological structure of plantations was carried out according to the Alekseev-Pogrebniak Ukrainian school of forest typology. MapInfo Professional 12.7 program and vector map were used to build the scheme map of the location of nature protected, scientific, historical and cultural forests of Kremenets district.

Forest-ecological structure of nature protected, scientific, historical-cultural forests of the analyzed region is represented by borons, pine forest types, hardwood site types and spruce forest types. Thus, the largest share is represented by hardwood site types (59.1 % of the total area covered by forest vegetation), the share of spruce forest types is slightly smaller, only 32.1 %. The share of pine forest types areas reaches 8.4 % of the total area covered with forest vegetation, the remaining borons – 0.4 %.

The typological structure of forests in Kremenets district is quite diverse. Thus, forest managers have identified 17 types of forests. 10 types of forest were found in hardwood site types, 3 types of forests in pine forest types and spruce forest types, and only 1 type of forest in borons.

The largest share is represented by fresh hornbeam-oak-pine hardwood site types (45.9 %) and fresh hornbeam oak wood (29.5 %) on the territory of the research object.

Species diversity of plantations is represented by 18 species of trees. Thus, among these species the largest share has Quercus L. (38.4 %) and Pinus L. (37.4 %).

By origin, plantations of artificial origin predominate (58.8 %) and, accordingly, of natural origin (41.2 %).

High site classes (67.1 %) and middle aged (57.4 %), and high site classes (36.1 %) plantations predominate. The results of the analysis of the typological structure of nature protected, scientific, historical and cultural forests of Kremenets district can be used in the process of formation of environmental policy of Ternopil region, as well as in the educational process. *Key words:* forest type, Quercus L., Pinus L., forest category, site class, relative completeness, Kremenets district.

Постановка проблеми. Лісові екосистеми мають свою господарську [6], екологічну цінність і виконують важливі ґрунтово-захисні [9], рекреаційно-оздоровчі, кліматорегулюючі та інші корисні функції [11; 12].

До лісів природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення відносяться насадження, що виконують природоохоронну, естетичну функцію, є об'єктами науково-дослідних робіт на довгочасну перспективу, сприяють забезпеченню охорони унікальних та інших особливо цінних природних комплексів та історико-культурних об'єктів [7]:

1) розташовані в межах природно-заповідного фонду;

2) розташовані в межах історико-культурних заповідників, меморіальних комплексів, місць, пов'язаних з важливими історичними подіями, охоронних зон пам'яток історії, археології, містобудування та архітектури, монументального мистецтва. До цієї категорії також відносять унікальні за породним складом, продуктивністю і генетичними властивостями лісові ділянки, на яких зростають реліктові, ендемічні види дерев, що мають велике наукове значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження типологічної структури лісів в Україні присвячено значна кількість наукових публікацій таких учених: Б. Ф. Остапенко, В. П. Ткач [6], О. С. Мигунова [3], В. П. Ткач [9], В. В. Назаренко, В. П. Пастернак [5], О. Б. Бондар, Л. І. Ткач [1], Ю. В. Сірук Є. П. Печенюк, Т. М. Чернюк [4], О. Б. Бондар, Н. І. Цицюра [10], С. І. Мусієнко, М. Г. Румянцев, О. М. Тернопільська, В. А. Лук'янець, В. В. Бондаренко [8] та інші. У вище наведених наукових працях характеризувано типологічну структуру насаджень (розподіл лісового фонду за типами лісорослинних умов, типами лісу), а також запропоновано шляхи підвищення продуктивності, біорізноманіття, що особливо важливо в умовах змін клімату.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У цій статті наведена інформація щодо типологічного різноманіття природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів на території Кременецького району Тернопільської області. Так, зокрема визначено типологічну структуру, видове різноманіття, вікову структуру насаджень природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів Кременецького району.

Новизна вперше для Кременецького району визначено поширення природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів, а також проаналізовано лісівничо-екологічну і видову структуру насаджень.

Матеріали та методи досліджень. Для визначення меж природоохоронних, наукових, історико-культурних насаджень Кременецького району використовували MapInfo Professional 12.6 і векторну карту Тернопільської області.

Для вивчення лісівничо-таксаційної та типологічної структури цих лісів використовували матеріали повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроєкт» станом на 01.01.2016. Ця база даних становить 2464 кварталів. Повидільну базу даних ВО «Укрдержліспроєкт» конвертували з формату «.vff» у формат «.mdb» програмного продукту MS Access за допомогою програми NewUnPackONOTA, здійснювали за допомогою розробленої програми УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького. Вибірку даних, необхідних для подальших розрахунків, експортували у формат «.xls» програми Microsoft Excel [2].

Лісівничо-типологічний аналіз лісів проведено у відповідності із основними методичними положеннями лісівничо-екологічної (української) школи лісової типології [3; 6].

Результати та обговорення. Загальна площа природоохоронних, наукових, історико-культурних насаджень сягає 8021,7 га. Характер поширення лісів на території Кременецького району є доволі різноманітним (див. рис. 1). Так, в основному великі масиви лісу зосереджені на півночі району, а на півдні та сході відповідно найменше. Насадження в ростуть на території державного підприємства Кременецьке лісове господарство та національного природного парку Кременецькі гори.

Розподіл площ природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів за типами лісо-рослинних умов є різноманітним. Так, домінують свіжий сугруд (46,4 % від загальної площі лісів) та свіжий груд (29,5 %). Частка свіжого субору та волого сугруду коливається від 8,0 до 11,0 %. Сума решти типів лісорослинних умов сягає 5,1 %

Типологічна структура лісів на території дослідного об'єкта представлена 17 типами лісу. Так, серед них переважає свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (45,9 % від загальної площі лісів) та свіжа грабова діброва (29,5 %).

Частка мокрого грабово-дубово-сосновий сугруду, мокрої грабово-соснової судіброви варіює від 4,8 до 8,0 % від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель (табл. 1).

Таблиця 1
Розподіл площ насаджень за типами лісу

Назва типу лісу	Площа	
	га	%
Свіжий дубово-сосновий субір	645,0	8,0
Свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд	3681,8	45,9
Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд	384,1	4,8
Волога грабово-соснова судіброва	484,6	6,0
Сирий чорновільховий сугруд	124,3	1,5
Свіжа грабова діброва	2369,1	29,5
Волога грабова діброва	202,4	2,5
Інші	130,4	1,6
Всього	8021,7	100,0

Розподіл кількості видів дерев є доволі різноманітним (рис. 2). Усього на території дослідного об'єкта в природоохоронних, наукових, історико-культурних лісах росте 18 видів дерев. Серед них найбільш поширеними є сосна звичайна (37,4 %) та дуб звичайний (38,4 %).

Частка бука європейського, модрина європейської, вільхи чорної, ялини європейської, дуба чер-

воного, ясен звичайного та берези повислої коливається від 1,0 до 3,7 % від загальної площі лісів.

Вікова структура насаджень на території дослідного об'єкта є різноманітною. Так, переважають середньовікові насадження – 57,4 % від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель. Частка стиглих, пристигаючих (по 13,4 %), молодняки (11,3 %) є майже рівномірною (табл. 2).

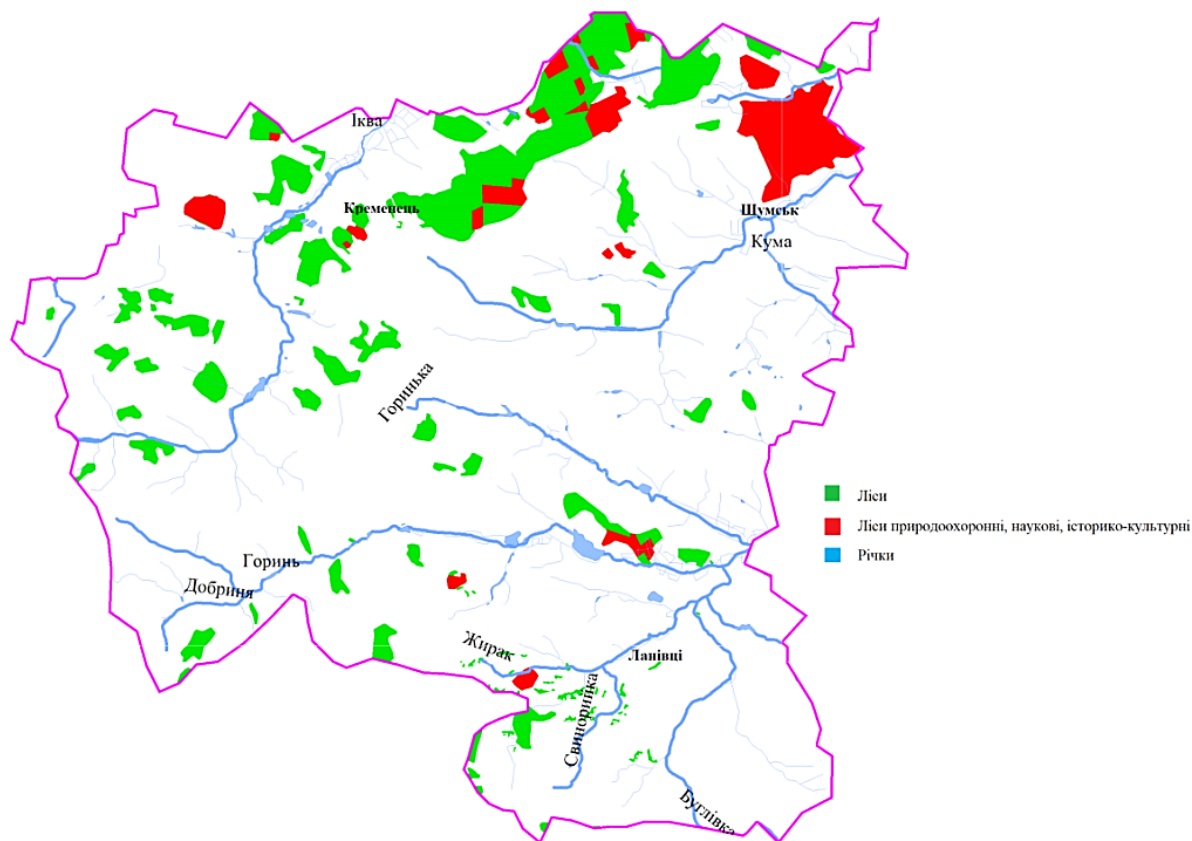


Рис. 1. Схема-карта природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів Кременецького району

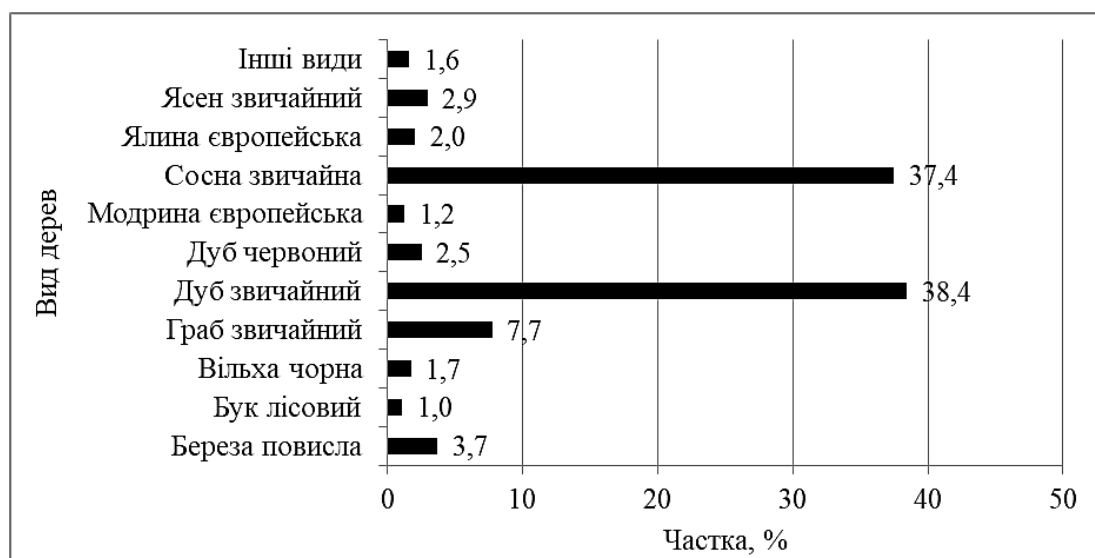


Рис. 2. Розподіл площ насаджень за видами дерев

Таблиця 2
Розподіл площ насаджень за групами віку

Групи віку	Площа	
	га	%
Молодняки	907,4	11,3
Середньовікові	4605,9	57,4
Пристигаючі	1077,4	13,4
Стигли	1074,1	13,4
Перестійні	356,9	4,4
Всього	8021,7	100,0

Розподіл площ насаджень за класами бонітету є доволі різноманітним (табл. 3). Так, домінують насадження I (38,9 % від загальної площі лісів), I^A (28,2 %) та II (17,0 %).

Таблиця 3
Розподіл насаджень за класами бонітету

Клас бонітету	Площа	
	га	%
I	3121,3	38,9
II	1364,9	17,0
III	486,3	6,1
IV	65,3	0,8
V	10,3	0,1
I ^A	2261,3	28,2
I ^B і вище	712,3	8,9
Всього	8021,7	100,0

Площа насаджень III і I^B класів бонітету варіює від 6,1 до 8,9 % від загальної площі лісів. Сума інших класів бонітету становить лише 2,1 %.

На території дослідного об'єкта розподіл насаджень за відносною повнотою є доволі різноманітним (рис. 3). Так, домінують насадження з відносною повнотою 0,71–0,8 (36,1 % від загальної площі лісів), 0,61–0,7 (27,7 %) та 0,81–0,9 (22,0 %).

Частка лісів з повнотою 0,21–0,3 і 0,51–0,6 коливається від 2,4 до 7,1 % від загальної площі лісів. Сума інших повнот сягає 4,6 %.

Висновки. Типологічна структура Кременецького представлена 17 типів лісу. Так, найбільшою часткою представлені: свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд – 45,9 %, свіжа грабова діброва становить 29,5 %.

Видове різноманіття насаджень представлено 18 видами дерев. Так, серед них переважають дуб звичайний (38,4 % від загальної площі вкритої лісовою рослинністю земель) та сосна звичайна (37,4 %).

Переважають насадження: середньовікові (57,4 %), високобонітетні (67,1 %) та штучного походження (58,8 %). Лісівничо-таксаційна і типологічна структура природоохоронних, наукових, історико-культурних лісів сприятлива, для вирощування високопродуктивних дубових та соснових насаджень.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати аналізу типологічної структури можна бути використати під час формування екологічної політики Тернопільщини, а також в освітньому процесі.

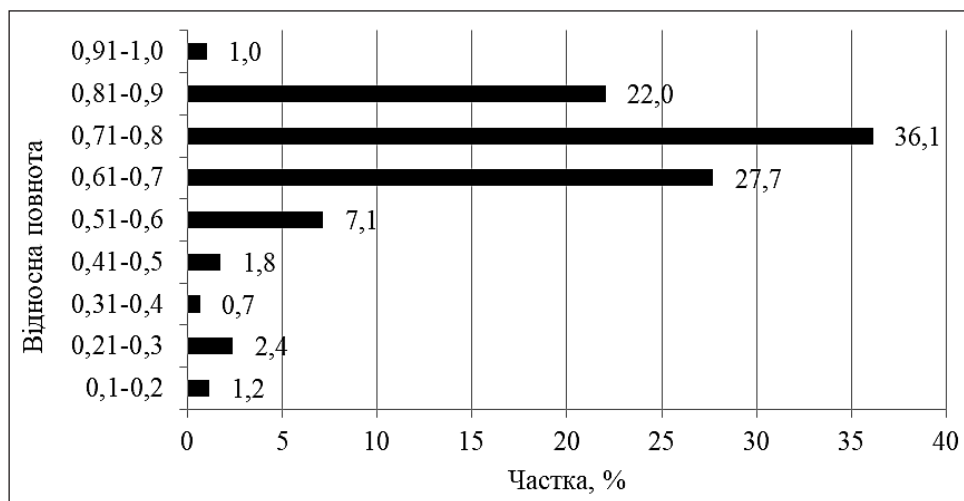


Рис. 3. Розподіл площ лісів за відносною повнотою

Література

- Бондар О. Б., Ткач Л. І. Типологічне різноманіття лісів на водозборах річок Лівобережного Лісостепу України. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions : Collective monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing". 2020. С. 18–35.
- Ведмідь М. М., Мешкова В. Л., Жежкун А. М. Алгоритм для виявлення земель малоцінних молодняків у дібровах за матеріалами лісовпорядкування. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2006. Вип. 110. С. 54–59.
- Мигунова Е. С. Лесная типология, школа В. В. Докучаева и вопросы географии Харьков, Новое слово, 2009. 126 с.
- Мусієнко С. І., Румянцев М. Г., Тарнопільська О. М., Лук'янець В. А., Бондаренко В. В. Стан і продуктивність дубових насаджень Лісостепу Харківщини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021, т. 31, № 5. С. 54–59. DOI: 10.36930/40310508

5. Назаренко В. В., Пастернак В. П. Закономірності формування типів лісу Лісостепу Харківщини : монографія. Харків : ХНАУ, 2016. 190 с.
6. Остапенко Б. Ф., Ткач В. П. Лісова типологія : навчальний посібник. Харків, 2002. 204 с.
7. Порядок поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок. Постанова Кабінету Міністрів України № 733 від 16 травня 2007 р. 12 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/733-2007-%D0%BF#Text> (дата звернення: 16.02.2022).
8. Сірук Ю. В., Печенюк Є. П., Чернюк Т. М. Типологічна структура та характеристика лісового фонду центрального полісся України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. 25 (10). С. 97–103. DOI: 10.15421/40251014
9. Ткач В. П. Заплавні ліси України. Харків : Право, 1999. 368 с.
10. Bondar O., Tsytsiura N. Recreational and health forests of Kremenets district, Ternopil region. *Збалансоване природокористування*. 2021. № 2. С. 80–87. DOI: 10.33730/2310-4678.2.2021.237994
11. Butzen V., Seeger M., Marruedo A., Jonge L., Wengel R., Ries B., Casper M. Water repellency under coniferous and deciduous forest – Experimental assessment and impact on overland flow, *Catena*, 2015, 133, P. 255–265. DOI: 10.1016/j.catena
12. Freundorfer A., Rehberg I., Law E., Thomas C. Forest wind regimes and their implications on cross-canopy coupling, *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. 279, DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.107696

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕБІГУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН СОЗОЛОГІЧНОГО СТАТУСУ В УМОВАХ ЗРОШУВАНОЇ КУЛЬТУРИ ДЕНДРОПАРКУ «АСКАНІЯ-НОВА»

Гавриленко Н.О.

Біосферний заповідник «Асканія-Нова» імені Ф. Е. Фальц-Фейна
Національної академії аграрних наук України
вул. Паркова, 15, 75230, смт Асканія-Нова
askania.park@gmail.com

У статті висвітлено феноритміку, сезонний ріст пагонів, екологічну стійкість та стійкість до впливу шкочинних організмів 20 видів деревних рослин європейського та світового созологічного статусу при культивуванні в дендрологічному парку «Асканія-Нова». Тривалість вегетації рослин становила від 183 діб у *Celtis occidentalis* L. до 277 діб у *Acer tegmentosum* Maxim. Це забезпечило їм проходження річного циклу розвитку в нових умовах вирощування при тому, що тривалість періоду з середніми температурами повітря вище 0 °C склала більше 300 діб. *Aesculus glabra* Willd., *Catalpa bungei* C. A. Mey, *C. speciosa* (Warder ex Barney) Warder ex Engelm., *Celtis australis* L., *C. caucasica* Willd., *C. sinensis* Pers., *C. occidentalis*, *Fraxinus americana* L., *Staphylea bumalda* DC. є рослинами середнього за тривалістю періоду вегетації, *Acer monspessulanum* L., *Armeniaca vulgaris* Lam., *Cercis siliquastrum* L., *Chimonanthus praecox* (L.) Link, *Corylus chinensis* Franch., *Fagus orientalis* Lipsky, *F. Sylvatica* L., *Rosa agrestis* Savi, *R. jundzillii* Bess. – тривалого, *Acer tegmentosum*, *Sambucus racemosa* L. – дуже тривалого. За термінами відновлення вегетації виділяються: рослини дуже раннього початку вегетації (лютий–початок березня) – *Acer monspessulanum* і *A. tegmentosum*, *Chimonanthus praecox*, *Corylus chinensis*; раннього початку (березень) – *Armeniaca vulgaris*, *Cercis siliquastrum*, *Celtis australis*, *C. caucasica*, *C. sinensis*, *C. occidentalis*, *Staphylea bumalda*, *Rosa agrestis*, *R. jundzillii*, *Sambucus racemosa*; середнього (квітень) – *Aesculus glabra*, *Catalpa bungei* і *C. speciosa*, *Fagus orientalis* і *F. sylvatica*, *Fraxinus americana*. Повний цикл розвитку пройшли 14 видів. Не цвіли *Fagus orientalis* Lipsky, *F. Sylvatica* L., *Acer tegmentosum*. Більшість інших видів досить ясно цвіли, але *Aesculus glabra*, *Armeniaca vulgaris*, *Rosa agrestis*, *Sambucus racemosa* мали порушення генеративної фази – низький ступінь зав'язування плодів. За сприятливих погодних умов, які склалися у 2021 році (тепла зима та два вологих періоди – у січні – квітні та червні – липні, що загалом обумовило найбільшу кількість опадів за останні 5 років – 568,4 мм) всі види виявили достатньо високу зимо- та посухостійкість. Втім, рослини раннього ритмотипу *Corylus chinensis* та *Chimonanthus praecox* через різке похолодання від 10 °C до –11,5 °C у лютому втратили генеративні органи (перший – повністю), перші розкриті квітки та, частково, генеративні бруньки (другий). Ушкоджень шкочинними організмами не спостерігали. **Ключові слова:** дендрологічний парк, зрошувана культура, сезонний розвиток, річний приріст пагонів, зимо- та посухостійкість.

Peculiarities of the life cycle of arboreal plants of sozological status in the conditions of irrigated culture of the dendrological park “Askania-Nova”. Havrylenko N.

The article highlights the phenorhythmics, seasonal growth of shoots, ecological resistance and resistance to pests of 20 species of arboreal plants of European and world sozological status when cultivating in the Dendrological Park “Askania-Nova”. The duration of plant vegetation ranged from 183 days in *Celtis occidentalis* L. to 277 days in *Acer tegmentosum* Maxim. This provided them for passing the annual development cycle in the new growing conditions, despite the fact that the duration of the period with average air temperatures above 0 °C was more than 300 days. *Aesculus glabra* Willd., *Catalpa bungei* C. A. Mey, *C. speciosa* (Warder ex Barney) Warder ex Engelm., *Celtis australis* L., *C. caucasica* Willd., *C. sinensis* Pers., *C. occidentalis*, *Fraxinus Americana* L., *Staphylea bumalda* DC. are plants of medium vegetation period, *Acer monspessulanum* L., *Armeniaca vulgaris* Lam., *Cercis siliquastrum* L., *Chimonanthus praecox* (L.) Link, *Corylus chinensis* Franch., *Fagus orientalis* Lipsky, *F. sylvatica* L., *Rosa agrestis* Savi, *R. jundzillii* Bess. are of long period, *Acer tegmentosum*, *Sambucus racemosa* L. are of very long period. According to the terms of vegetation restoration, the following are distinguished: plants of very early vegetation (February – early March) – *Acer monspessulanum* and *A. tegmentosum*, *Chimonanthus praecox*, *Corylus chinensis*; early vegetation (March) – *Armeniaca vulgaris*, *Cercis siliquastrum*, *Celtis australis*, *C. caucasica*, *C. sinensis*, *C. occidentalis*, *Staphylea bumalda*, *Rosa agrestis*, *R. jundzillii*, *Sambucus racemosa*; middle one (April) – *Aesculus glabra*, *Catalpa bungei* and *C. speciosa*, *Fagus orientalis* and *F. sylvatica*, *Fraxinus americana*. 14 species have passed the full cycle of development. *Fagus orientalis* Lipsky, *F. sylvatica* L., *Acer tegmentosum* did not bloom. Most other species bloomed quite abundantly, but *Aesculus glabra*, *Armeniaca vulgaris*, *Rosa agrestis*, *Sambucus racemosa* had disturbance of the generative phase, it means a low degree of fruit set. Under favorable weather conditions of 2021 (warm winter and two wet periods – in January – April and June – July, which generally caused the highest rainfall in the last 5 years – 568.4 mm), all species found a fairly high winter and drought resistance. However, plants of the early rhythm type *Corylus chinensis* and *Chimonanthus praecox* lost their generative organs (the first plant is completely), the second one lost the first opened flowers and, partially, generative buds due to the sharp cooling from 10 °C to –11.5 °C in February. No damage by pests was observed. **Key words:** dendrological park, irrigated culture, seasonal development, annual growth of shoots, winter and drought resistance.

Постановка проблеми. У дендрологічному парку загальнодержавного значення «Асканія-Нова» зібрано значну колекцію деревних інтродуцентів [1], в тім числі і рослин різного соцологічного статусу [2]. Їхнє тривале збереження в культурі та оцінка перспектив використання в різних сферах потребують дослідження адаптивних можливостей в нових умовах, передусім, ритмів розвитку рослин як ознаки відповідності певним природно-кліматичним умовам.

Актуальність дослідження. До досліджень було долучено 20 видів деревних рослин, які охороняються на світовому (*Acer tegmentosum* Maxim., *Aesculus glabra* Willd., *Armeniaca vulgaris* Lam., *Catalpa bungei* C. A. Mey, *C. speciosa* (Warder ex Barney) Warder ex Engelm., *Celtis caucasica* Willd., *C. Occidentalis* L., *Celtis sinensis* Pers., *Chimonanthus praecox* (L.) Link, *Corylus chinensis* Franch., *Fraxinus Americana* L., *Staphylea bumalda* DC., *Sambucus racemosa* L.), світовому та європейському (*Acer monspessulanum* L., *Celtis australis* L., *Cercis siliquastrum* L., *Fagus orientalis* Lipsky, *F. Sylvatica* L.) та європейському (*Rosa agrestis* Savi, *R. jundzillii* Bess.) рівнях [3]. Із них до категорії CR віднесено *Fraxinus americana*, DD – *Armeniaca vulgaris*, LC – решта видів. У дендрологічному парку «Асканія-Нова» їхніх детальних досліджень не проводили.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведено в рамках державної бюджетної науково-дослідної роботи «Збереження, збагачення та раціональне використання культивованої флори дендропарку «Асканія-Нова» на півдні України» (2021–2025 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вітчизняних публікаціях наведено відомості щодо випробовування окремих з означених видів в інших регіонах України. Найбільш розлогими дослідженнями були охоплені види *Catalpa* Scop., *Fagus* L., *Corylus* L. Проаналізовано успішність інтродукції, особливості цвітіння та плодоношення, описано насіннєве та вегетативне розмноження *Catalpa* в умовах культури у Правобережному Лісостепу України [4–7], досліджено морфогенез *Catalpa bungei* у культурі *in vitro* [8]. Підсумовано досвід інтродукції видів і форм *Fagus* в Україні [9–10]. За результатами різнобічних дослідницьких робіт у Національному дендрологічному парку «Софіївка» запропоновано використання *Corylus chinensis* у селекції фундука [11]. Охарактеризовано видовий склад інтродукованих в цьому дендропарку представників роду *Celtis* L. та вплив на їх життєдіяльність біотичних чинників [12–13]. Питання збереження та відновлення видів і форм *Aesculus* L. опрацьовувалися в дендрологічному парку «Тростянець» [14]. Оцінено перспективи культивування *Acer monspessulanum* на відвальних ландшафтах Кривбасу [15].

Метою роботи було з'ясування особливостей сезонного розвитку, росту пагонів, зимо- та посу-

хостійкості, стійкості до впливу шкочинних організмів 20 видів деревних рослин європейського та світового соцологічного статусу в умовах зрошуваної культури в дендрологічному парку «Асканія-Нова».

Новизна. Отримано відомості щодо перебігу життєвого циклу, сезонних ростових процесів, екологічної стійкості, впливу біотичних чинників для 20 видів рослин європейського та світового рівнів охорони, які раніше в умовах півдня України комплексно не досліджувалися.

Методологічне або загальнонаукове значення. Встановлені характеристики розвитку досліджених охоронюваних видів рослин в південному степу України можуть бути використані, при порівнянні з такими в інших регіональних природно-кліматичних умовах, для системного аналізу амплітуди їх адаптивного потенціалу. Разом з тим, вони є підґрунтям для прогнозування успішності збереження рослин та прийняття науково обґрунтованих рішень щодо методів їх утримання в культурі.

Методи роботи. У статті наведено попередні дані дослідження перебігу життєвого циклу 20 видів деревних рослин європейського та світового соцологічного статусу в умовах зрошуваної культури в дендрологічному парку «Асканія-Нова» у 2021 році. Сезонний розвиток рослин вивчали за загальноприйнятою методикою стаціонарних фенологічних спостережень [16], фенологічний лаг означували як період від початку цвітіння до повного дозрівання насіння [17]. Динаміку росту пагонів вивчали за методикою щодаєдних замірів величини зростаючих пагонів [18]. Річний приріст встановлювали заміром 25 пагонів з кожної модельної рослини після припинення росту. Зимостійкість, посухостійкість та стійкість до шкідників і хвороб визначали за уніфікованими шкалами оцінки цих характеристик, розробленими В. М. Меженським [19]. Обробку фактичних даних здійснювали за основними математико-статистичними методами, які застосовуються в біологічних дослідженнях [20], з використанням комп'ютерної програми MS Excel.

Виклад основного матеріалу. Особливості сезонного розвитку 20 видів деревних рослин європейського та світового соцологічного статусу відображено в таблиці 1.

За термінами відновлення вегетації виділяються: рослини дуже раннього початку вегетації (лютий–початок березня) – *Acer monspessulanum*, *A. tegmentosum*, *Chimonanthus praecox*, *Corylus chinensis*; раннього початку (березень) – *Armeniaca vulgaris*, *Cercis siliquastrum*, *Celtis australis*, *C. caucasica*, *C. sinensis*, *C. occidentalis*, *Staphylea bumalda*, *Rosa agrestis*, *R. jundzillii*, *Sambucus racemosa*; середнього (квітень) – *Aesculus glabra*, *Catalpa bungei*, *C. speciosa*, *Fagus orientalis*, *F. sylvatica*, *Fraxinus americana*.

За тривалістю вегетації вирізняються види: середнього періоду вегетації (180–200 діб) – *Aesculus*

Таблиця 1

Феноспектри сезонного розвитку рідкісних видів
європейського та світового соцологічного статусу

Вид	Лю- тий	Бере- зень	Кві- тень	Тра- вень	Чер- вень	Лип- пень	Сер- пень	Вересень	Жов- тень	Листопад
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
<i>Chimonanthus praecox</i> *										
<i>Chimonanthus praecox</i> **										
<i>Acer tegmentosum</i>										
<i>Acer monspessulanum</i>										
<i>Sambucus racemosa</i>										
<i>Corylus chinensis</i>										
<i>Rosa agrestis</i>										
<i>Rosa jundzilli</i>										
<i>Armeniaca vulgaris</i>										
<i>Cercis siliquastrum</i>										
<i>Fagus orientalis</i>										
<i>Fagus sylvatica</i>										
<i>Celtis australis</i>										
<i>Celtis caucasica</i>										
<i>Celtis sinensis</i>										
<i>Celtis occidentalis</i>										
<i>Staphylea bumalda</i>										
<i>Fraxinus americana</i>										
<i>Catalpa bungei</i>										
<i>Catalpa speciosa</i> (1)										
<i>Catalpa speciosa</i> (2)										
<i>Catalpa speciosa</i> (3)										
<i>Aesculus glabra</i>										
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
	Лю- тий	Бере- зень	Кві- тень	Тра- вень	Чер- вень	Лип- пень	Сер- пень	Вересень	Жов- тень	Листопад

Умовні позначки:

- ▤ – набухання вегетативних бруньок
- ▥ – ріст пагонів
- ▧ – бутонізація
- ▨ – цвітіння
- ▩ – плодоношення
- – листопад

(1) – район водонапірної башти

(2) – Показова галявина

(3) – Старий арборетум

* – освітлене місце зростання

** – затінене місце зростання

glabra, *Catalpa bungei*, *C. speciosa*, *Celtis australis*, *C. caucasica*, *C. sinensis*, *C. occidentalis*, *Fraxinus americana*, *Staphylea bumalda*; тривалого періоду вегетації (201–250 діб) – *Acer monspessulanum*, *Armeniaca vulgaris*, *Cercis siliquastrum*, *Chimonanthus praecox*, *Corylus chinensis*, *Fagus orientalis*, *F. sylvatica*, *Rosa agrestis*, *R. jundzilli*; дуже тривалого періоду вегетації (більше 260 діб) – *A. tegmentosum*, *Sambucus racemosa*. Загалом, тривалість вегетації рослин становила від 183 діб у *Celtis occidentalis* до 277 діб у *Acer tegmentosum*. Це забезпечило їм проходження річного циклу розвитку в нових умовах вирощування при тому, що тривалість періоду з середніми температурами повітря вище 0 °C у 2021 році склала більше 300 діб. Примітно, що чотири представники роду *Celtis* різного географічного походження (середньоземноморського, ірано-туранського, східноазійського, північноамериканського) вирізнялися дуже близькими показниками тривалості вегетації (за схожими термінами весняного пробудження) та цвітіння, але різниця у початку цвітіння найбільш рано квітучого *C. sinensis* та найбільш пізно квітучого *C. occidentalis* склала 1,5 місяці. Стосовно представників роду *Catalpa*, то коректно порівнювати особини східноазійського виду *C. bungei* та північно-американського *C. speciosa*, які ростуть у схожих умовах у старому арборетумі: вирізняючись майже одночасним початком і близьким завершенням вегетації, перша швидше проходила фази росту пагонів і цвітіння, мала менший фенологічний лаг.

За ранньовесняним ритмотипом розвиваються *Acer tegmentosum*, *Chimonanthus praecox*, *Corylus chinensis*, *Sambucus racemosa*. Ця обставина стала визначальною для репродукції деяких з них поточного року: внаслідок різкого погіршення погоди зі значним пониженням температури 12 лютого були пошкоджені генеративні бруньки у *Corylus chinensis* та бруньки і поодинокі квітки, що тільки-но з'яви-

лися, у *Chimonanthus praecox*, тож плодоношення у них виявилось одиничним. Таким воно було також у *Sambucus racemosa* та відсутнім у *Armeniaca vulgaris* при рясному цвітінні. Не цвіли *Acer tegmentosum* та *Fagus orientalis* – ймовірно, вони не досягли генеративного віку. Не цвів *F. sylvatica*, який перебуває у генеративному віковому стані. Фенологічний лаг від початку цвітіння до дозрівання насіння найменший у *Rosa agrestis* та *Sambucus racemosa* (89 та 99 діб, відповідно). Цей показник у інших видів становить від 141 доби (*Chimonanthus praecox*) до 193–201 доби (*Celtis caucasica*, *C. sinensis*). Дуже рясно плодоносили *Acer monspessulanum* і *Celtis occidentalis*. Принагідно зауважимо, що останній в умовах дендропарку сильно відрізняється від інших досліджуваних видів роду. В той час як ті представлені колекційними кількостями (*Celtis australis* – 4 ос., *C. caucasica* – 4 ос., *C. sinensis* – 10 ос.) [21–22], *C. occidentalis* складає потужну конкуренцію основним паркоутворювальним видам, позаяк є надзвичайно посухостійким та зимостійким, невибагливим до ґрунтів, не пошкоджується шкідниками та хворобами, регулярно і рясно родить, утворює чисельний життєздатний самосів і швидко росте, не суховершинить. Він присутній в паркових насадженнях від початку, але, якщо, за даними О. Л. Липи [23], у 1937 році він був «зрідка розкиданий» по всьому парку (нині – стара частина дендропарку, «старий парк» – прим. авторки), то відтоді його чисельність стрімко збільшувалася [24]. За результатами інвентаризації 2003 року, із 11 594 зареєстрованих тут дерев *C. occidentalis* було 2726 особин [25] (окрім підросту), або 23,5 % від їх загальної кількості. Тобто, він є високоадаптованим видом з потужним інвазійним потенціалом. Багато його самосійних рослин з'явилося в масивах нового парку, до складу яких він не входив.

Достатньо високий рівень плодоношення відзначали у *Catalpa bungei*, *C. speciosa*, *Cercis siliquastrum*, *Rosa jundzillii*, *Staphylea bumalda*. Слабким був урожай у *Aesculus glabra*, *Celtis australis*, *C. caucasica*, *C. sinensis* та у *R. agrestis* (на узліссі, що межує з ділянкою рідкісних трав) і дуже слабким – на експозиції паритетів.

Щодо впливу місцезростання на сезонний розвиток рослин, відзначимо, що цвітіння *Chimonanthus praecox* було трохи пізнішим і коротшим у затіненні. *Catalpa speciosa*, яка росте у напівтіні, зацвітала пізніше, ніж в місцезростаннях з кращою освітленістю, але загалом у трьох різних локаціях (напівтінь, повне освітлення) цвіла з порівнянною тривалістю. При порівнянні феноритміки *Chimonanthus praecox*, рослини якого ростуть за різних умов освітлення, виявлено, що вплив фоторежиму виявився різнонаправленим; він найбільше позначався на відновленні вегетації (5 діб), початку і закінченні росту пагонів (5 і 6 діб), які відбулися пізніше у більш тінистому місцезростанні, та на завершаль-

ній фазі цвітіння (7 діб) і повного осипання листя (8 діб), які зареєстровано раніше у більш тінистому місцезростанні.

Всім видам властивий одноразовий ріст пагонів та, за візуальними ознаками, добре їх визрівання. Втім, тривалий аномально вологий період спровокував наприкінці червня вторинний ріст пагонів у *Celtis occidentalis*; інші дослідні види *Celtis* його не мали. За показниками приросту пагонів, слабкорослими є *Catalpa bungei* та *Staphylea bumalda*, найбільш сильнорослими – *Fagus orientalis* та *F. sylvatica*. Приріст пагонів *Chimonanthus praecox* та *Catalpa speciosa* у тінистому місцезростанні виявився меншим, ніж у освітленому (табл. 2).

Таблиця 2

Річний приріст пагонів рідкісних видів

Вид	Приріст, см		
	макс.	мін.	сер.
<i>Acer monspessulanum</i> (CA)	19,8	7,2	13,7±0,8
<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.	18,3	3,5	11,0±0,8
<i>Aesculus glabra</i> Willd. (HA)	38,6	10,3	20,3±1,4
<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	42,4	8,6	22,3±1,7
<i>Catalpa bungei</i> C. A. Mey. (CA)	12,1	4,5	8,5±0,4
<i>Catalpa speciosa</i> (Warder ex Barney) Warder ex Engelm. (РВБ)	26,1	8,9	18,6±1,0
<i>Catalpa speciosa</i> (ПГ)	26,8	6,8	18,0±1,3
<i>Catalpa speciosa</i> (CA)	19,7	8,2	13,6±0,6
<i>Celtis australis</i> L.	23,5	6,8	16,5±0,9
<i>Celtis caucasica</i> Willd.	26,7	4,7	13,1±1,1
<i>Celtis occidentalis</i> L.	19,8	6,9	14,4±0,7
<i>Celtis sinensis</i> Pers.	18,4	6,2	13,0±0,7
<i>Cercis siliquastrum</i> L.	30,6	7,2	18,4±1,3
<i>Chimonanthus praecox</i> * (L.) Link	24,5	2,5	11,6±1,0
<i>Chimonanthus praecox</i> **	12,7	3,6	8,3±0,4
<i>Corylus chinensis</i> Franch.	32,7	13,2	20,9±1,0
<i>Fagus orientalis</i> Lipsky	48,7	7,2	19,1±2,1
<i>Fagus sylvatica</i> L.	49,9	2,4	18,0±2,1
<i>Fraxinus americana</i> L.	38,6	2,8	16,1±1,9
<i>Rosa agrestis</i> Savi	25,4	3,9	13,5±1,1
<i>Rosa jundzillii</i> Bess.	31,5	2,7	15,6±1,6
<i>Sambucus racemosa</i> L.	16,3	6,6	10,2±0,5
<i>Staphylea bumalda</i> DC.	12,4	1,8	6,2±0,6

Умовні позначки: * – освітлене та ** – затінене місцезростання рослини; CA – старий арборетум; HA – новий арборетум; РВБ – район водонапірної башти; ПГ – показова галявина.

За сприятливих погодних умов року всі види виявили достатньо високу зимо- та посухостійкість. Ушкоджень шкодочинними організмами не спостерігали.

Головні висновки. Встановлені показники сезонного розвитку 20 видів деревних рослин євро-

пейського та світового созологічного статусу, культивованих у дендропарку, свідчать про певний ступінь адаптованості більшості з них до регіональних природно-кліматичних умов. Для рослин, які розвиваються за ранньовесняним ритмотипом (передусім, *Corylus chinensis* та *Chimonanthus praecox*), відзначено ризики у розвитку генеративної сфери через втрату генеративних бруньок і квіток на тлі різких перепадів температури повітря в зимово-весняний період.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані попередні відомості щодо перебігу життєвого циклу досліджуваних видів європейського та світового созологічного статусу можуть бути використані як базові в подальших дослідженнях для визначення адаптивних реакцій рослин, впливу факторів довкілля на їх життєздатність, інтегральної характеристики в нових умовах зростання, прогнозування їх збереженості *ex situ* у південному степу, рекомендацій з утримання в культурі.

Література

1. Каталог рослин дендрологічного парку «Асканія-Нова» : довідковий посібник / А. Ф. Рубцов, Н. О. Гавриленко, Л. О. Слєпченко та ін. Асканія-Нова, 2012. 132 с.
2. Гавриленко Н. О. Раритетна складова інтродукованої флори дендропарку «Асканія-Нова». *Практичні аспекти збереження біорізноманіття південного степового регіону : збірник наукових праць*. Асканія-Нова, 2021. С. 131–135.
3. The IUCN Red List of Threatened Species : www.iucnredlist.org (2021-3).
4. Кульбіцький В. Л. Насіннєве розмноження *Catalpa speciosa* Ward. ex Engelm., *C. bignonioides* Walt., *C. ovata* Don. в умовах культури у Правобережному Лісостепу України. *Український державний лісотехнічний університет. Науковий вісник*. 2005. Вип. 15.1. С. 49–53.
5. Кульбіцький В. Л. Оцінка успішності інтродукції катальпи в умовах культури Правобережного Лісостепу України. *Національний лісотехнічний університет України. Науковий вісник*. 2006. Вип. 16.3. С. 21–25.
6. Кульбіцький В. Л. Особливості квітання та плодоношення видів роду катальпа (*Catalpa* Scop.) у Правобережному Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.6. С. 196–201.
7. Кульбіцький В. Л., Шлапак В. П. Коренетворна здатність здерев'янілих живців видів роду *Catalpa* Scop. в умовах Правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.6. С. 58–64.
8. Небіков М. В., Кульбіцький В. Л., Парубок М. І. Морфогенез *Catalpa bungei* С. А. Mey у культурі *in vitro*. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Серія Біол.* 2011. № 1 (46). С. 44–47.
9. Козлов В. Г., Гарбуз В. Ф. Колекція рослин з родини Fagaceae Dumort. в дендропарку «Софіївка» НАНУ. *Ботанические сады – центры сохранения ботанического разнообразия мировой флоры*. Ялта : ГНБС, 1995. С. 151–152.
10. Козлов В. Г. Опыт интродукции видов и форм бука на Украине. *Zabikowe ogrody oraz problemy ich ochrony : Materialy z Międzynarodowego Sympozjum Bolestraszyce 22–24 wrzesień 1994*. Bolestraszyce, 1995. S. 141–148.
11. Косенко І. С., Опалко А. І., Балабак О. А., Опалко О. А. Використання ліщини китайської (*Corylus chinensis* Franch.) у селекції фундука (*Corylus domestica* Kos. et Opal.). *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2020. Т. 27. С. 113–118.
12. Рум'янков Ю. О. Аналіз видового складу інтродукованих видів роду *Celtis* L. в дендропарку «Софіївка». *Бюлетень державного Нікітського ботанічного саду*. 2004. Вип. 89. С. 34–38.
13. Рум'янков Ю. О. Ступінь пошкодження омелою (*Viscum album* L.) видів роду *Celtis* L. у насадженнях Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України. *Автохтонні та інтродуковані рослини*. 2010. Вип. 6. С. 42–45.
14. Ільєнко О. О., Смілянець Н. М., Машковська С. П. Збереження та відновлення видів і форм роду *Aesculus* L. у старовинному ландшафтному парку. *Інтродукція рослин*. 2008. № 1. С. 90–95.
15. Бровко Ф. М., Бровко Д. Ф. Перспективи культивування клена монпельйського на відвальних ландшафтах Кривбасу. *Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропогену : тези доп. учасників міжнародної науково-практичної конф.* (6–8 листопада 2019 р., м. Київ). Київ, 2019. С. 117–118.
16. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / Главн. бот. сад АН СССР. Москва : ГБС АН СССР, 1975. 27 с.
17. Булыгин Н. Е. Дендрология. 2-е изд., перераб. и дополн. Ленинград : Агропромиздат, 1991. 352 с.
18. Плотнокова Л. С. Программа наблюдений за общим и сезонным развитием древесных растений при их интродукции. *Опыт интродукции древесных растений*. Москва : Наука, 1973. С. 80–85.
19. Меженський В. М. Уніфікування шкал оцінок, що застосовуються при інтродукції деревних рослин. *Інтродукція рослин*. 2007. № 4. С. 26–37.
20. Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике. Москва : Наука, 1990. 296 с.
21. Рубцов А. Ф. Проект реконструкції насаджень покритонасінних рослин старого арборетуму. Асканія-Нова, 2019. С. 8–9.
22. Рубцов А. Ф. Проект реконструкції насаджень покритонасінних рослин нового арборетуму. Асканія-Нова, 2020. С. 26–27.
23. Рубцов А. Ф., Гавриленко Н. О. Ретроспективний аналіз структурних змін деревостанів старої частини дендропарку «Асканія-Нова». *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2001. Т. 3. С. 29–37.
24. Липа О. Л. Ботанічний парк в Асканія-Нова. *Журнал Інституту ботаніки АН УРСР*. 1939. № 20 (28). С. 165.
25. Рубцов А. Ф. Відновити порушені культурфітоценози дендропарку «Асканія-Нова» з використанням інтродуцентів, розробкою агротехніки прискореного розмноження та вивчення біологічних особливостей екзотів. *Інтродукція нових та рідкісних видів декоративних рослин для збагачення культивованої флори і використання в паркобудівництві та озелененні на півдні степової зони України : звіт про науково-дослідну роботу (заклучний). Біосферний заповідник «Асканія-Нова»*, 2005. № ДР 0101U000782. С. 49–50.

ВІКОВА СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦІЙ ГОЛОВНИХ ПАРКОТВІРНИХ ВИДІВ В ФІТОЦЕНОЗАХ ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ» НАН УКРАЇНИ

Драган Н.В., Бойко Н.С., Дойко Н.М., Плескач Л.Я., Мордатенко І.Л.
Державний дендрологічний парк «Олександрія»
Національної академії наук України
м. Біла Церква, 09113
ninapark@ukr.net

Подано результати вивчення вікової структури головних ценоутворювачів дендрологічного парку «Олександрія» НАН України: *Fraxinus excelsior* L., *Acer platanoides* L., *Acer campestre* L., *Tilia cordata* Mill., *Carpinus betulus* L. Особливостями досліджень є те, що вони проводилися в ботанічній установі, яка належить до природоохранного фонду України, генофонд рослин якої внесений до переліку наукових об'єктів, що становлять Національне надбання України.

Базові вікові спектри найпоширенішого в парку виду *Acer platanoides* в більшості екоотопів характеризуються як нормальні повночленні з переважанням рослин молодших вікових груп. Відмічається чітка закономірність в зниженні в насадженнях відсотку дерев старших вікових груп – пристигаючих, стиглих і перестиглих. В переважній більшості екоотопів домінують жердняки (від 50 до 78 %), в окремих екоотопах – молоді (до 79 %) або середньовікові (46 %).

Значна частина ценопопуляцій *Fraxinus excelsior* має неповночленну структуру. В більшості екоотопів відсутні молоді рослини, або їх кількість незначна. В багатьох місцезростаннях в популяціях *F. excelsior* відсутні рослини старших вікових груп, або ж їх є одиниці. Виявлені ділянки, в тому числі в техногенно забруднених екоотопах, де *F. excelsior* активно займає територію, про що свідчить переважання в популяції молодих рослин (79 %). На даний час в віковій структурі *F. excelsior* відбуваються стрімкі перебудови в зв'язку з його масовим відпадом від халарового некрозу.

У *Acer campestre* повночленна нормальна вікова структура характерна для більшості ландшафтних ділянок, проте в багатьох місцезростаннях відсутні рослини старших вікових груп. У даного виду на багатьох ландшафтних ділянках у великій кількості присутні молоді рослини (38–49 %).

Найбільш мінливу вікову структуру має *Tilia cordata*. Повночленна вікова структура спостерігається в окремих великих за площею екоотопах дібровного і недібровного типу з великою кількістю дерев *T. cordata*. В більшості місцезростань відсутні молоді рослини, або їх кількість несуттєва. В окремих екоотопах *T. cordata*, показала себе як конкурентоздатний вид, сформувавши великий екотон в віковій діброві з молодих рослин (28 %), жердняків (50 %) і середньовікових рослин (12 %) і витісняє *Quercus robur* L.

Carpinus betulus L. має повночленні ценопопуляції в великій кількості екоотопів. В окремих місцезростаннях має значні кількості молодих рослин, жердняків від материнських рослин штучних насаджень, в інших екоотопах відтворення відсутнє при великій кількості материнських рослин.

Дослідження для вивчення взаємодії і динаміки видів в фітоценозах, сукцесійних процесів в насадженнях. **Ключові слова:** дендропарк «Олександрія», екоотопи, головні паркотвірні види, популяції, вікова структура.

Age structure of populations of the main parkforming species in phytocenoses of the “Olexandria” denrological park of the NAS of Ukraine. Dragan N., Boiko N., Doiko N., Pleskach L., Mordatenko I.

The results of studying the age structure of the main park-forming species of the “Olexandria” Dendrological Park of the National Academy of Sciences of Ukraine: *Fraxinus excelsior* L., *Acer platanoides* L., *A. Campestre* L., *Tilia cordata* Mill., *Carpinus betulus* L. are presented. The peculiarities of the research are that before it was conducted in the botanical organization, which belongs to the nature reserve fund, the genepool of plants of which is included in the scientific objects that are the national heritage of Ukraine.

The basic age spectra of the most widespread in the park of species *Acer platanoides* in most ecotopes are characterized as normal full members with a predominance of plants of younger age groups. There is a clear pattern in reducing the part of trees in the stands of older age groups – ripening, ripe and overripe. The dominants in the majority of ecotopes were the pole stands (from 50 to 78 %), in some ecotopes – young (up to 79 %) or middle-aged (46 %).

The large part of the coenopopulations of *Fraxinus excelsior* have the incomplete structure. Most ecotopes do not have the young plants, or their number is insignificant. In many habitats in the populations of ash there are no plants of older age groups, or have units. We have identified areas, including polluted ecotopes, where *Fraxinus excelsior* actively occupy the territory, as evidenced by the predominance in the population of young plants (79 %). At present, the age structure of the ash is undergoing rapid changes due to its significant loss from halar necrosis.

The *Acer campestre* had the full-part normal age structure in most landscape areas, but in many habitats there are no plants of older age groups. This species has a large number of young plants (38–49 %) in many landscape plots.

Tilia cordata has the most variable age structure. The full-part age structure is observed in some large ecotopes of oak and non-oak types with a large number of trees of lime. In most habitats there are no young plants, or their number is insignificant. In some ecotopes, the lime trees displaces the oak, forming a large ecotone in the age-old oak from very young plants (28 %), pole stands (50 %) and middle-aged plants (12 %).

Carpinus betulus has full-part coenopopulations in the large number of ecotopes. In some habitats it has significant quantities of young plants from mother trees of artificial stands, in other ecotopes reproduction is absent with the large number of mother plants.

Research are basic for studying the interaction and dynamics of species in phytocenoses, successional processes in stands. **Key words:** the "Olexandria" Dendrological Park, ecotopes, main park-forming species, populations, age structure.

Постановка проблеми. Однією з ключових характеристик популяцій деревних рослин, є їх вікова структура [2; 4]. Вікова структура насаджень визначається біологічними особливостями виду, екологічними характеристиками екотопу [2; 7], різноманітними порушуючими стрес-факторами [9; 12; 15]. Дослідження вікової структури популяцій дають можливість встановити еколого-фітоценотичні стратегії видів, їх конкурентоздатність в різних за складом і структурою угрупованнях, дозволяють встановити їх динаміку, характер внутріпопуляційної взаємодії [3; 13].

Актуальність дослідження. Значна частина території державного дендропарку «Олександрія» НАН України представлена природними і квазіприродними насадженнями, де домінантними видами є цінні види місцевої флори. Тривалий час популяції цих видів співіснували, як складна комплементарна система, з ефективним відновленням, підтриманням оптимального вікового складу. Господарська діяльність в минулому, порушення цілісності природних насаджень запустили повільний, але незворотній деструктивний процес. Катастрофічні результати для фітоценозів парку стали проявлятися внаслідок стрімких змін клімату, осередків масового розмноження шкідників, спалаху небезпечних хвороб, біологічних інвазій. В ланцюгу негативних наслідків особливо очевидними стали порушення вікової структури головних паркотвірних видів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Генофонд рослин державного дендрологічного парку «Олександрія» НАН України внесено до переліку об'єктів, що становлять Національне надбання України [6]. Вивчення структурної організації і закономірностей розвитку ценопопуляцій деревних рослин дендропарку «Олександрія», виявлення змін в розподілі угруповань видів з різними діапазонами інтервалів екологічної валентності по екотопах парку у зв'язку з загрозами зміни клімату та біологічними інвазіями чужоземних видів дендрофільних комах та фітопатогенних організмів, входить до основної наукової тематики дендропарку (0118U003559).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі, зокрема і в Україні, представлено велику кількість досліджень з вікової структури популяцій видів рослин різних життєвих форм [1; 2; 9]. Вікова структура лісових деревних насаджень висвітлена в ряді праць [7]. Вивчалися ізольовані лісові культури [8], основні ценоутворювачі в субклімаксових і клімаксових лісах [10; 11; 13; 14]. Ряд вчених виділяють галузь демографія рослин

і досліджують зміни вікових показників у відповідь на зміни зовнішнього середовища [12; 14].

Виділення невирішених раніше частин з загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідження вікової структури у порівнянні з розмірною та віталітетною, відрізняється значними методичними складностями, у зв'язку з чим цей аспект структурної організації залишається найменш вивченим. Незважаючи на те, що проблема піднімається багатьма дослідниками, дані про структуру популяцій деревних рослин неповні. Недостатньо досліджені структури популяцій деревних рослин, які є основними ценоутворювачами. Дуже мало інформації про зміни вікової структури популяцій деревних рослин в залежності від давності порушеності лісових угруповань [11; 14]. Особливої ваги набула необхідність вивчення динаміки структури популяцій головних ценоутворювачів в умовах зміну клімату, спалаху розмноження шкідників і осередків хвороб, біологічних інвазій.

Новизна

- Встановлення основних закономірностей структурної (вікової організації) ценопопуляцій головних паркотвірних видів в різних екотопах дендропарку «Олександрія» в умовах тривалої дії комплексу негативних факторів (господарська діяльність, рекреаційне навантаження, техногенне забруднення) та різких перебудов, викликаних змінами клімату та біологічними інвазіями.

- Розробка типології основних типів вікової структури видів-ценоутворювачів в екотопах дендропарку «Олександрія».

Методологічне або загальнонаукове значення. Досліджено ценопопуляції 5 головних паркотвірних видів: *Fraxinus excelsior* L., *Acer platanoides* L., *Acer campestre* L., *Tilia cordata* Mill., *Carpinus betulus* L., які розташовані у різних за екологічними характеристиками екотопах. Під час поділу деревостанів на вікові групи, ми використовували класи віку, як прийнято в лісівництві, беручи за основу 20-річний клас віку [3]. Для хвойних і твердолистяних порід насінневого походження – прийняті 20-річні класи віку (табл. 1).

Вікові стани рослин визначали за сукупністю морфологічних і кількісних ознак [3]. Вікову структуру популяцій визначали на основі співвідношень особин різних вікових станів. Такий методичний підхід є усталеним і застосовується більшістю вчених [2; 9].

Територія дендропарку «Олександрія» втратила монолітність ще при заснуванні парку і продовжувала диференціюватися упродовж його існування та розбудови. Всі дослідження ми проводили в межах окремих уособлених ділянок (кварталів) (рис. 1).

Викладення основного матеріалу. Фітоценоз – це структурно-функціональна система [3]. Одним з найважливіших показників фітоценозів є їх видовий склад. Рослини одного виду в фітоценозах утворюють ценопопуляції, які є основними структурно-екологічними елементами угруповання, формою пристосування виду до умов місцезростання. Рослини, які знаходяться в одному віковому стану, складають вікову групу. Співвідношення вікових станів рослин, властивих конкретній ценопопуляції, називають її віковим спектром, або спектром вікових станів. Віковий спектр може бути виражений

в абсолютних числах чи у відсотках від загальної кількості особин і представлений у вигляді таблиці, гістограми, чи графіка. Вивчення структури ценопопуляцій видів домінантів і едіфікаторів дає уявлення про адаптаційні можливості видів, про адаптацію рослин до специфічних умов екотопів антропогенного походження.

Нами встановлено, що загалом у дендропарку «Олександрія» кожний з досліджених видів має нормальну повночленну вікову структуру (табл. 2).

Проте, у різних місцезростаннях вікова структура кожного виду суттєво відрізняється. Для дендро-

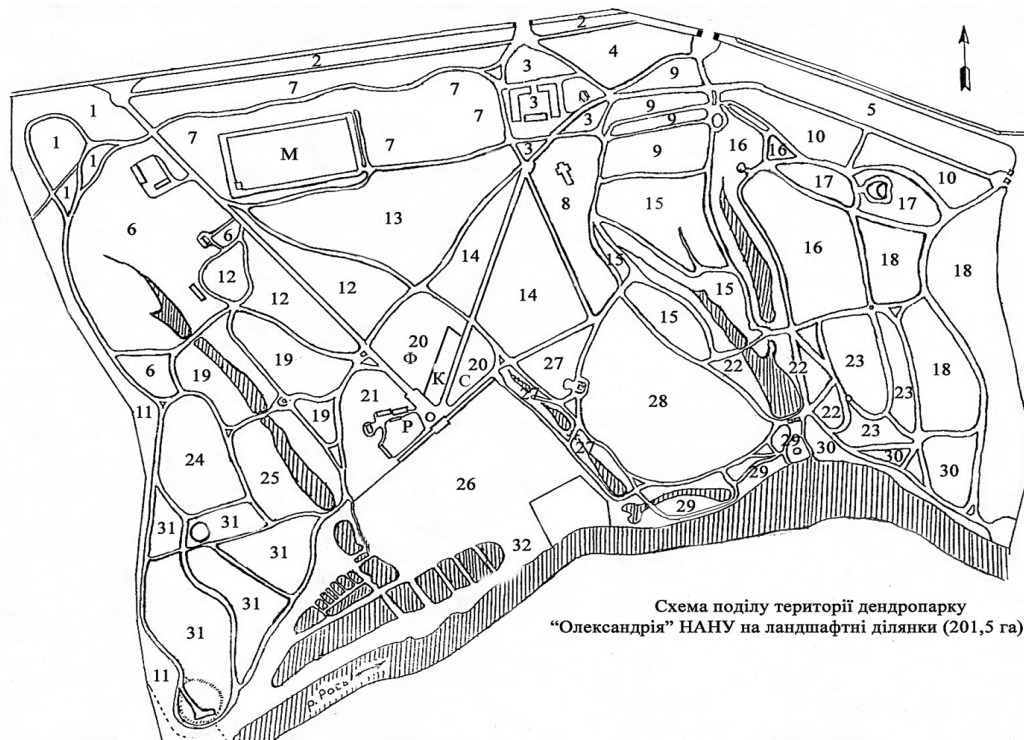


Схема поділу території дендропарку
«Олександрія» НАНУ на ландшафтні ділянки (201,5 га).

Рис. 1. Поділ території дендропарку «Олександрія» на ландшафтні ділянки

Таблиця 1

Вікові групи деревних рослин

Молодняки		Середньовікові		Пристигаючі	Стиглі		Перестиглі
Класи віку							
I	II*	III	IV	V	VI	VII	VIII
1–20	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120	121–140	114 і більше

* Для II клас віку використовують назву «жердняки».

Таблиця 2

**Вікова структура головних паркотвірних видів
на території дендропарку «Олександрія» НАН України**

Вид	Вікова група (екз./%)					Σ
	молоді	жердняки	середньовікові	пристигаючі	стиглі і перестиглі	
<i>Acer platanoides</i> L.	2630/34,5	4151/54,5	639/8,4	132/1,7	64/0,84	7616
<i>Acer campestre</i> L.	1291/34,9	1886/51,0	347/9,4	152/4,1	21/0,6	3697
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	406/10,7	2199/57,7	847/22,2	261/6,8	71/1,9	3811
<i>Tilia cordata</i> Mill.	225/10,3	1280/58,4	406/18,5	146/6,7	136/6,2	2193
<i>Carpinus betulus</i> L.	325/21,7	803/53,6	196/13,1	65/4,3	109/7,3	1498

парку має значення стратегія кожного виду на кожній ділянці, так як формує видову структуру, взаємозв'язки, естетичність і декоративність. Виживання кожного виду забезпечуватиме стабільність «обличчя» фітоценозу у кожному місцезростанні

Acer platanoides. У кількісному відношенні клен гостролистий домінує серед деревних рослин дендропарку «Олександрія» і зростає на всіх його ландшафтних ділянках. За окремим виключенням, всі насадження *A. platanoides* природного походження. Входить до складу вікової діброви як судомінантна порода в 1 – ярусах та до складу деревостанів на ділянках недібровного типу. На різних ландшафтних ділянках вікова структура суттєво відрізнялася.

Вікова структура популяцій *A. platanoides* в різних екотопах має свої відміни як за кількісним представленням вікових груп, так і за наявністю тих чи інших вікових груп в популяціях. В цілому по парку, і в більшості екотопів значно переважає група «жердняки» (від 50 до 78 %) в окремих екотопах – молоді (до 79 %) або середньовікові (46 %), з різним падінням кількості рослин в групах старших вікових груп. В окремих екотопах суттєво представлена група «молоді рослини».

Всі вікові групи в популяціях представлені на багатьох ландшафтних ділянках дібровного (кв. 6, 8, 14, 15, 19) і недібровного (4, 10, 23, екотони 28 кварталів) типу (рис. 2 А). В ряді екотопів насадження представлені популяціями *A. platanoides* 2–3 віковими групами молодших класів віку, або одинич-

ними екземплярами груп старших вікових груп. Це ділянки з природними насадженнями недібровного типу кв. 1, 30, 24 (рис. 2 Б, на прикладі кв. 30). В ряді місцезростань (кв. 9, 12, 17, 20) відсутні молоді рослини. В основному це ділянки парадні, з доглядом (рис. 2 В, кв. 9). В окремих екотопах, причому з різними екологічними умовами відмічається суттєве домінування молодих рослин, з добрим відновленням, з усіма віковими групами, або відсутністю лише стиглих і перестиглих у кв. 11, 14, 19 (рис. 2 Г, кв. 14).

Fraxinus excelsior. – одна з найцінніших деревних порід України. Повночленна вікова структура ясена у дендропарку «Олександрія» представлена лише на окремих ландшафтних ділянках – кв. 5, 7, локально кв. 18 (рис. 3 А, на прикладі кварталу 5), проте, окремі вікові групи в цих популяціях представлені поодинокими екземплярами. Значна частина екотопів у віковій структурі *F. excelsior* не має молодих рослин (кв. 3, 4, 17, 23, 30) (рис. 3 Б, на прикладі кв. 4). Молоді рослини відсутні в екотопах, раніше сприятливих для ясена, про що свідчить наявність там вікових груп старшого віку – кв. 3, 23 (рис. 3 В, на прикладі кв. 3). В багатьох екотопах (кв. 9, 10, 11, 16, 22, 30) молоді рослини ще є, але їх уже одиниці. В парку існують місцезростання, де *F. excelsior* активно завойовує території. Про це свідчить велика кількість молодих рослин, де не було старших, або їх одиниці (про відсутність їх там в минулому свідчить відсутність відпаду дерев *F. excelsior* протягом 20 років згідно актів вимітки) – це квартали 19

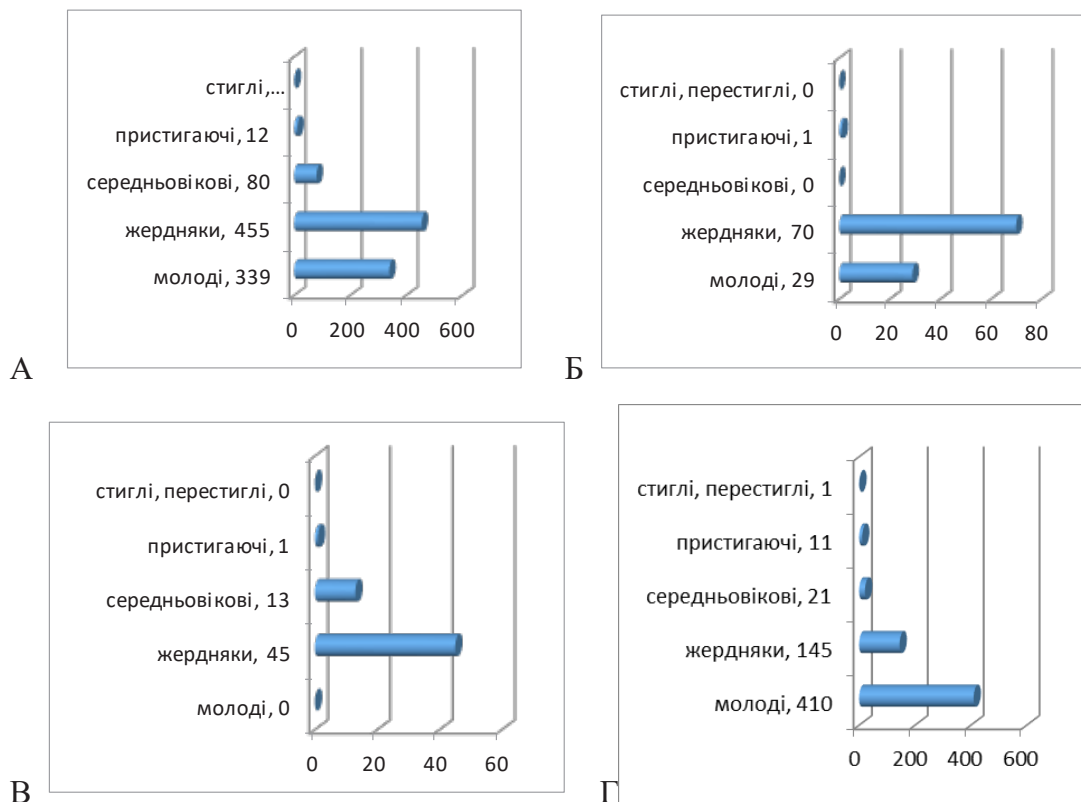


Рис. 2. Вікова структура ценопопуляцій *Acer platanoides* L.

(діброва), кв. 24 (екотопи галявини), локально в кв. 31. (рис. 3 В, на прикладі кв. 19). В значній кількості екотопів відсутні рослини старших вікових груп (кв. 2, 31, 30, 11, 4, 9, 16, 10, 19).

Acer campestre. У дендропарку «Олександрія» за кількістю рослин посідає 3 місце. Входить до складу вікової діброви (2 деревний ярус), зростає практично на всіх ландшафтних ділянках лісової структури недібровного типу. Всього в парку майже 4 тис. екз. Включає всі вікові групи, із значною часткою екземплярів старших вікових груп. На відміну від інших видів, популяції *A. campestre* мають повноцінну вікову структуру на багатьох ландшафтних ділянках парку дібровного (кв. 14, 15, 19) і недібровного типу (кв. 7, 22, 23). На багатьох ділянках (кв. 1, 10, 11, 18, 20, 27, 30) відсутні дерева старших вікових груп при домінуванні жердняків – 50–74 %. В цілому ряді екотопів (кв. 3, 6, 8, 13, 14, 16, 19, 20, 25, 31) популяції *A. campestre* містять значну долю молодих рослин – 33–49 %. Відсутні молоді рослини лише в окремих екотопах, різних за екологічними характеристикам (кв. 2, 12, 9).

Tilia cordata. Входить до складу вікової діброви дендропарку «Олександрія» як содомінантна порода. З її участі створено ряд ландшафтних композицій при заснуванні парку, де до цього часу зберіглася велика частка старовікових екземплярів. Популяції *T. cordata*, які містять всі вікові групи, причому

старші вікові групи природного походження, виявлені на окремих ландшафтних ділянках, проте великих за площею (кв. 6, 13, 15, 16, 31). Кількість молодих рослин в різних екотопах суттєво відрізняється, в основному ці групи представлені незначною кількістю екземплярів (0–6 %) при наявності рослин старших вікових груп (кв. 3, 5, 23). Очевидно, в цих місцезростаннях вже тривалий час відбуваються процеси, несприятливі для відновлення даного виду. В окремих кварталах (12, 18, 24, 30) насадження *T. cordata* представлені практично 1 віковою групою з одиницями екз. інших груп. В ряді екотопів (кв. 4, 9, 10, 20), де достатня кількість дерев старших вікових груп з рясним плодоношенням, відтворення не відбувається в наш час взагалі, і, очевидно, вже тривалий час, бо молодих рослин і жердняків дуже мало (3–5 %). У 14 кв. штучні насадження з липи створили потужний екотон з молодих рослин і жердняків (рис. 4 А) і *T. cordata* стала витісняти домінуючу породу – *Quercus robur* L. Подібні екотони *T. cordata* створила в кв. 12–13, 24. Такого ж віку насадження в кв. 5 і 10 не дали спалаху розмноження *T. cordata* (рис. 4 Б).

Carpinus betulus. Розподіл по дендропарку «Олександрія» переважно як у *Fraxinus excelsior*. У даного виду значна частка рослин штучного походження – це старовікові рослини у Центральній, палацовій частині парку, менше – в Східній частині.

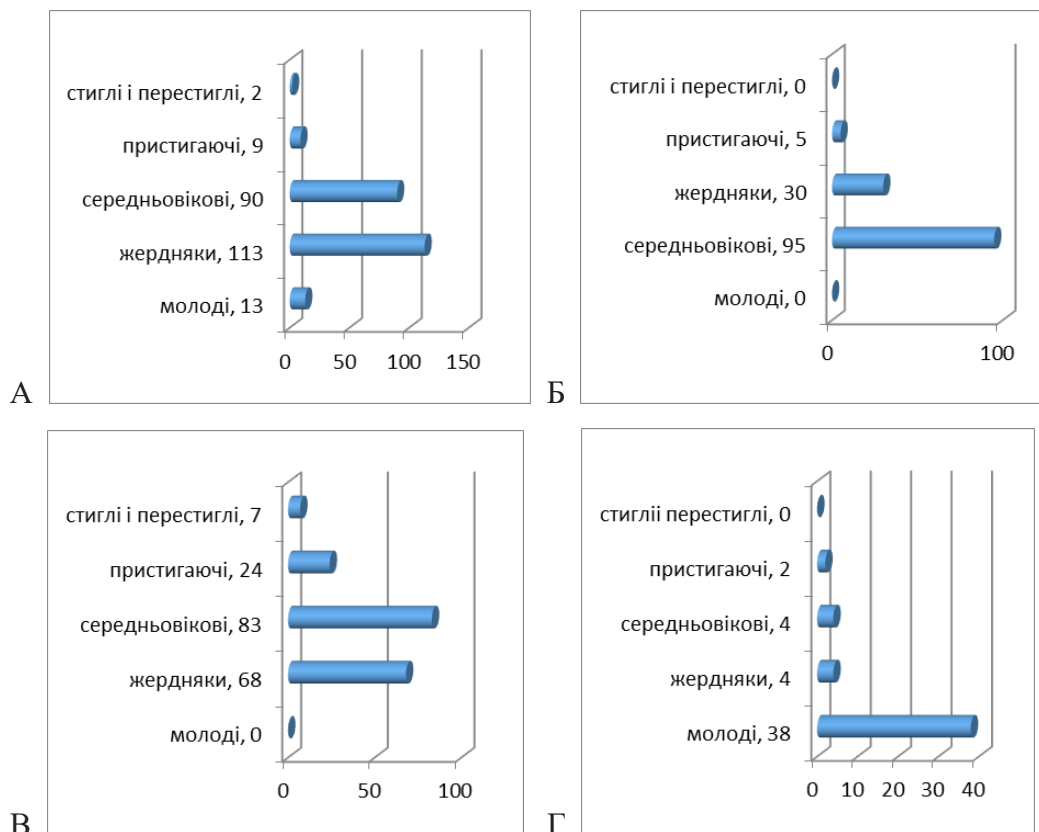


Рис. 3. Вікова структура популяції *Fraxinus excelsior* L. в фітоценозах дендропарку «Олександрія»

Велике рядове насадження в Західній частині парку (11 квартал), створене в 60-х роках минулого століття, зараз дало рясний самосів і створило різновікову популяцію (рис. 5 А). Не скрізь є умови для успішного відновлення *C. betulus*. Наприклад, в придорожньому насадженні (кв. 2), цього не відбулося, незважаючи на те, що там на відстані до 1 км також 150 років тому було створене рядове насадження (рис. 5 Б). Повночленні популяції знаходяться в цілому ряді ландшафтних ділянок: дібровного (кв. 15, 13) і недібровного типу (квартали 16, 22, 3, 4, 2).

Головні висновки. Таким чином, наші дослідження дозволили встановити вікову структуру ценопопуляцій головних паркотвірних видів дендропарку «Олександрія» на кожній ландшафтній ділянці природного і квазіприродного типу. Вікова структура різних видів в кожному екотопі суттєво відрізняється, як за наявністю тих чи інших вікових груп, так і за чисельністю самих груп. Найчисельнішою віковою групою у всіх видів у більшості екотопів, є жердняки. На багатьох ландшафтних ділянках ценопопуляції всіх видів мають неповночленну структуру. Головним чином, випадають старші вікові групи – стиглі і перестиглі. Проте, негативним явищем є відсутність у всіх видів в цілому ряді екотопів молодих рослин, що свідчить про пору-

шення відновлення даних видів. Найгірше відновлення відбувається в *Fraxinus excelsior* у Східній і Центральній частині парку, де йде масовий відпад *F. excelsior* внаслідок ураження халаровим некрозом. Разом з тим, у даного виду спостерігається успішне «захоплення» територій Західної частини парку, де раніше цей вид практично непоширювався. У даного виду спостерігається стрімка зміна вікового складу ценопопуляцій і є загроза повного зникнення даного виду з насаджень парку. Практично незадовільне відновлення зустрічається в наш час у *Tilia cordata*, про що свідчить незначна кількість молодих рослин в більшості екотопів. Разом з тим, в окремих місцезростаннях, *T. cordata* проявляє сильні конкурентні здібності і витісняє вид-ефікатор – *Quercus robur*.

Дані дослідження є базовими і не несуть повноцінного значення для прогнозування життєздатності і динаміки фітоценозів дендропарку «Олександрія». Для комплексного аналізу ми проводитимемо аналіз просторової структури ценопопуляцій головних паркотвірних видів, вікової структури з врахуванням всіх головних і другорядних видів, фітосанітарного стану насаджень, екологічної характеристики екотопів тощо. Дані дослідження є також підґрунтям для визначення динаміки, сукцесійних процесів фітоценозів дендропарку.

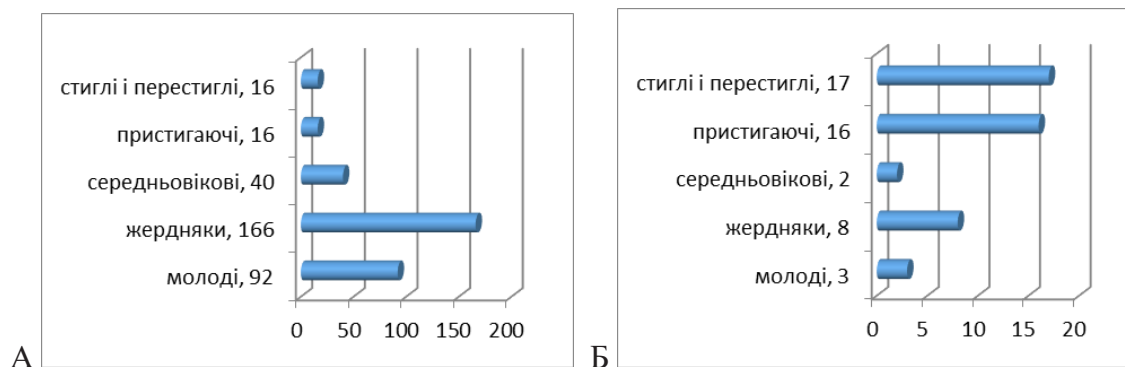


Рис. 4. Успішність відтворення *Tilia cordata* Mill. в окремих місцезростаннях
А – квартал 14; Б – квартал 5

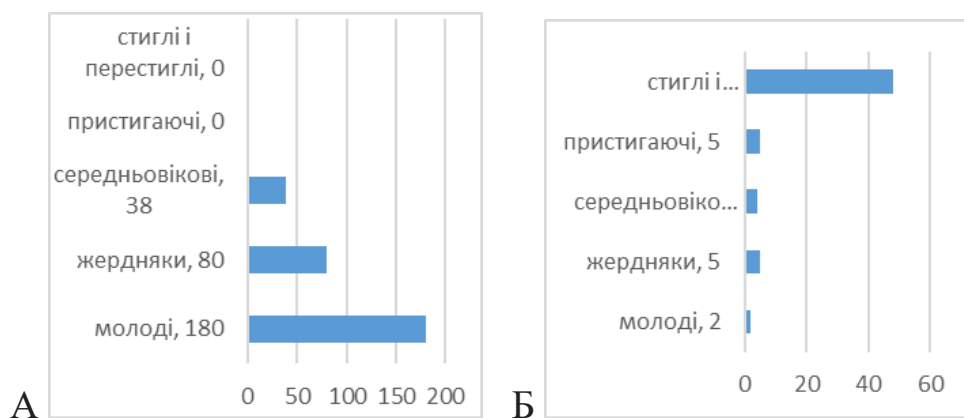


Рис. 5. Віковий спектр ценопопуляцій *Carpinus betulus* L. у А – кв. 11, Б – кв. 2

Література

1. Білонога В. М., Гинда Л. В., Данилик І. М. та ін. Механізми самовідновлення популяцій / за ред. Й. В. Царика. Львів : Сполом, 2014. 216 с.
2. Дідух Я. П. Популяційна екологія. Київ : Фітосоціоцентр, 1998. 192 с.
3. Дмитраш І. І., Шумська Н. В. Динаміка демографічних показників популяцій деяких видів родини *Orchidaceae* у Галицькому національному природному парку. *Вісник Харківського університету*. 2014. Т. 20. № 1100. С. 265–271.
4. Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Комаров А. С. и др. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М. : Наука, 1988. 184 с.
5. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы : Университетская книга, 2009. 263 с.
6. Кияк В. Г. Вікова й онтогенетична структура популяції у рослин – необхідність диференціації. *Вісник Львівського університету*. Серія біологічна. 2015. Вип. 70. С. 162–172.
7. Кияк В. Г. Малі популяції рідкісних видів рослин високогір'я Українських Карпат. Львів : Ліга-Прес, 2013. 248 с.
8. Малиновський К. А., Царик Й. В., Жияєв Г. Г. та ін. Структура популяцій рідкісних видів флори Карпат / за ред. К. А. Малиновського. Київ : Наук. думка, 1998. 176 с.
9. Мельник Т. І. Биоразнообразие и структура популяций рудеральных растений в урбанизированной среде : дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Сумы, 2005. 371 с.
10. Про внесення Генетичного фонду деревних, чагарникових, трав'янистих і квіткових рослин Державного дендрологічного парку «Олександрія» (м. Біла Церква Київської області) Національної академії наук України до державного реєстру наукових об'єктів, що становлять Національне надбання. *Постанова Кабінету Міністрів України № 472 від 19 серпня 2002 року*.
11. Работнов Т. А. Определение возрастного состава популяций видов в сообществе. *Полевая геоботаника*. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1964. Т. 3. С. 132–145.
12. Семечкин И. В. Динамика возрастной структуры древостоев и методы ее изучения. *Вопросы лесоведения*, 1970. Т. 1. С. 422–444.
13. Склад В. Г. Природне відновлення як механізм забезпечення функціонування лісових фітоценозів Лівобережного Полісся України (популяційні та еколого-ценотичні аспекти) : автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.05. Київ, 2015. 44 с.
14. Слєпих О. О., Коршиков І. І. Аналіз віталітетної, вікової структури та відносної продуктивності ізольованих районів місцезростань дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Донецькій області. *Вісник ОНУ. Біологія*. 2016. Т. 21. Вип. 2 (39). С. 61–75.
15. Смирнова О. В., Заугольнова Л. Б., Ермакова И. М. и др. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М. : Наука, 1976. 217 с.
16. Царик Й., Малиновський К., Жияєв Г. та ін. Стратегія популяцій рослин у природних і антропогеннозмінених екосистемах Карпат / за ред. М. Голубця, Й. Царика. Львів : Євровіт, 2001. 160 с.
17. Уранов А. А., Заугольнова Л. Б., Смирнова О. В. и др. Ценопопуляции растений. Развитие и взаимоотношения. М. : Наука, 1977. 134 с.
18. Ågren J., Zackrisson O. Age and size structure of *Pinus sylvestris* populations on mires in central and northern Sweden. *J. Ecol.* 1990. Vol. 78. P. 1049–1062.
19. Steijlen I., Zackrisson O. Long-term regeneration dynamics and successional trends in northern Swedish coniferous forest stand. *Can. J. Bot.* 1987. Vol. 65. P. 839–848.
20. Shipley B., Lechowicz M. J., Wright I. J., & Reich P. B. Fundamental trade-offs generating the worldwide leaf economics spectrum. *Functional Ecology*. 2006. P. 535–541.
21. Morneau C. S., Payette S. Postfire lichen-spruce woodland recovery at the limit of the boreal forest in northern Quebec. *Can. J. Bot.* 1989. Vol. 67. P. 2770–2782.
22. Treter U. Entwicklung der Vegetation und Bestandsstruktur auf Waldbrandflächen des Fenchten-Fichten-Waldlandes in Zentral-Labrador. Kanada. *Die Erde*. 1992. Bd. 123. P. 235–250.
23. Woodward F. I., Diament A. D. Functional approaches to predicting the ecological effects of global change. *Functional Ecology*, 1991. Vol. 5. P. 202–212.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 595.142:574]:001.891

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.16>

НАУКОВИЙ ПІДХІД ДО ВИВЧЕННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ КЛАСУ МАЛОЩЕТИНКОВИХ

Баштовенко О.А.

Ізмаїльський державний гуманітарний університет

пр. Суворова, 138, м. Ізмаїл

osiabasht@i.ua

Стаття присвячена важливим питанням, що мають велике значення у здійсненні навчального процесу з біології. У статті надана глибока, розширена характеристика представників класу Oligochaeta. Annelida знаходяться під пильною увагою людини, а останнім століттям і науковців. Особливо цікавою групою є представники класу Oligochaeta, а саме *Lumbricus terrestris* з його різновидами та гібридами. Останнім часом увага все більше привернута до можливості використання представників Oligochaeta в різних господарських галузях, але питання екологічного значення є найважливішим. Досить докладно висвітлено останні дослідження відносно ролі та використання представників, їх значення для забезпечення можливих потреб людини та збереження довкілля. Навчальний матеріал, що вивчають учні та студенти, повинен бути збагачений даними відносно сучасних досліджень та пошукувань, які розкривають не тільки відомості відносно окремих представників тваринного світу, а й висвітлюють глибинні зв'язки у біосферних взаємовідносинах, надають розуміння про місце людини в оточуючому світі. Виховання поняття про біологічну єдність живих організмів, взаємозалежність, необхідність взаємодіювання та використання без порушення екологічного балансу є ключовими питаннями біологічної освіти. Людина майбутнього має чітко розуміти стратегію сталого розвитку, яка формується в контексті ноосферної освіти. Вміння кваліфікованих вчителів біології здійснювати науковий підхід до вивчення біологічних об'єктів спирається на таку підготовку, що охоплює всі аспекти стосовно ролі і місця живих організмів, що вивчаються. Перспективним напрямом є формування наукового погляду на значення істот – супутників людини на прикладі класу Oligochaeta.

Такі підходи до навчання нададуть можливість переходу до ноосферної свідомості у забезпеченні сталого розвитку.

Ключові слова: тип кільчасті черви, дощовий черв'як, червоний каліфорнійський черв'як *Eisenia fetida*, ґрунт, екологія, регенерація, наукові дослідження.

Scientific approach to the study of representatives of the class oligochaeta. Bashtovenko O.

The article is devoted to important issues that are of great importance in the implementation of the educational process in biology. The article provides a deep, expanded description of the Oligochaeta class. Annelida are under the scrutiny of man, and in recent centuries by scientists. A particularly interesting group are the representatives of the class Oligochaeta, namely *Lumbricus terrestris* with its varieties and hybrids. Recently, more and more attention has been drawn to the possibility of using Oligochaeta representatives in various economic sectors, but the issue of environmental importance is paramount. Recent research on the role and use of representatives, their importance for meeting human needs and preserving the environment is covered in great detail. The educational material studied by pupils and students should be enriched with data on modern research and searches, which reveal not only information about individual representatives of the animal world, but also highlight deep connections in biosphere relationships, provide insight into human place in the world. Educating the concept of biological unity of living organisms, interdependence, the need for coexistence and use without disturbing the ecological balance are key issues of biological education. The person of the future must clearly understand the strategy of sustainable development, which is formed in the context of noosphere education. The ability of qualified biology teachers to take a scientific approach to the study of biological objects is based on training that covers all aspects of the role and place of living organisms being studied. A promising direction is the formation of a scientific view of the importance of beings – human companions on the example of the class Oligochaeta.

Such approaches to learning will provide an opportunity to move to noosphere consciousness in ensuring sustainable development.

Key words: Annelida type, *Lumbricus terrestris* earthworm, red California worm *Eisenia fetida*, soil, ecology, regeneration, scientific research.

Постановка проблеми. Тип кільчасті черви надзвичайно цікава група тварин, вивчення якої є необхідною та важливою складовою підготовки майбутніх вчителів біології.

Особливості будови та характерні риси цього типу на прикладі представника класу малощетинкових – дощовому черв'яку вивчаються у закладах

загальної середньої освіти у циклі біологічних дисциплін. Досить непогано до розкриття цього питання підійшов автор підручника «Біологія» для 7 класу Соболев В. І. Завдяки високому науковому рівню, ерудиції, вмінню застосовувати пошук та експеримент, Валерій Іванович при розгляді цієї теми розкриває величезні можливості для вчителя і учнів у побудові

навчального процесу з застосуванням дослідницької діяльності та формуванні екологічного світогляду. Вдалий підбір навчального контенту, правильні орієнтири на фундаментальну складову, науковий підхід, дозволяють учителю окреслити навчальну діяльність у контексті сталого розвитку суспільства та сформувати ноосферну свідомість учнів.

Чим же цікавий цей тип тварин, які можливі перспективи використання представників та яке місце вони займають в своїй екологічній ніші поряд з людиною? Відповіді на ці питання – один з витоків формування ноосферного мислення учня.

Актуальною метою нашого дослідження є теоретичне обґрунтування важливості знань відносно вичаємих біологічних об'єктів, а саме класу малоштиткових у формуванні наукового світогляду, ноосферного мислення майбутніх фахівців біологів, що є складовими сталого розвитку суспільства.

У посібнику О. Ю. Мухіна, О. В. Антоненко досить добре визначено систематику типу кільчатих червів, що дозволяє сформувати повну уяву про розміщення таксономічних одиниць:

Тип Кільчасті черви або Вториннопорожнинні Annelida

Підтип Безпояскові Aclitellata

Клас Багатоштиткові черви Polychaeta

Підклас Рухливі Errantia Вид Нерейда Nereis pelagica

Підклас Сидячі Sedentaria

Вид Піскожил Arenicola marina

Підтип Пояскові Clitellata

Клас Малоштиткові Oligochaeta

Ряд Вищі олігохети Lumbricomorpha

Вид Дощовий черв'як Lumbricus terrestris

Клас П'явки Hirudinea

Ряд Щелепні п'явки Gnathobdellia

Вид Медична п'явка Hirudo medicinalis [1].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Досить тривалий час кільцеці знаходяться під пильною увагою людини, а останнім століттям і науковців. Особливо цікавою групою є представники класу малоштиткових, а саме дощовий черв'як з його різновидами та гібридами. Останнім часом увага все більше привернута до можливості використання представників малоштиткових в різних господарських галузях, але питання екологічного значення є найважливішим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед закордонних авторів, які проаналізували вплив дощових черв'яків на функції ґрунту та екосистеми, треба відмітити роботи Блуін М., Ходсон М. Е., Дельгадо Е. А., Бейкер Г., Бруссард Л., Батт К. Р., Дай Дж., Дендувен Л., Перес Дж., Тондог Дж. Е., Клузо Д., Брун Дж.-Дж. [1].

Пильну увагу до екології та систематики дощових черв'яків у Франції звернув Буше М. [3]. Роль популяції черв'яків при різних системах обробки

ґрунту в органічному сільському господарстві розкрито у напрацюваннях Пенье Ж., В'ан Ж. Ф., Каннаваціуло М., Лефевр В., Готронно Й., Бойзар Х. Swiss-Ukrainian Project [3; 4].

Докладно сучасні відомості відносно біології та екології дощових черв'яків надано Едвардсом С. А., Боленом П. Дж.

Інформативно про вплив пестицидів на популяцію дощових черв'яків представлено в огляді: Агрономія для сталого розвитку Céline Pelosi, Sébastien Barot, Yvan Capowiez, Mickael Hedde, Franck Vandenbulcke [5].

Важливий матеріал відносно впливу виробничих систем (біодинамічних, органічних і неорганічних) на популяцію дощових черв'яків в контексті органічного сільського господарства і садівництва докладно надали Pfiffner L., Mäder P. [6].

Проводили моніторинг ґрунтів на зараження сублетальними дозами металів та змішаними токсичними сполуками, Wang Y., Cang T., Zhao X., Yu R., Chen L., Wu C., Wang Q., та зробили висновки відносно біоаккумуляції цих сполук в тканинах тіл одного з представників малоштиткових – *Eisenia fetida* [7].

В теперішній час продовжуються наукові дослідження відносно вивчення життєздатності та спроможності *Eisenia fetida* допомагати в біоремедіації (збільшенні дощових червів у забруднених ґрунтах для можливості здійснювати розпад та мінералізацію забрудників для зниження небезпечності ґрунту, або його розшаруванням при нафтовому розливі або опрісненні (Zhang, Li, Sun, Zhang, Gong, Fu, Jia) [8].

Достатньо цікавими є дослідження Масленнікової О. В. та Єрофєєва В. В. екологічної проблеми, що стосується мегаполісів [9]. Проблема біологічного зараження оточуючого середовища яйцями гельмінтів домашніх тварин наразі є дуже актуальною. Хірано Т., Казуїоші Т. цікавили питання про відношення дощових черв'яків та забруднювачів ґрунту [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На наш погляд, серед великої різноманітності представників на особливу увагу заслуговують дощовий черв'як *Lumbricus terrestris* та червоний каліфорнійський черв'як – *Eisenia fetida*, які є достатньо цікавими об'єктами для комплексного вивчення у біології та мають великі перспективи у використанні для формування ціннісного погляду на співіснування живих об'єктів.

Новизна. Червоний каліфорнійський черв'як – *Eisenia fetida* *notrebut* особливої уваги. Взагалі, цей представник малоштиткових є дуже цікавим для досліджень, перспективним для господарської діяльності, медичної галузі, екології. Як об'єкт вивчення у курсі біології, може стати основою для формування ноосферної свідомості майбутніх фахівців.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розширення знань відносно деяких представників

класу малощетинкових, визначення їх місця поряд з людиною у біосфері та формування наукового бачення відносно використання живих об'єктів без порушення біологічної рівноваги.

Викладення основного матеріалу. Червоний каліфорнійський, колодовий, тигровий, червоний, панфіш, вігглер, форельовий – найбільш відомі назви цього виду. Він один з небагатьох, який піддається розведенню в штучних умовах. Назва каліфорнійський має історичний сенс, бо вперше в штаті Каліфорнія Сполучених Штатів Америки почалося інтенсивне культивування його у п'ятдесяті роки минулого століття. Серед різних видів отриманих в результаті селекції, повсюдно поширений і успішно відтворюється червоний черв'як, отриманий американцем Барретом, як результат селекції звичайного гнойового черв'яка. Будова його типова для кільчатих червів.

Майже 15 тисяч видів об'єдні у 3 класи. Важко назвати ще будь яку іншу групу тварин, систематика яких зазнала б таких трансформацій.

За часів Ліннея до червів відносили всіх тварин, які за своїми ознаками не відповідали жодному з відомих класів. Така мішанина з представників найпростіших, губок, кишковопорожнинних, молюсків, червів, існувала досить тривалий час. Але поступово ці тварини були обособлені та винайшли своє місце в окремому типі – кільчасті черви.

Про походження кільчеців існує декілька теорій, як годиться, їх започатковують від нижчих плоских червів. Про це свідчить ряд споріднених рис (наявна первинна порожнина тіла, протонефридії, ортогональна нервова система і на ранніх стадіях – сліпа кишка). Інша теорія визначає історію кільчеців від реброплавів, що також мають риси подібності. Центальною групою кільчастих червів вважаються багатощетинкові, від яких, у зв'язку з переходом до прісноводного та наземного способу життя, започаткували існування малощетинкові черви.

Оскільки кільчасті черв'яки мають м'яке тіло, їх скам'янілості зустрічаються рідко – в основному це щелепи та мінералізовані трубки, які виділяються деякими видами. Найстаріша відома скам'янілість датується приблизно 518 мільйонами років тому, яка відноситься до раннього кембрію. Викопних решток анелід з кембрію небагато, але деякі форми відомі, а за деякими ознаками, вони існували ще у докембрійському періоді. Наприклад у вендському періоді існувала спріггіна. У докембрійських червів не було щелеп, але був розвинутий хітиновий щелепний апарат, його рештки відомі як сколекодонти у вигляді зазубрених викривлених пластин від 0,3 до 3 мм. Частіше всього їх знаходять у відкладеннях ордовіку і девону. Фоссілізованих залишків червів дуже мало.

Деякі пізні скам'янілості едіакарського походження також вважають представниками кільчастих черв'яків.

Унікальна знахідка в Мароко (вапнякові пластинки віком 480–300 млн р.), довела, що Махеридії

представляли собою вимерлу групу кільчатих червів, у яких окрім звичайних парних придатків – пароподій з пучками щетинок, на спині розташовувалось чотири ряди вапнякових пластинок, що дозволяє припустити думку про еволюційну спорідненість кільчеців, брахіопод та молюсків [11]. Однак, у сучасних кільчаків не буває пластинок-мушель і поки не відомим залишалась будова м'яких тканин Махеридій, тому цей факт є сумнівним.

В одному з останніх журналів *Nature* палеонтологи США та Бельгії описали унікальний відбиток, винайдений у ранньо-ордовікських відкладеннях Марокко (вік знахідки – біля 480 млн р.). На відбитку добре видно не тільки характері для махеридій скелетні пластинки, а й деякі деталі м'якого тіла. Наприклад – пароподії, що несуть по два пучки тонких щетинок. У основі кожної пароподії з верхнього боку є потовщення, до яких прикріплюються скелетні пластинки.

Скелетні пластинки поріднюють махеридій з брахіоподами, та й з кільчатыми червами (*Annelida*) [11].

Ще одна кумедна істота *Orthrozanclus reburrus*, яка сполучає в собі риси двох других проблематичних кембрійських груп – халькієрийд і віваксид, яких визначали, то як примітивних молюсків, то як кільчатих червів. На думку дослідників, тварина здійснювала донний спосіб життя та плазувала на черевній стороні. Шипи та щетинки виконували захисну функцію, як і щиток передньої частини тіла. Молекулярні дані (порівняння ДНК), підтверджують спорідненість цих типів та об'єднуються в надтип *Lophotrochozoa* [12].

Що ж такого цікавого та унікального у сучасних представників анелід?

Кільчаті черви, незважаючи на примітивний зовнішній вигляд, досить складно організовані тварини. В основному вони вільноживучі.

Представників можна зустріти по всьому світу у водах будь-якої солоності та на суходолі. Серед них зустрічаються ектопаразити, мутуалісти, кровососні, активні і пасивні хижаки, падальники та фільтратори.

Але найбільшу увагу привернено до анелід, що переробляють ґрунт. До них відносять види малощетинкових, які в ґрунті можуть співіснувати у кількості від 50 до 500 особин на м².

Для кільчеців характерні загальні риси будови, але розміри їх можуть досить варіювати від 1 мм (*Neotenotrocha*) до 2–3 м (*Eunice*). Тіло посегментоване на кільця. Чисельність яких може бути від декількох до сотень. Шкірно-м'язовий мішок складається з незмінної кутикули, шкірного епітелію, повздовжніх та кільцевих м'язів. Є ще одна характерна ознака, що і дала назву класам малощетинкових та багатощетинкових – наявність щетинок, що виростають з кутикули. Крім того на кожному сегменті можуть бути примітивні кінцівки – пароподії, які разом з скороченням мускулатури дозволяють пересуватись та рухатись.

Для кільцеців характерним є наявність вторинної порожнини тіла – целома. Ця порожнина заповнена ціломічною рідиною, що і виконує роль внутрішнього середовища. Відносно постійний хімічний склад та біохімічні перетворення обумовлюють здійснення функцій життєдіяльності. Для представників характерні всі процеси життєдіяльності, але перебіг їх має характерні особливості.

Травний канал, хоч і наскрізний, але складається з трьох функціонально різних відділів: передня, середня (ектодермального) і задня кишка (ентодермального походження). Важливим є наявність слинних залоз у деяких видів.

Більшість видів мають замкнену кровоносну систему. Спинна та черевна судини з'єднані кільцевими судинами, що нагадують артерії та вени.

В залежності від типу дихальних пігментів (гемоглобін, або хлорокруодин), кров може бути відповідно, червоною або зеленою або безбарвною. Шкірне дихання властиве майже всім представникам, але у деяких (морських видів) наявні зябра на параподіях.

Органи виділення – парні мета нефридії в кожному сегменті. Нервова система дозволяє виокремити крупний ганглії як головний мозок, від якого відходить черевний нервовий ланцюжок. Кожний сегмент має свій нервовий вузол. Органи чуття у малощетинкових розвинені дещо менше ніж у багатощетинкових, але велика кількість чутливих клітин надає можливість здійснювати досить широкий спектр орієнтувальних рефлексів та пристосовувати для життєзабезпечення.

Прогресивною рисою у кільцеців можна вважати роздільностатевість, хоча, у деяких представників вторинно розвинутий гермафродитизм. Дуже цікавим є факт відносно тривалості життя. У різних представників вона варіює в термінах. Каліфорнійський черв'як живе в 4 рази довше «дикого» дощового, крім того він надзвичайно плодовитий.

Протягом 16 років життя *Eisenia fetida* регулярно копулює через кожні 7 днів, починаючи з 90-го дня життя, за умови, якщо підстилка має достатню температуру. Результатом перехресного запліднення двох особин є два пояски на кожну особину. Дозрівають вони через 14–21 добу. Фактором терміну дозрівання є також температура оточення. Середня кількість новонароджених особин біля 7 штук. Температура також визначає і статеву активність [13].

Статевозрілими *Eisenia fetida* стають на третьому місяці життя. Дві особини в рік можуть відтворити 1500 молодих особин.

Червоний каліфорнійський більш життєстійкий та активний, інтенсивніше переробляє корм. При переробленні 1 тонни субстрату можна отримати 600 кг біогумусу з приростом біомаси черв'яків до 100 кг. Південні регіони – надзвичайно підходять для цієї теплолюбної тварини. Деякі автори відмічають, що інстинкт самозбереження у цих тварин слабо

виражений і в холодну пору вони не спускаються на глибину, а скупчуються на глибинах, що промерзають і гинуть.

Ще одна характерна риса кільцеців, на що звернена пильна увага науковців – здатність до регенерації.

А. Е. Брем відмічав, що регенерація у малощетинкових кільцеців досягає значного ступеня. Тварини здатні регенерувати як свій головний так і хвостовий кінець. Іноді можна зустріти дощових черв'яків Y-подібної форми, що зумовлюється випадковим пораненням [14].

Поруч зі здатністю до регенерації у багатьох форм зустрічається здатність до поділу. У дрібних малощетинкових, наїд, позаду певного сегмента з'являється зона поділу в якій утворюється цілий ряд нових сегментів. Відстань між зоною поділу і переднім кінцем тварини визначається рядом внутрішніх і зовнішніх умов (температурою, наявністю кисню). У кожного виду певна кількість новоутворених сегментів перетворюється в головний кінець, що відділяється в результаті перешнуровування. Процес може тривати таким чином, що у деяких видів можна зустріти ланцюги, що складаються з 4–8 особин, які ще не відділилися.

У деяких видів (наприклад у аулофоруса) в особливо сприятливих умовах (наявність великої кількості їжі) на сегментах особин можуть утворитися додаткові ротові отвори по яким у подальшому може відбуватися утворення дочірніх клонів та відділення особин.

Надзвичайна чутливість представників малощетинкових черв'яків дає широкі можливості для здійснення дослідів та спостережень.

Доречно пригадати Ч. Дарвіна, який відмітив їх велике значення для людства. Чарльз Дарвін – перший дослідник, який науково-досліджував дощових черв'яків, надавав їх величезного значення відмітивши, що навряд чи є ще інші тварини, які мали б таке величезне значення в історії світу. У ті часи дощових черв'яків відносилися з упередженням та неповагою та навіть, ворожнечо. «Дощові черви, – говорить він, – зіграли в історії землі набагато більшу роль, ніж здається на перший погляд. Вони зустрічаються у досить значній кількості в усіх країнах з вологим кліматом і, у порівнянні з величиною свого тіла вони мають значну м'язову силу». У багатьох місцевостях Англії з кожного акра (0,405 гектара) ґрунту більше 10 тон сухої землі щорічно проходить через їх тіло та переміщується на поверхню. Так на протязі небагатьох років весь орний шар проходить через їх тіло. Внаслідок того, що старі трубки, ходи, які залишаються після життєдіяльності черв'яків, спадаються, ґрунт весь час знаходиться в рухові, часточки землі весь час зазнають тертя. Ці процеси ведуть до того, що нові пласти весь час піддаються дії вугільної кислоти, а також гумусовій кислоті. Кількість її збільшується від процесів перетравлення органічних решток

які поїдають дощові черви. Таким чином, ті часточки ґрунту, які утворюють поверхневий шар перегною (гумусу), знаходиться в умовах, особливо сприятливих для розщеплення і розпаду. Черви у найкращий спосіб готують ґрунт для росту рослин. Вони піддають ґрунт впливу атмосфери, просіюють ґрунт таким чином, що в ньому не залишається щільних мінеральних речовин, які нездатні поглинути рослини. Ґрунт у такому стані найбільш підготовлений для затримки вологи, для адсорбування всіх розчинних речовин, а також для утворення азотнокислих солей» [14].

Свого часу В. Гофмейстер описував: – «Дощовий черв'як належить до тварин, які найбільше переслідуються. Людина їх знищує, звинувачуючи у тому, що вони затягують в землю молоді рослини. Серед чотириногих тварин дощових черв'яків особливо переслідують кроти, землерийки та їжаки. Нескінченна чисельність видів птахів знищує їх, причому не тільки хижі, болотні та водоплавні, а також і зерноїдні птахи вважають дощових черв'яків рідкісним, смачним блюдом» [14].

Чарльз Дарвін все життя залишався експериментатором, що був багатим на ідеї. У власному будинку та теплицях здійснював досліди, які описав у багатьох розділах «Походження видів». У наш час деякі з них досить успішно можна повторити з учнями на шкільних уроках біології [15]. Останнім часом спостерігається справжній бум, що пов'язаний з технологією вермикультивування. Унікальні властивості цих тварин надають можливості не тільки для отримання вискоєфективних сільськогосподарських добрив, а й відкривають шлях до ветеринарії, фармацевтики, косметології, харчової промисловості, медицини. Нині став популярним вираз – «Дощові черви – джерело багатства» [16].

Наразі активне вивчення дощових червів розкриває можливості отримання біологічно активних речовин з яких виготовляють біологічно-активні добавки та ліки.

Досвід лікування відомий ще з середніх віків, коли в Європі ними лікували пневмонію та туберкульоз, але, як виявилось безуспішно. Але в Китаї та Індії ще й зараз їх використовують в народній медицині.

У деяких господарствах борошно з червів (вермикука) є кормом для тварин, бо це повноцінний білок [16; 17]. Черви *E. fetida* використовуються для компостування як побутових так і промислових відходів. З Європи, але (невідомо як) були завезені до всіх континентів [10]. А на початку 90-х років поодинокі партії контрабандного «червоного каліфорнійського гібрида», що виведений у 1959 році у Каліфорнійському університеті Томасом Джейсоном Барретом, були ввезені до України. Ключовою позицією доктора Т. Баррета була позиція, що спиралась на вчення Чарльза Дарвіна про роль дощових червів у ґрунтоутворенні

Землі «Дощові черви – творці ґрунту, все інше – рослини, тварини, людини і бактерії – є їжею для червів, функція яких полягає у змішуванні живої матерії з мінеральними часточками у кругообігу речовин. Проблема, що стоїть перед обличчям сучасної цивілізації на сьогодні полягає у відновленні ґрунту для виробництва продуктів харчування. В природі цей процес іде дуже повільно та вимагає від 500 до 1000 років для створення шару ґрунту товщиною в 1 дюйм. За словами доктора Баррета при сприятливих умовах за допомогою червів це можна зробити за п'ять років.

Які тільки випробування їм не готували: навіть використання в туалетах без змиву (Індія, Уганда, М'янма). Унікальні можливості ціломічної рідини, що має захисні клітини целомацити, що секретують білок лізенін (пороутворюючий токсин PFT). Він здатен проникати в клітини і розчиняти їх. Особливо добре він діє на чужорідні клітини, мембрани яких мають значну кількість сфінгомеліну. І цей механізм і той, що пов'язаний ще з одною речовиною – лісеніном, потребують подальшого вивчення.

Дуже цікавим є напрям моніторингу ґрунтів, які заражені сублетальними дозами металів та токсичних сполук, з використанням *Eisenia fetida*, оскільки вони акумулюють ці сполуки в тканинах [7] та гербіциди [18]. Та одночасно виникає проблема вилучення червів з накопиченими токсинами, оскільки вони мають створити ланцюг передачі токсинів по харчовим шляхам. Таким чином, ці проблеми відкривають шлях до вивчення суспільної поведінки червів, що є ще одним напрямом дослідження [19].

В Україні дуже пильна увага до вивчення *Eisenia fetida* як матеріалу для виробництва лікарської речовини, була привернута в Українській медичній стоматологічній академії (нині Полтавський державний медичний університет) у кінці ХХ та на початку ХХІ століття. Група науковців під керівництвом професора Катрушова О. В. та старшого наукового співробітника (нині професора Кайдашева І. П.) винайшли біологічно активну речовину, пептид, який вилучили з тканин *Eisenia fetida*. Пептидний препарат, що був названий «Вермілат», отриманий у Центральній науково-дослідній лабораторії був віднесений до низькомолекулярних регуляторних сполук (цитомединів). Велика кількість дослідників вивчали його властивості та вплив на регуляторні механізми живих організмів та патологічні стани [20].

Однією з найвагоміших характеристик була визначена його корекційна здатність метаболізму сполучної тканини Федотенкова Н. М. [21], Титар А. В. [22], Хміль Т. А. [23], Баштовенко О. А. [24], Фисун Ю. А., Грицай Н. Н., Катрушев А. В., Кайдашев І. П. [25].

Головні висновки. Підсумовуючи це невелике оглядове дослідження, ми дійшли розуміння відносно того, що людина, незважаючи на свою впливовість та, з її погляду, значущість на планеті, має надто

велику залежність від організмів, які знаходяться на значно нижчих сходинках життя. Виховання поняття про біологічну єдність живих організмів, взаємозалежність, необхідність взаємоіснування та дослідження є ключовим питанням біологічної освіти. Людина майбутнього, яка зараз ще тільки опановує закони життя та відповідальності, має чітко розуміти стратегію сталого розвитку, яка формується в контексті ноосферної освіти. Надзвичайно велике значення в розкритті цих питань надається кваліфікованим вчителям біології. Їх підготовка повинна бути такою, що охоплює всі аспекти стосовно ролі і місця живих організмів, що вивчаються. Перспективним

напрямом є формування наукового погляду на значення істот – супутників людини, і клас малощетинкові – один з них.

Перспективи використання результатів дослідження. Така невелика складова біорізноманіття планети, що представлена класом малощетинкові, але яка безліч можливостей для наукових перетворень та досліджень. Подальші розвідки у даному напрямі можливо спрямувати на створення дослідницьких шкільних та студентських наукових лабораторій з метою вивчення використання живих об'єктів для розширення знань відносно корисного співіснування живих об'єктів.

Література

1. Зоологія безхребетних: навчально-методичний посібник / укл.: О. Ю. Мухіна, О. В. Антоненко. Харків : ХНПУ імені Г. С. Сковороди, 2016. 148 с.
2. Блуін М., Ходсон М. Е., Дельгадо Е. А., Бейкер Г., Бруссаард Л., Батт К. Р., Дай Дж., Дендувен Л., Перес Дж., Тондог Дж. Е., Клуз Д., Брун Дж.-Дж. Огляд впливу дощових черв'яків на функції ґрунту та екосистеми. Європейський журнал ґрунтознавства, 2013. № 64. С. 161–182.
3. Пенє Ж., Віан Ж. Ф., Каннавасіуло М., Лефевр В., Готронно Й., Бойзар Х. Оцінка структури ґрунту в перехідному шарі між верхнім та нижнім шарами ґрунту, використовуючи основні методи обробки. Дослідження ґрунту та обробки ґрунту, 2013. 127 с.
4. Swiss-Ukrainian Project “Organic Market Development in Ukraine” Швейцарсько-український проект «Розвиток органічного ринку в Україні». Посібник, 2016. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fforprints.org%2Fid%2Fprint%2F33039%2F1%2FEarthworms-Architects_of_fertile_soils_UA.pdf&clen=842734&chunk=true
5. Céline Pelosi, Sébastien Barot, Yvan Capowiez, Mickael Hedde, Franck Vandenbulcke. Pesticides and earthworms. A review. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2014. 34 (1), pp. 199–228.
6. Pfiffner L., Mäder P. Effects of Biodynamic, Organic and Conventional Production Systems on Earthworm Populations. Biological Agriculture & Horticulture. An International Journal for Sustainable Production Systems, 2012. Volume 15, p. 1–4.
7. Wang Y., Cang T., Zhao X., Yu R., Chen L., Wu C., Wang Q. Comparative acute toxicity of twenty-four insecticides to earthworm, *Eisenia fetida*. Ecotoxicology and Environmental Safety. Volume 79, 1 May, 2012. Pages 122–128. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651311004738>
8. Zhang T., Li S., Sun X., Zhang Y., Gong X., Fu Y., Jia I. The Earthworm *Eisenia fetida* Can Help Desalinate a Coastal Saline Soil in Tianjin, North China. PLOS ONE Published online, December 23, 2015. URL: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0144709>
9. Масленникова О. В., Ерофеева В. В. Экспериментальное заражение дождевых червей *Eisenia fetida* инвазионными яйцами *Toxocara Catii*. Современные проблемы науки и образования. 2015. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22485>
10. Hirano T., Kazuyoshi T. Earthworms and Soil Pollutants. *Sensors* (Basel), 2011. 11 (12). URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3251976/>
11. Jakob Vinther, Peter Van Roy, Derek E. G. Briggs. *Machaeridians are Palaeozoic armoured annelids* // *Nature*, 2008. V. 451. P. 185–188.
12. Simon Conway Morris, Jean-Bernard Caron. *Halwaxiids and the Early Evolution of the Lophotrochozoans* // *Science*, 2007. V. 315. P. 1255–1258.
13. Слащин Ю. И. Размножение дождевых червей // *Арсентьевские вести*, 2007. № 1 / URL: <http://www.arsvest.ru/archive/issue750/garden/view11897.html>
14. Жизнь животных по А. Э. Брему под ред. проф. Л. А. Зенкевича (1948). Т. 1. М. : Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР. С. 327–332.
15. Чарлз Дарвин. Полное собрание сочинений. Образование растительного слоя Земли деятельностью дождевых червей и наблюдения над их образом жизни. Насекомоядные растения, изд. АН СССР, М.-Л. : 4, 1936. 476 с.
16. Малай С. А. Прибыльное разведение червей. Ростов н/Д : Владис., 2011. 192 с.
17. Медіна А. Л., Кова Я., Вьельма Р. А., Пуїч П., Карлос М. П. Імунологічний та хімічний аналіз білків дощового черв'яка *Eisenia foetida*. Харчова та сільськогосподарська імунологія, 2003. № 15, С. 3–4 URL: <https://doi.org/10.1080/09540100400010084>
18. Santadino M., Coviella C., Momo F. Glyphosate Sublethal Effects on the Population Dynamics of the Earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), 2014. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11270-014-2207-3>
19. Lara Zirbes, Yves Brostaux, Mark Mescher, Maxime Jason, Eric Haubruge. Self-Assemblage and Quorum in the Earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) Jean-Louis Deneubourg Published: March 1, 2012. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032564>
20. Баштовенко О. А., Кайдашев І. П., Боброва Н. О., Катрушов О. В., Іщейкін К. Є., Гречко О. А. Вивчення протизапальної дії пептидного комплексу «Вермілат». Клінічна фармація. Харків : УкрФА, 1999. 3, № 1. С. 109–112.

21. Федотенкова Н. М. Дозозалежний вплив поліпептидного комплексу вермілат на гемокоагулюючі та прооксидантні властивості тканин слинної залози інтактних тварин. Світ медицини та біології, 2017. № 2 (60). С. 164–168. URL: <https://womab.com.ua/ua/smb-2017-02/6672>
22. Титар А. В. Терапевтична ефективність препарату «Вермілат» при лікуванні запально-дистрофічних захворювань пародонта : автореферат дисертації на соискании учебной степени канд. мед. наук: спец. 14.00.21 «Стоматологія». Воронеж, 2012. 22 с.
23. Хміль Т. А. Застосування пептидного препарату «Вермілат» у комплексній терапії хворих пародонтитом : автореф. дис. ... к. мед. н. Полтава, 2001. 16 с.
24. Баштовенко О. А. Пептидная регуляция защитных систем крови в условиях нормы и в разные фазы экспериментального воспаления : дис. ... канд. биол. наук: 03.00.13., 1998. 144 с.
25. Фисун Ю. А., Грицай Н. Н., Катрушев А. В., Кайдашев И. П. Сравнительная характеристика терапевтической активности пептидных препаратов вермилат и кортексин при экспериментальной ишемии мозга. Геронтологические аспекты пептидной регуляции. СПб. : Наука. 1996. С. 83–84.

THE MORPHOLOGICAL VITALITY PARAMETERS OF *TRIFOLIUM PRATENSE* L. UNDER URBANIZED ENVIRONMENT CONDITIONS

Glibovytska N.I.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Karpatska str., 15, 76019, Ivano-Frankivsk
nataly.glibovytska@gmail.com

The morphological vitality parameters of *Trifolium pratense* under urbanized environment conditions are investigated. Species reproductive, assimilation, storage and habitual sphere are explored. The species population vitality index of generative organs, photosynthetic, root, habitual index are calculated. The scale for *Trifolium pratense* vitality assessing in urban areas conditions is proposed. The species heavy metals extraction, oil-remediant, medicinal and agricultural properties are analyzed. The greatest anthropogenic pressure on the species growth and development processes in the transport functional area of Ivano-Frankivsk ecological system is found. *Trifolium pratense* population is characterized by above-average vitality in the area of complex landscaping (II class of vitality), below-average vitality in the housing area (IV class of vitality), low vitality in the transport area (V class of vitality). Reproductive system of *Trifolium pratense* is more stable and well adapted to environmental stressful influence than the vegetative one. It indicates that under unfavourable environmental conditions *Trifolium pratense* population can be supported by the flowers mass and seed development. The generative organs mass is not significantly different in functional areas of the urbanized environment in comparison with the background area. The most sensitive morphometric parameter to the technogenic influence is *Trifolium pratense* stem mass and the aboveground plant mass. The species directs energy resources mainly to the development of stem and root mass, that reveals the plants life style K-strategy. *Trifolium pratense* is recommended to the use as biological indicator of anthropogenic impact in different man-made territories. **Key words:** *Trifolium pratense* L., environmental condition, urbanized ecosystems, pollution, vitality, morphological parameters.

Морфологічні параметри життєвості *Trifolium pratense* L. в умовах урбанізованого середовища. Глібовицька Н.І.

Досліджено морфологічні параметри життєвості *Trifolium pratense* в умовах урбанізованого середовища. Досліджено репродуктивну, асиміляційну, запасаючу та габітуальну сферу виду. Розраховано індекси життєвості популяції виду – генеративних органів, фотосинтетичний, кореневий, габітуальний індекс. Запропоновано шкалу оцінки життєвості *Trifolium pratense* в умовах міської місцевості. Проаналізовано здатність акумулювати важкі метали, фіторекультивацийні, лікувальні та сільськогосподарські властивості виду. Визначено найбільший антропогенний тиск на процеси росту та розвитку виду у транспортній функціональній зоні екологічної системи Івано-Франківська. Популяція *Trifolium pratense* характеризується життєздатністю вище середньої в зоні комплексного озеленення (II клас життєвості), нижчою за середню життєвістю в житловій зоні (IV клас життєвості), низькою життєвістю в транспортній зоні (V клас життєвості). Репродуктивна система *Trifolium pratense* більш стійка і добре пристосована до стресового впливу навколишнього середовища, ніж вегетативна. Це свідчить про те, що за несприятливих екологічних умов популяція *Trifolium pratense* може підтримуватися за рахунок квіткової маси та розвитку насіння. Маса генеративних органів у функціональних зонах урбанізованого середовища суттєво не відрізняється від фонові. Найбільш чутливим морфометричним параметром до техногенного впливу є маса стебла *Trifolium pratense* і маса надземної рослини. Вид спрямовує енергетичні ресурси переважно на розвиток стовбурової та кореневої маси, що розкриває К-стратегію способу життя рослин. *Trifolium pratense* рекомендовано використовувати як біологічний індикатор антропогенного впливу на техногенних територіях. **Ключові слова:** *Trifolium pratense* L., екологічний стан, урбанізовані екосистеми, забруднення, життєздатність, морфологічні параметри.

Formulation of the problem. The natural environment is constantly exposed to anthropogenic influences, which on its scale has reached the planetary level, and in strength and speed is ahead of the natural factors influence. The problems of preserving the ecosystem and the biosphere as a whole are constantly becoming more acute and urgent [1; 2]. At present, there are almost no biocenoses that would not directly or indirectly feel the impact of man. Anthropogenic components of the environment to a greater or lesser extent cause pollution of biological systems. And those, in turn, either adapt to new conditions, withstanding them, or disappear [3; 4; 5]. The herbaceous plants vitality condition is one

of the most promising ecological way of environmental state monitoring.

Relevance of research. Phytoindication is one of the most promising methods in biological monitoring of anthropogenically-transformed environment [6; 7; 8]. Plants are the most sensitive objects to environmental chemical and physical pollution [9; 10]. A lot of herbaceous species, including including *Trifolium pratense*, are not studied yet as a possible indicators of the environmental state of urban ecosystems.

The connection of the author's work with important scientific and practical tasks. *Trifolium pratense* is one of the most well-known herbaceous plants, famous for its unique treatment

and phytoremediant properties. The works concerning its indicative properties of environmental state are very few, so there is the request to explore the morphological reactions of the plant at the organism organization level.

Analysis of recent research and publications.

Trifolium pratense is a well-known perennial plant of the Fabaceae family. Its natural habitats are found in North-West Africa, Europe and West Asia. More than a hundred years ago, the culture came to Chile and Argentina, resulting in naturalization in South and North America, in temperate regions. The species is widely spread in urbanized territories of Ukraine and is used as an effective nitrogen-combining plant in agriculture, as a powerful remediant of aromatic hydrocarbons and with medical purpose [11; 12; 13]. With the onset of spring, young green leaves and clover shoots are added to green vitamin salads and first courses to cope with vitamin deficiency and boost immunity. Decoctions and infusions of clover are used as an effective diuretic, diaphoretic, antipyretic and antiseptic. They also have anti-inflammatory, antifungal and wound-healing effects, antitumor drugs are prepared from the roots of the plant [14; 15]. Recent investigations reveal the role of *Trifolium pratense* as the effective remediant of oil-polluted environment and accumulator of heavy metals [16; 17; 18]. Some *Trifolium pratense* biochemical reactions in response to anthropogenic pollution are explored. Morphological biomass parameters changes of the plant under urbanized environmental condition are not studied yet.

Highlighting previously unsolved parts of the general problem to which this article is devoted.

The most of modern scientific biological researches are devoted to the exploration of physiological and biochemical responses of plants to environmental pollution. Morphological parameters of plants are not very well studied, despite they reveal the general functional state of the organism in the certain living conditions. The purpose of this work is to study the vitality of *Trifolium pratense*, distributed in the natural environment in the urban system of Ivano-Frankivsk, and to analyze the suitability of its use as a bioindicator of environmental quality.

Novelty. *Trifolium pratense* is well-studied as medical, phytoremediant and useful agricultural plant, but it is poorly studied as biological indicator of the environmental condition. Simple morphological studies of the species vitality on the organism level of biological organization help to investigate the plants reactions to anthropogenic pressure.

Methodological or general scientific significance. The study of *Trifolium pratense* morphological parameters of biomass in different urban ecological conditions gives an opportunity to analyse the influence level of anthropogenic factors. The species biological mass parameters, that are the most sensitive to technogenic transformation, can be used in biological monitoring.

Presentation of the main material. The research is conducted in the urban ecosystem of Ivano-Frankivsk, the territory of which is divided according to the functional type of zoning into the following areas: housing area, complex landscaping area, transport area.

Trifolium pratense which grows in the above-mentioned functional zones of the city, was selected as phytomonitoring object. Plants from the relatively ecologically clean territory – Demyaniv Laz forest – were chosen as control one. In the conditions of each functional area 15 formed individuals of *Trifolium pratense* were selected and morphometric analysis was performed.

All studies were performed according to generally accepted methods [19]. The functional status of the plants was established using the recommended rating scale (Table 1).

Table 1

The scale for *Trifolium pratense* vitality assessing in urban areas conditions

Deviation from control, %	The class of vitality	Category of stability
1–10	1	high
11–20	2	above average
21–30	3	average
31–50	4	below average
>50	5	low

To determine the viability of the plant species in the functional areas of the city the following parameters that form the four spheres of the plant are analyzed:

- reproductive sphere: mass of generative organs of one plant, index of generative organs (the ratio of the mass of generative organs to the mass of the whole plant);
- assimilation sphere: mass of leaves, mass of stems of the one plant, photosynthetic index (the ratio of leaf mass to mass of the whole plant), stem index (the ratio of stem mass to mass of the whole plant);
- storage sphere: root mass, root index (the ratio of root mass to the mass of the whole plant);
- habitual sphere: the total mass of the plant, the mass of the aboveground part, the ratio of the mass of the underground to the mass of the aboveground part.

In the conditions of Ivano-Frankivsk functional areas there is a decrease in the vegetative and generative organs mass of *Trifolium pratense* individuals (Fig. 1).

The lowest species individuals biomass and their individual parts is recorded in the transport routes area of the city, where the stem and aboveground part mass of *Trifolium pratense* is reduced in 3.2 and 2.7 times relative to control, respectively. The mass of the reproductive organs of the species is stable in the conditions of functional areas and decreases slightly relative to control – in *Trifolium pratense* 1.2 times.

Biomass decrease of *Trifolium pratense* separate parts of relative to background values in the conditions

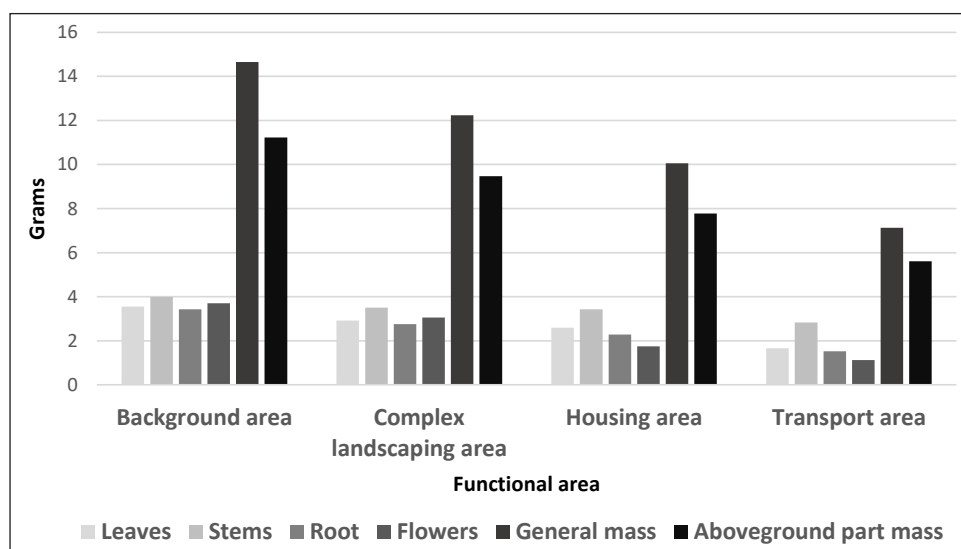


Figure 1. The structure of *Trifolium pratense* biomass in the functional areas of Ivano-Frankivsk

Table 2

Trifolium pratense biomass indexes in the functional areas of Ivano-Frankivsk

Functional area	Assimilation sphere		Storage area	Habitual sphere	Reproductive sphere
	Photosynthetic index	Stem index	Root index	Habitual index	Generative organs index
Background area	0,12	0,68	0,13	0,16	0,07
Complex landscaping area	0,14	0,65	0,13	0,15	0,08
Housing area	0,13	0,62	0,15	0,8	0,10
Transport area	0,15	0,53	0,18	0,23	0,14

of functional zones of the city takes place in the following order: flowers mass → root mass → leaves mass → total plant mass → aboveground part mass → stem mass.

In the conditions of the Ivano-Frankivsk urban system, there is an increase in the biomass indices of *Trifolium pratense* in the following order: index of generative organs → photosynthetic index → root index → habitual index → stem index (Table 2).

Thus, the species directs energy resources mainly to the development of stem and root mass.

Trifolium pratense vitality deviation from the control in Ivano-Frankivsk indicates that the species population is characterized by above-average vitality in the area of complex landscaping (II class of vitality), below-average vitality in the housing area (IV class of vitality), low vitality in the transport area (V class of vitality) (Table 3).

The main conclusions. In the conditions of Ivano-Frankivsk urban system the *Trifolium pratense* directs energy resources mainly to the growth of stems and roots in comparison with the development of generative organs. This may lead to a reduction in the population and population density of the species in the future. In the conditions of functional areas of Ivano-Frankivsk there is a decrease in the vegetative and generative

organs mass of *Trifolium pratense* individuals, in comparison with the background area. The lowest biomass of individuals and their individual parts is recorded in the transport area of the city. *Trifolium pratense* individuals vitality deviation from the control in the conditions of Ivano-Frankivsk indicates that the species is characterized by above average, below average and low vitality according to the level of anthropogenic pressure in the functional areas.

Table 3

Trifolium pratense vitality deviation from the control in Ivano-Frankivsk ecosystem

Vitality parameter	Deviation from control, %		
	Complex landscaping area	Housing area	Transport area
Leaves mass	12	32	48
Stem mass	22	44	69
Root mass	10	17	27
Flowers mass	16	14	19
Total weight	19	38	59
The mass of the aboveground part	20	41	63
Average value	17	31	48
Vitality class	II	IV	V

Prospects for the use of research results. *Trifolium pratense* plants can be used as bioindicators of the environmental condition in relation to the influence

of anthropogenic factors. *Trifolium pratense* vegetative organs mass is more sensitive to anthropogenic pressure than the generative organs mass.

References

1. Graziano M., Martín-Peinado F. J., Delgado-Moreno L. Application of Biochar for the Restoration of Metal(loid)s Contaminated Soils. *Appl. Sci.* 2022. No 12, 1918 p. <https://doi.org/10.3390/app12041918>
2. Matanzas N., Afif E., Díaz T. E. Phytoremediation Potential of Native Herbaceous Plant Species Growing on a Paradigmatic Brownfield Site. *Water Air Soil Pollut.* 2021. No 232. 290 p. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05234-9>
3. Iljina L., Rajput V., Mazarji M., Chernikova N., Gülser C., Kızılkaya R., Nevidomskaya D., Barahov A., Sushkova S., Minkina T., Mandzhieva S., Chaplygin V. Accumulating capacity of herbaceous plants of the Asteraceae and Poaceae families under technogenic soil pollution with zinc and cadmium. *Eurasian J. Soil Sci.* 2020. No 9 (2). P. 165–172. DOI: 10.18393/ejss.707659
4. Barwise Y., Kumar P. Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. *npj Clim Atmos Sci.* 2020. No 3. 12 p. <https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>
5. Zaghoul A., Saber M., Gadow S. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. *Bull Natl Res Cent.* 2020. No 44. 127 p. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>
6. Wróblewska K., Jeong B. R. Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal. *Environ Sci Eur.* 2021. No 33. 110 p. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00547-2>
7. Yang Han, Jechan Lee, Gu Haiping, Ki-Hyun Kim, Peng Wanxi, Neha Bhardwaj, Jong-Min Oh, Richard J. C. Brown, Plant-based remediation of air pollution: A review. *Journal of Environmental Management.* 2022. 301 p. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113860
8. James M. W. Ryalls, Ben Langford, Neil J. Mullinger, Lisa M. Bromfield, Eiko Nemitz, Christian Pfrang, Robbie D. Girling, Anthropogenic air pollutants reduce insect-mediated pollination services. *Environmental Pollution.* 2022. 297 p. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.118847
9. Karen L. Bacon, Matthew Haworth, Jennifer C. McElwain. Effects of sulphur dioxide exposure on leaf mass per area of selected gymnosperms and implications for interpreting the plant fossil record. *International Journal of Plant Sciences.* 2021. DOI: 10.1086/714279.
10. Tausz-Posch S., De Kok L. J. Plant functioning in a changing global atmosphere. *Plant Biology.* 2019. No 1. 22 p. DOI: 10.1111/plb.13051
11. Dovgajuk-Semenuk M. V., Velychko O. I., Terek O. I. The activity of the glutamate synthase pathway enzymes in *Trifolium pratense* L. plants under the conditions of oil polluted soil. *Fiziol. rast. genet.* 2018. No 1 (50). P. 77–82.
12. Ali Khan Shahbaz, Muhammad Iqbal, Abdul Jabbar, Sabir Hussain, Muhammad Ibrahim. Assessment of nickel bioavailability through chemical extractants and red clover in an amended soil: Related changes in various parameters of red clover. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2018. V. 149. P. 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.022>
13. Davin M., Starren A., Marit E. Investigating the Effect of *Medicago sativa* L. and *Trifolium pratense* L. Root Exudates on PAHs Bioremediation in an Aged-Contaminated Soil. *Water Air Soil Pollut.* 2019. No 230. 296 p. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4341-4>
14. Rybak A. V., Belykh E. S., Maystrenko T. A. Microsatellite polymorphism of *Trifolium pratense* population at the conditions of radioactive and chemical contamination of soil (Komi republic). *Environ Sci Pollut Res.* 2018. No 25. P. 34701–34710. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3375-2>
15. Fan Mo, Haibo Li, Yinghua Li, Weina Cui, Mingshuai Wang, Zhe Li, Rui Chai, Hongxuan Wang. Toxicity of Ag⁺ on microstructure, biochemical activities and genic material of *Trifolium pratense* L. seedlings with special reference to phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2020. V. 195. 110499 p.
16. Patrick Me Kenna, Nicola Cannon, John Conway, John Dooley. The use of red clover (*Trifolium pratense*) in soil fertility-building. *A Review Field Crops Research.* 2018. V. 221. P. 38–49.
17. Furtak K., Gawryjolek K., Gałazka A., Grządziel J. The Response of Red Clover (*Trifolium pratense* L.) to Separate and Mixed Inoculations with *Rhizobium leguminosarum* and *Azospirillum brasilense* in Presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Int J Environ Res Public Health.* 2020. No 17 (16). 5751 p. DOI: 10.3390/ijerph17165751
18. Kujawska J., Pawłowska M. Effects of Soil-Like Materials Mix from Drill Cuttings, Sewage Sludge And Sawdust on the Growth of *Trifolium pratense* L. and Transfer of Heavy Metals. *Journal of Ecological Engineering.* 2018. No 19 (6) P. 225–230. DOI: 10.12911/22998993/91884
19. Lisitsa A. V. Lisitsa AV Bioindication and biotesting of contaminated areas. Methodical recommendations for independent study of the discipline. Doka Center Publishing House, Rivne. 2018. 96 p. Bioindication and biotesting of contaminated areas. Methodical recommendations for independent study of the discipline. Doka Center Publishing House, Rivne. 2018. 96 p.

ВПЛИВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ ІВАЗІЙНИХ МОЛЕЙ-СТРОКАТОК (LEPIDOPTERA, GRACILLARIIDAE) В УМОВАХ М. ДНІПРО

Голобородько К.К.¹, Кунах О.М.¹, Ситник С.А.², Ловинська В.М.²

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

goloborodko@ua.fm, kunah_olga@ukr.net, sytnyk.s.a@dsau.dp.ua, glub@ukr.net

У роботі представлено результати дослідження впливу важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) на особливості поширення інвазійних видів молей-строкаток (Gracillariidae Stainton, 1854). У якості модельних об'єктів досліджень було обрано популяції трьох найпоширеніших інвазійних видів – каштанового мінера (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986) та двох робінієвих мінерів – *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) і *Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859). Дослідження проведено у межах Дніпровської міської агломерації (7 зелених зон у різних типах урболандшафтів м. Дніпро та на території природного заповідника Дніпровсько-Орільський). Моніторинг здійснено у вегетаційний період (липень-вересень) 2019–2021 рр., що відповідає періоду масового розселення трьох видів-інвайдерів. Нами встановлено, що різні види-інвайдери по-різному реагують на вміст різних важких металів у тканинах кормових рослин. Спільною рисою для фітофагів робінії звичайної виявився встановлений вплив вмісту цинку та свинцю на ступінь заселення листкових пластинок. Чим більший вміст вказаних елементів у тканині робінії, тим більше заселені такі листки обома видами-інвайдерами. Виявилось, що чим більший вміст важких металів (особливо цинку, міді та свинцю) у тканинах листків кормової рослини, тим більша кількість мін. Результати побудованих загальних лінійних моделей впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін інвайдерів це продемонстрували. Побудовані лінійні моделі для робінієвих мінерів показали, що найбільш істотний вплив на заселення паркових урбоценозів чинить вміст міді у тканинах кормових рослин. Серед найпоширеніших у міському повітрі контаменантів найменший вплив на заселення інвазійних Gracillariidae має кадмій. Аналіз особливостей заселення *C. ohridella* гіркокаштанових насаджень у м. Дніпро також виявив схожий тренд. Чим більший вміст важких металів у тканинах кормових рослин, тим більший відсоток ураження листка. Особливо така залежність спостерігається для кадмію та свинцю. Висота насаджень *A. hippocastanum* над рівнем моря також впливає на особливості заселення *C. ohridella*. Як і в ситуації із заселенням комплексу робінієвих мінерів-інвайдерів, чим вище знаходяться насадження кормової рослини, тим більше відсоток ураження спостерігається для її листкових поверхонь. **Ключові слова:** біологічна інвазія, адвентивні види, Gracillariidae Stainton, 1854, міські екосистеми, важкі метали.

Influence of heavy metals on the peculiarities of the distribution of invasion leaf blotch miner moths (Lepidoptera, Gracillariidae) in the conditions of Dnipro. Holoborodko K., Kunach O., Sytnyk S., Lovynska V.

The paper presents the results of a study of the influence of heavy metals (Zn, Cu, Pb, Cd) on the peculiarities of the distribution of invasive species of leaf blotch miner moths (Gracillariidae Stainton, 1854). Populations of the three most common invasive species, the chestnut miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986) and two robinium miners *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) and *Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859), were selected as model objects. The study was conducted within the Dnipro urban agglomeration (7 green areas in different types of urban landscapes of the Dnipro and in the nature reserve Dnipro-Orilsky). Monitoring was carried out during the vegetation period (July-September) 2019–2021, which corresponds to the period of mass resettlement of three species-invaders. We found that different species of invaders react differently to the content of different heavy metals in the tissues of forage plants. A common feature of Robinia phytophagous was the established effect of zinc and lead on the degree of population of leaf blades. The greater the content of these elements in the fabric of the robinia, the more populated such leaves by both species-invaders. It turned out that the higher the content of heavy metals (especially zinc, copper and lead) in the tissues of the leaves of the forage plant, the greater the number of mines. The results of the constructed general linear models of the influence of the content of heavy metals and the height of the relief on the number of miners of the insiders demonstrated this. The constructed linear models for robinium miners showed that the most significant influence on the population of park urbocoenoses is exerted by the copper content in the tissues of forage plants. Among the most common contaminants in urban air, cadmium has the least impact on the population of invasive Gracillariidae. Analysis of the peculiarities of *C. ohridella* settlement of bitter chestnut plantations in Dnipro also revealed a similar trend. The higher the content of heavy metals in the tissues of forage plants, the higher the percentage of leaf damage. This dependence is especially observed for cadmium and lead. The height of *A. hippocastanum* stands above sea level also affects the population of *C. ohridella*. As in the situation with the settlement of the complex of robinium miners-invaders, the higher the plantings of the forage plant, the greater the percentage of damage observed for its leaf surfaces. **Key words:** biological invasion, adventitious species, Gracillariidae Stainton, 1854, urban ecosystems, heavy metals.

Постановка проблеми. Важкі метали виступають пріоритетними токсичними забруднювачами. Вони становлять надзвичайну небезпеку як забруд-

нювачі природного середовища, які навіть у порівняно малих концентраціях можуть негативно впливати на різні організми [1; 2].

Біологічні наслідки забруднення важкими металами природного середовища виявляються, насамперед, у прямій токсичній дії на організм, що призводить до ураження їх фізіологічних систем. Не винятком є й реакція видів-інвайдерів на вміст важких металів у новому для них середовищі [2].

Актуальність дослідження. Особливий інтерес становить вивчення адаптаційних можливостей нових інвазійних видів, які вперше потрапляють до нових екосистем зі сталим екологічним режимом та сформованим токсикологічним фоном. У такому випадку нові види можуть або загинути, не витримавши тиску антропогенних чинників, або, навпаки, адаптуватися до нових умов.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Нашими дослідженнями встановлено [3; 4], що за умов адаптації до нового середовища, яка здійснюється на біохімічному та клітинному рівні, створюються передумови виживання популяції інвазійного виду [5]. У результаті вдалої адаптації до факторів нового середовища, відбувається швидке поширення інвайдера новими територіями [6–9], завдяки чому формується й новий ареал виду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Представники класу Insecta утворюють найбільшу за чисельністю інвазійну групу організмів у сучасній Біосфері, а кількість їх нових вторгнень збільшується експоненціально [10]. Така ситуація оцінюється, як глобальна загроза для різних галузей економіки та оточуючого середовища [11].

Більшість з фітофагів-інвайдерів поширилися разом зі своїми кормовими рослинами, незважаючи на те що, фіто-санітарні та карантинні норми міжнародних перевезень стають більш суворими, торгівля та перевезення екзотичних рослин планетою лишається провідним шляхом для поширення інвазійних фітофагів [12].

Серед інвазійних комах-фітофагів досить активно проявляють себе різноманітні мінери [13], багато їх видів широко відомі, як небезпечні шкідники сільськогосподарських культур, інші наносять збитки лісовому та садово-парковому господарству [14]. Листкові мінери живуть всередині листка кормової рослини, живляться паренхімою або епідермісом, утворюючи таким чином порожнини, які отримали назву «міни» [15].

Останні десятиліття саме мінери привертають велику увагу, через збільшення кількості інвазій [16; 17]. Багато мінерів-інвайдерів колонізували великі площі лісів у новому ареалі, дають постійні спалахи чисельності, що призводить до серйозних екологічних і економічних наслідків [18]. Біологічні інвазії чужорідних видів на міських об'єктах озеленення можна віднести до екологічних катастроф. Проникаючи на нову територію із сприятливими умовами, такі види за відсутності природних ворогів швидко збільшують свою чисель-

ність і безперешкодно поширюються міськими насадженнями [19–21].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Одним з провідних факторів забруднення міського середовища є вміст полутантів різного походження у атмосферному повітрі. Деревна рослинність в урбоекосистемах відчуває постійний вплив такого забруднення, що відображається, у тому числі, підвищенням вмісту важких металів у тканинах листків. Фітофаги, як консументи першого порядку, відчувають вплив вмісту важких металів, а певні їх концентрації навіть можуть впливати на процеси життєдіяльності личинкових стадій розвитку. Отже, вплив важких металів може розглядатись, у тому числі, як один із лімітуючих факторів міського середовища.

Наукова новизна. Уперше отримано дані, що показують вплив важких металів на механізми адаптації інвазійних видів мінерів до нового середовища.

Метою роботи було встановити особливості впливу важких металів на процес поширення інвазійного комплексу молей-строкаток (Gracillariidae) в умовах м. Дніпро.

Матеріали і методи роботи. Для з'ясування особливостей заселення та життєдіяльності видів-інвайдерів у міському середовищі було проведено дослідження в межах агломерації м. Дніпро, територія якої характеризується набором багатьох екологічних чинників, що, ймовірно, можуть впливати на популяції мінерів.

Для проведення досліджень з метою з'ясування впливу міської агломерації на стан популяцій інвазійних Gracillariidae у м. Дніпро протягом 5 років (2017–2021 рр.) було здійснено моніторингові спостереження на 8 пробних ділянках. Для цих цілей було обрано основні за площею паркові урбоценози, розміщені у різних ландшафтних умовах (рис. 1).

Для дослідження вмісту важких металів у листкових пластинках кормових рослин інвазійних Gracillariidae методом атомно-абсорбційного аналізу було використано і підготовлено 120 проб. Дослідний матеріал було відібрано у восьми паркових зонах м. Дніпро та природному заповіднику «Дніпровсько-Орільський».

Листя середньої формації по 5 штук відбирали на річному вегетативному прирості з нижньої третини крони південної експозиції в суху ясну погоду в липні-вересні 2019–21 рр. від п'яти дерев, уражених інвайдерами на кожній пробній ділянці.

Листкові пластинки кормових рослин Gracillariidae дегідрували у фарфорових тиглях за допомогою сушильної шафи при $t^{\circ} = 100^{\circ}\text{C}$. Електронними вагами AXIS AD500 сухий залишок листків гіркокаштану звичайного зважували з точністю до 0,001 г (необхідна маса для аналізу становила 0,5–1,0 г). Потім у муфельній печі при $t^{\circ} = 450^{\circ}\text{C}$ проводили зоління.

Золу насипали до конічної колби та додавали 0,5 мл концентрованої азотної кислоти та 0,5 мл бідистильованою води. Отриманий розчин доводили 10 мл дистилату та фільтрували за допомогою беззолних фільтрів, далі промивали тигель 10 мл бідистильованою води та доводили об'єм розчину до 25 мл. У пробах аналізувався вміст таких елементів, як цинк, мідь, свинець, кадмій.

Вміст важких металів в уражених мінерами листових пластинках визначали з використанням методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі ААС-30 за стандартною методикою І. П. Хавезова (1983). Результати розраховували за формулою:

$$C_0 = C_1 \times V / P,$$

де C_0 – показник вмісту важких металів у листових пластинках *A. hippocastanum*, мг/кг сухої маси;

C_1 – концентрація металу в 1 мл розчину (мкг/мл);

V – об'єм розчину, мл;

P – маса наважки листових пластинок гіркого каштану (суха маса), г.

Викладення основного матеріалу. У якості модельних об'єктів досліджень було обрано популяції трьох найпоширеніших інвазійних видів родини молей-строкаток (*Gracillariidae* Stainton, 1854): каштанового мінера (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986), та двох робінієвих мінерів – *Parectopa*

robiniella (Clemens, 1863) і *Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859). Дослідження із впливу важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) на міські популяції комплексу мінерів-інвайдерів робінії показали достовірні відмінності за типами урбоекосистем (рис. 2 та рис. 3).

Також нами встановлено, що різні види-інвайдери по-різному реагують на вміст різних важких металів у тканинах кормових рослин.

Спільною рисою для фітофагів робінії звичайної виявився встановлений вплив вмісту цинку та свинцю на ступінь заселення листових пластинок. Чим більший вміст вказаних елементів у тканині робінії, тим більше заселені такі листки обома видами-інвайдерами.

Виявилось, що чим більший вміст важких металів (особливо цинку, міді та свинцю) у тканинах листків кормової рослини, тим більша кількість мін. Результати Загальних лінійних моделей впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін обох інвайдерів, трофічно пов'язаних із робінією звичайною, в умовах м. Дніпро (табл. 1 та табл. 2) це продемонстрували.

Побудовані лінійні моделі для обох видів показали, що найбільш істотний вплив на заселення паркових урбоценозів чинить вміст міді у тканинах кормових рослин. Серед найпоширеніших у міському повітрі контаменантів найменший вплив на заселення інвазійних *Gracillariidae* має кадмій.



Рис. 1. Карта розташування пробних площ:

1 – парк Дружби народів, 2 – парк Мануйлівський, 3 – природний заповідник «Дніпровсько-Оріельський», 4 – парк ім. Т. Г. Шевченка, 5 – парк Лазаря Глоби, 6 – Ботанічний сад ДНУ, 7 – парк 40-річчя визволення Дніпра, 8 – парк Придніпровський

Особливо цікавими виявились дані, що демонструють вплив важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) на особливості заселення паркових урбоценозів *M. robiniella*. Як бачимо з таблиці 1, найістотніше значення за роки спостережень встановлено лише для вмісту міді у тканинах кормової рослини.

Аналіз особливостей заселення *C. ohridella* гіркокаштанових насаджень у м. Дніпро також виявив схожий тренд. Як видно з рисунку 4, чим більший вміст важких металів у тканинах кормових рослин, тим більший відсоток ураження листка. Особливо така залежність спостерігається для кадмію та свинцю.

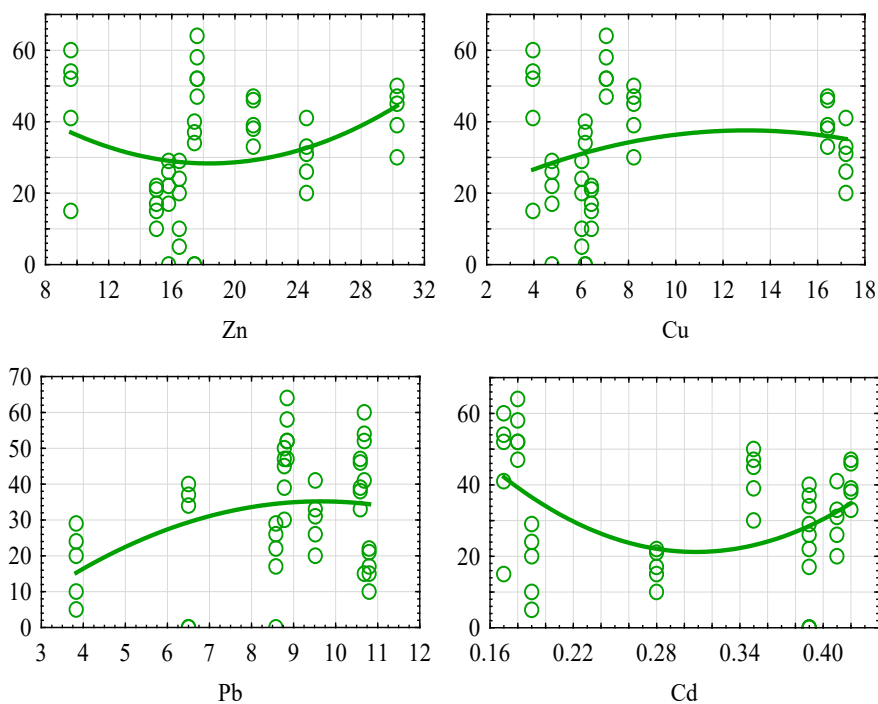


Рис. 2. Залежність кількості мін *P. robiniella* (ось ординат) від вмісту важких металів (ось абсцис, у мкг/г)

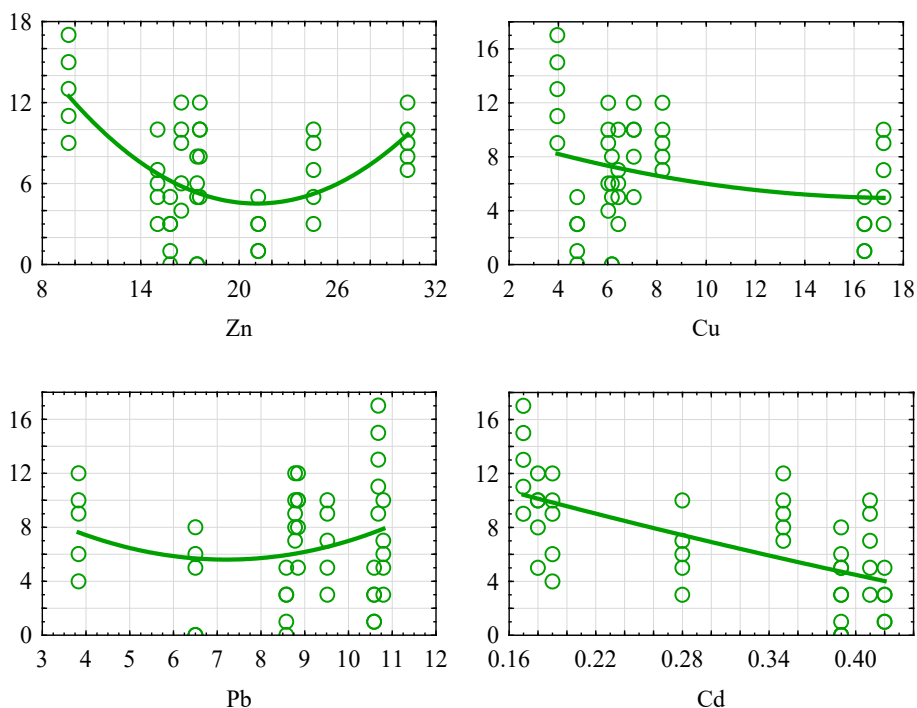


Рис. 3. Залежність кількості мін *M. robiniella* (ось ординат) від вмісту важких металів (ось абсцис, у мкг/г)

Висота насаджень *A. hippocastanum* над рівнем моря також впливає на особливості заселення *C. ohridella*. Як і в ситуації із заселенням комплексу робінієвих мінерів-інвайдерів, чим вище знаходяться насадження кормової рослини, тим більше відсоток ураження спостерігається для її листових поверхонь.

Результати Загальної лінійної моделі (табл. 3) впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на ступінь заселення *C. ohridella* насаджень *A. hippocastanum* у різних урбоценозах м. Дніпро

чітко демонструють наявність залежності від цих предикторів.

Висновки. За результатами статистичної обробки даних, найбільша кількість мін інвазійних Gracillariidae на листках кормових рослин зареєстрована в екологічно сприятливих для життєдіяльності кормових рослин екосистемах, де ключовими чинниками були вік рослини, положення насадження дерев над рівнем моря, а для міських насаджень – вміст важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd) у тканинах листків.

Таблиця 1

Результати загальної лінійної моделі впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін *P. Robiniella* ($R^2_{adj} = 0,48$, $F = 7,8$, $p < 0,001$)

Вплив	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень	Бета-регресійні коефіцієнти
Константа	2170,4	1	2170,4	14,75	<0,001	–
висота	537,7	1	537,7	3,65	0,06	0,25±0,13
Рік	2170,7	1	2170,7	14,75	<0,001	0,42±0,11
Zn	1288,0	1	1288,0	8,75	0,01	0,43±0,15
Cu	0,2	1	0,2	0,00	0,97	–0,01±0,17
Pb	1146,0	1	1146,0	7,79	0,01	0,34±0,12
Cd	1606,1	1	1606,1	10,92	<0,001	–0,50±0,15
Помилка	5591,4	38	147,1	–	–	–

Таблиця 2

Результати загальної лінійної моделі впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на кількість мін *M. robiniella* ($R^2_{adj} = 0,81$, $F = 33,9$, $p < 0,001$)

Вплив	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень	Бета-регресійні коефіцієнти
Константа	174,81	1	174,81	56,33	<0,001	–
H	83,21	1	83,21	26,81	<0,001	–0,40±0,08
Рік	176,40	1	176,40	56,84	<0,001	0,49±0,06
Zn	38,92	1	38,92	12,54	<0,001	0,31±0,09
Cu	10,87	1	10,87	3,50	0,07	0,19±0,10
Pb	55,72	1	55,72	17,96	<0,001	0,30±0,07
Cd	376,94	1	376,94	121,46	<0,001	–0,98±0,09
Помилка	117,93	38	3,10	–	–	–

Таблиця 3

Результати загальної лінійної моделі впливу вмісту важких металів та висоти рельєфу на ступінь заселення *C. ohridella* ($R^2_{adj} = 0,81$, $F = 33,9$, $p < 0,001$)

Вплив	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень	Бета-регресійні коефіцієнти
Константа	0,61	1	0,61	301,84	<0,001	–
H	0,67	1	0,67	332,82	<0,001	–5,64±0,31
Zn	0,68	1	0,68	339,36	<0,001	6,63±0,36
Cu	0,60	1	0,60	300,97	<0,001	–3,37±0,19
Pb	0,08	1	0,08	40,90	<0,001	–0,70±0,11
Cd	0,74	1	0,74	368,09	<0,001	3,09±0,16
Помилка	0,07	34	0,00	–	–	–

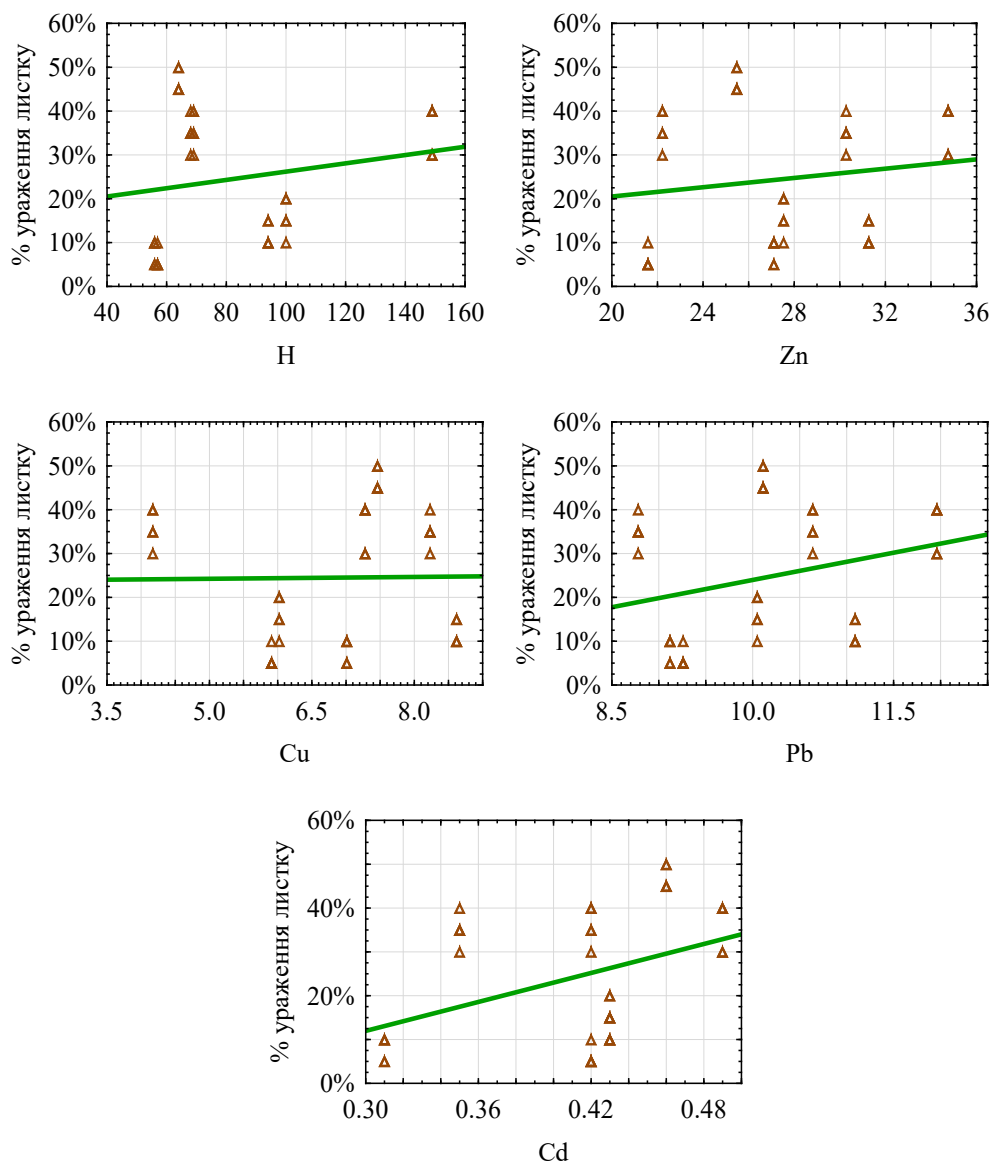


Рис. 4. Залежність ураження *C. ohridella* листку *A. hippocastanum* (вісь ординат) від вмісту важких металів (вісь абсцис, у мкг/г) та висоти рельєфу (вісь абсцис, м)

Література

1. Opp C., Hahn J., Zitzer N., Laufenberg G. Heavy Metal Concentrations in Pores and Surface Waters during the Emptying of a Small Reservoir. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2015. 3, 66–72. <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.310011>
2. Marenkov O., Holoborodko K., Voronkova Y., Gorban V. Effect of zinc and cadmium ions on histostructure of antennal glands of marbled crayfish *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* (Decapoda). *Acta Biol. Univ. Daugavp.* 2017. 17 (2), 219–224. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183094158>
3. Маренков О. М., Голобородько К. К., Воронкова Ю. С., Нестеренко О. С. Вплив іонів цинку та кадмію на масу тіла, плодючість і стан тканин і органів *Procambarus fallax* f. *virginalis* (Decapoda, Cambaridae). *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 2017. 8 (4), 628–632. <https://doi.org/10.15421/021796>
4. Voronkova Y. S., Marenkov O. M., Holoborodko K. K. Liver antioxidant system of the Prussian carp and pumpkinseed as response to the environmental change. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018, 8 (1), 749–754. https://doi.org/10.15421/2017_276
5. Holoborodko K. K., Marenkov O. M., Gorban V. A., Voronkova Y. S. The problem of assessing the viability of invasive species in the conditions of the steppe zone of Ukraine. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 2016, 24 (2), 466–472. <https://doi.org/10.15421/011663>
6. Голобородько К. К.; Русинов В. І.; Селютіна О. В. Інвазійні молі-строкатки (Gracillariidae Stainton, 1854) фауни Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2018, 47, 87–91.

7. Holoborodko K. K., Rusynov V. I., Seliutina O. V. Addition to analysis of morphological parameters of mines on two invasive leaf-mining Lepidoptera species ((*Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) and *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859)) on black locust. *Problems of bioindications and ecology*. 2018, 23 (2), 134–141. <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2018-23/2-09>
8. Голобородько К. К., Русинов В. І., Пахомов О. Є. Білоакацієва міль-строкатка (*Parectopa robiniella* Clemens, 1863) у паркових зонах м. Дніпро. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2020. 1, 37–43. <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2020-1-05>
9. Голобородько К. К., Селютіна О. В., Крайник Ю. М., Пахомов О. Є. Комплекс інвазійних Лускокрилих (Lepidoptera) на території Національного природного парку «Великий Луг». *Український ентомологічний журнал*. 2020, 1–2 (18), 30–35. <https://doi.org/10.15421/282004>
10. Seebens H., Blackburn T. M., Dyer E. E. et al. The global rise in emerging alien species results from increased accessibility of new source pools. *PNAS*. 2018. 115 (10), 2264–2273.
11. Aukema J. E., Leung B., Kovacs K. Economic impacts of non-native forest insects in the continental United States. *PLoS ONE*. 2011. 6 (9): e24587.
12. Liebhold A. M., Brockerhoff E. G., Garrett L. J. Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of the US. *Front Ecol Environ*. 2012, 10. 135–143.
13. Kirichenko N., Augustin S. and Kenis M. Invasive leafminers on woody plants: a global review of pathways, impact, and management. *Journal of Pest Science*. 2018. First Online: 29 June 2018.
14. Ellis W. Leafminers and plant galls of Europe. Plant parasites of Europe: leafminers, gallers and fungi. 2018. <http://bladmineers.nl/>. Accessed 5 Feb 2018.
15. Hering M. E. Biology of the leafminers. Junk's, Gravenhage. 1951, 420.
16. Šefrova H. Invasions of Lithocolletinae species in Europe – causes, kinds, limits and ecological impact (Lepidoptera, Gracillariidae). *Ecologia (Bratislava)*. 2003. 22 (2). 132–142.
17. van Nieukerken E., Wagner D., Baldessari M. *Antispila oinophylla* new species (Lepidoptera, Heliozelidae), a new North American grapevine leafminer invading Italian vineyards: taxonomy, DNA barcodes and life cycle. *ZooKeys*. 2012. 170, 29–77.
18. Sweeney J., Meating J., Goble T. Effect of dosage and treatment frequency of efficacy of TreeAzin Systematic Insecticide for protecting foliage from the beech leaf-mining weevil and preventing mortality of American beech in high value urban environments. SERG International 2017 workshop. Proceedings, 7–9 Feb 2017. *Nat Resour Can Can For Serv* 46: 1124–1132.
19. Jagiello E., Baraniak E., Guzicka M., Karolewski P., Ukowski A., Giertych M. J. One step closer to understanding the ecology of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae): The effects of light conditions. *European Journal of Entomology*, 2019. 116, 42–51.
20. Percival G. C., Barrow I., Noviss K. et al. The impact of horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka and Dimic) on vitality, growth and reproduction of *Aesculus hippocastanum* L. *Urban For. Urban Green*. 2011, 10. 11–17.
21. Seliutina O. V., Shupranova L. V., Holoborodko K. K., Shulman M. V., Bobylev Y. P. Effect of *Cameraria ohridella* on accumulation of proteins, peroxidase activity and composition in *Aesculus hippocastanum* leaves. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. 11 (2), 299–304. <https://doi.org/10.15421/022045>

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОХІМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЛАНДШАФТІВ М. КАМ'ЯНСЬКЕ

Гуцько С.О.

Дніпровський державний технічний університет
вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське
goonko@gmail.com

У статті представлено результати дослідження геохімічної структури ландшафтів м. Кам'янське (Дніпропетровської обл.), а саме: латеральний та радіальний розподіл кадмію в едафотопіях міста. Відомо, що зовнішні фактори міграції визначають умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів, в результаті формуються просторові закономірності розподілу Cd, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках. З отриманих у роботі даних прослідковується тенденція до збільшення вмісту валової форми кадмію з півдня на північ при наближенні до промислової зони, що розташована в північній правобережній частині міста. Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 1–6), зокрема для корененасиченого ґрунтового горизонту (до 50 см), що свідчить, вірогідно, про техногенне надходження кадмію в едафотопіях урбанізованих територій. За інтервалом варіювання вмісту мікроелементу екологічного профілю едафотопів № 2 максимальні значення концентрації важкого металу зафіксовано у корененасиченому шарі ґрунту (0–10 см). Вміст валової форми елементу в ґрунті коливається в межах $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальні значення – т. 1 і 2) та $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальні значення – т. 6 і 5) валової форми, перевищення ГДК в 2,39 рази. Щодо рухомої форми Cd простежується аналогічна тенденція $0,08 \pm 0,007$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальні значення – т. 2) та $0,98 \pm 0,0085$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальні значення – т. 5), незначне перевищення ГДК. Відмічено тенденцію підвищення концентрації валової і рухомої форм Cd зі зниженням рельєфу – висхідний (асцендіальний) латеральний розподіл. Аналіз радіального розподілу валової форми Cd (шар ґрунту 0–150 см) екологічного профілю едафотопів № 2 дозволив виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів: 1) невиразний (т. 1 і 2) – плантоземи району житлової забудови поблизу залізничного та автовокзалів, які характеризуються незначною зміною вмісту валової форми кадмію; 2) гумусовий (т. 4, 5, 6) – власне урбаноземи, плантоземи, природні порушені ґрунти, що відмічаються максимальним рівнем вмісту валової форми Cd у ґрунтовому горизонті. Радіальний розподіл рухомої форми кадмію у плантоземах показав, що на досліджуваній пробній ділянці (т. 1) інтервал варіювання збільшується з глибиною ґрунтового профілю: в шарі ґрунту 0–10 см, вміст рухомої форми Cd складає $0,08 \pm 0,007$ мг/кг ґрунту, в шарі 120–150 см вже дорівнює $0,14 \pm 0,010$ мг/кг, що свідчить про лесивований вид структури ландшафту. Радіальний аналіз розподілу валової та рухомої форм Cd на пробних ділянках (точках) досліджених ґрунтів показав, що кадмій концентрується у верхній частині ґрунтового профілю та відносно рівномірно зменшує вміст вниз по ґрунтовому профілю міських ландшафтів. Латеральний розподіл кадмію демонструє наявність трьох видів структури ландшафтів: асцендіальний, дисцендіальний та пікоподібний.

Ключові слова: кадмій, едафотопі, геохімічна структура, латеральний та радіальний розподіл, екологічний профіль, альтитуда, урбанізована територія.

The Research of Geochemical Landscapes Structure of Kamianske City. Hunko S.

The article presents the results of geochemical landscapes structure research of in city of Kamianske (Dnipropetrovsk region). Specifically, it provides lateral and radial distribution of cadmium in the city's edaphotopes. As is known, external migration factors define conditions, concentrations and dispersal of chemical elements. As result, spatial regularities of cadmium distribution are forming, which are represented in the formation of geochemical structure of landscapes in lateral and radial directions. The data received from the current research allows to trace tendencies of increasing content of gross cadmium form from south to north at the approach to industrial areas, which are located in the north of right-bank part of the city. The highest concentration of cadmium content is noted in ecological profile of edaphotopes № 2 (spots from 1 to 6), in particular for a root-saturated soil horizon (up to 50 cm), which probably indicates the man-caused impact upon cadmium income to the edaphotopes of urbanized terrains. According to interval of variation of microelement content in ecological edaphotopes' profile № 2 maximum values of heavy metal concentrations are observed in root-saturated soil layer (0–10 sm). The content of gross form element in soil fluctuates within $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spots 1 and 2) and $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spots 6 and 5) of gross form, and there is an exceeding the MPC by 2,39 times. As for active forms of cadmium, similar trends are to be observed: $0,08 \pm 0,007$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spot 2) and $0,98 \pm 0,0085$ mg/kg of absolutely dry soil (minimum values – spot 5), and there is a minor exceeding the MPC. Also, the tendency of increasing active and gross form of cadmium content was determined in the areas with descending relief – ascendant lateral distribution. The analysis of distribution of radial gross cadmium form (soil layer from 0 to 150 sm) in ecological edaphotopes' profile № 2 allows to distinguish next types of geochemical structures: 1) indistinct (spots 1 and 2) – plantosols of housing construction districts near railway and bus stations, which are characterized by insignificant content of gross cadmium form; 2) humus (spots 4, 5 and 6) – properly urban soils, plantosols and anthropogenic-surface-transformed natural soils, which are marked by maximum level of gross cadmium form content in soil horizons. The radial distribution of active cadmium form in plantosols indicated, that an interval of variation is increasing with a depth of a soil profile on the studied test plots according to the next values: in a soil layer from 0 to 10 sm the content of active cadmium form is estimated as $0,08 \pm 0,007$ mg/kg of soil, in a layer from 120 to 150 sm it has already been estimated as $0,14 \pm 0,010$ mg/kg, indicating an influence of lessivage processes on a structure form of the landscape. The radial analysis of gross and active forms distribution of cadmium at the test plots (spots)

of studied soils showed, that cadmium concentrates in the high part of soil horizon and, relatively, decreases its content uniformly with lowering of genetical soil horizons of the city landscapes. The lateral distribution of cadmium demonstrates occurrence of three types of landscape structures: ascendant, descending and peak-shaped. *Key words*: cadmium, edaphotopes, geochemical structure, lateral and radial distribution, ecological profile, altitude, urbanized terrains.

Постановка проблеми. Екологічні дослідження урбанізованих територій та оцінка стану міського середовища є пріоритетними напрямками науки сьогодення. Їх актуальність обумовлена необхідністю виявлення факторів і причин формування екологічної ситуації в містах, виділення суттєвих проблем і вивчення просторової диференціації урбанізованих територій з метою створення комфортного середовища проживання міського населення.

Актуальність дослідження. Актуальність досліджень закономірностей розподілу кадмію в едафотопіях урбанізованих територій важлива також у плані розширення інформаційної бази спостережень і обумовлена необхідністю сучасного фактичного аналізу екологічного стану промислового міста Кам'янське. Це може бути досягнуто за допомогою досліджень геохімічної структури ландшафтів, тобто латерального та радіального розподілу Cd в едафотопіях урбанізованих територій міста.

Виклад основного матеріалу. Геохімічна структура ландшафтів базується на вченні про геохімічні бар'єри О. І. Перельмана [5; 6] та доповнена сучасними дослідженнями М. К. Чертко та інших вчених [1; 3; 7; 8; 14; 16; 20–22]. Зовнішні фактори міграції визначають їх умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів [12; 13], в результаті чого формуються просторові закономірності розподілу, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках [2; 10; 17–19]. Принцип виділення геохімічної структури заснований на аналізі особливості концентрації хімічного елементу в латеральній та радіальній структурі.

Коротко охарактеризуємо види латеральної та радіальної структур ландшафтів. Латеральна геохімічна структура в межах екологічного профілю (катени) представлена п'ятьма видами. Висхідна (асцендіальна) характеризується підвищенням концентрації елементів у напрямку супераквального ландшафту. Спадна (дисцендіальна) відмічається підвищенням кількості елементів в напрямку елювіального ландшафту. Радіальна геохімічна структура більш різноманітна і нараховує вісім видів. У невиразній структурі хімічні елементи розподіляються рівномірно або близько до рівномірного по всьому вертикальному профілю ґрунт-порода. За концентрацією елементів в гумусовому горизонті ґрунту виділяється гумусова структура. Якщо відбувається перерозподіл колоїдних часток з хімічними елементами за глибиною профілю ґрунтів і порід, а їх вміст поступово збільшується з глибиною, такий розподіл елементів характеризується лесивованою структурою.

Одним з найважливіших компонентів біогеоценозу (урбосистеми) є ґрунти, які здатні поглинати більшу частину забруднювачів з аеральних потоків. Відомо, що навколо джерел промислових аерозольних викидів в атмосферу утворюється локальна зона підвищених (порівняно з природним фоном) концентрацій забруднюючих речовин у ґрунті [15].

Визначення меж локальної зони забруднення досить умовне, оскільки воно залежить від можливості розділити фоновий вміст металів у ґрунті від кількості хімічного елементу, що потрапила у ґрунт з певного джерела. Відомо, що довжина зони локального забруднення ґрунтів металами досягає 10–20 км. При цьому найбільш високі рівні забруднення відзначаються у зоні 3–5 км від джерела. Найбільша довжина локальної зони забруднення збігається з напрямком переважаючого вітру [9]. Вона залежить також від висоти дисперсного складу викиду, швидкості вітру, кількості опадів і його розподілу за розгою вітрів та інших факторів [2; 4; 10; 11].

Для створення цілісної характеристики вмісту кадмію в едафотопіях м. Кам'янське (рис. 1) застосовано системний підхід оцінювання екологічних проблем в урбосистемах з різним ступенем техногенного навантаження.

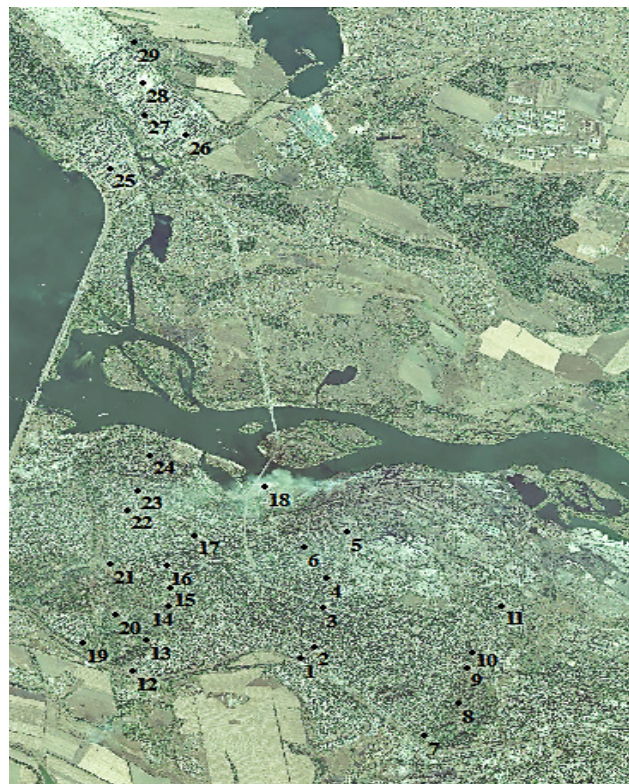


Рис. 1. Картосхема екологічних профілів м. Кам'янське (цифра – точка відбору проб (т.) – пробна ділянка)

Для оцінки розповсюдження кадмію в ґрунтах міста Кам'янське проведено ретельне ґрунтове обстеження, виділено 29 пробних ділянок (точки – т. – на картосхемі), закладених з півдня на північ, згідно рози вітрів і альтитути. Пробні ділянки утворюють п'ять екологічних профілів едафотопів на території м. Кам'янське. Кожен із закладених профілів має значну амплітуду перепаду висот, проте, усі з п'яти наближаються до стаціонарних джерел антропогенного забруднення, якими виступають промислові підприємства та автомагістралі міста. Найбільш показовими з вмісту та розповсюдження Cd є екологічний профіль едафотопів № 2 (т. 1–6), який закладено уздовж центральної транспортної магістралі міста та наближені до металургійного підприємства ПАТ «Каметсталь» (колишній «Дніпровський меткомбінат»). Екологічний профіль едафотопів № 5 (т. 25–29), розташований у лівобережній селитебній частині міста зі значною віддаленістю від основних галузей підприємства. На кожній пробній ділянці закладався ґрунтовий розріз глибиною 150 см. Вибір

ґрунтових зразків проводився через 10 см за допомогою агрохімічного буру (на першому етапі було відібрано 435 проб). Для подальшого аналізу кількість проб була скорочена, за визначеною нами морфологічною будовою, у чотири ґрунтові горизонти: 0–10; 20–50; 50–80; 120–150 см відповідно, та становила 116 ґрунтових зразків. Дослідження проводились у п'яти-семикратній повторюваності.

Зовнішні фактори міграції визначають умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів. В результаті формуються просторові закономірності розподілу Cd, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках. З отриманих у роботі даних прослідковується тенденція до збільшення вмісту валової форми кадмію з півдня на північ при наближенні до промислової зони, що розташована в північній правобережній частині міста (табл. 1).

Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 1–6), зокрема для корененасиченого ґрунтового гори-

Таблиця 1

Концентрація кадмію в екологічному профілю едафотопів № 2 урбанізованих територій (центрально правобережна частина м. Кам'янське), мг/кг абсолютно-сухого ґрунту

Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Валова форма Cd				Рухома форма Cd			
		Cmax	Cmin	$\bar{C}$	% до еталону	Cmax	Cmin	$\bar{C}$	% до еталону
0–10	1	2,82	2,32	2,57	856,7	0,087	0,073	0,080	8,0
	2	2,92	2,46	2,69	896,7	0,082	0,078	0,080	8,0
	3	4,04	3,34	3,69	1230,0	0,171	0,159	0,160	16,0
	4	6,19	5,11	5,65	1883,3	0,112	0,108	0,110	11,0
	6	7,26	6,22	6,74	2246,7	0,535	0,485	0,510	51,0
	5	8,21	6,97	7,59	2530,0	1,065	0,895	0,980	98,0
20–50	1	2,74	2,28	2,51	836,7	0,172	0,148	0,160	16,0
	2	2,69	2,39	2,54	846,7	0,083	0,077	0,080	8,0
	3	3,68	3,12	3,40	1133,3	0,083	0,077	0,080	8,0
	4	6,10	5,08	5,59	1863,3	0,081	0,079	0,080	8,0
	6	6,90	5,72	6,31	2103,3	0,392	0,368	0,380	38,0
	5	7,96	6,66	7,31	2436,7	0,793	0,667	0,730	73,0
50–80	1	2,42	2,00	2,21	736,7	0,151	0,129	0,140	14,0
	2	2,72	2,26	2,49	830,0	0,082	0,078	0,080	8,0
	3	3,40	2,90	3,15	1050,0	0,052	0,048	0,050	5,0
	4	4,92	4,08	4,50	1500,0	0,061	0,059	0,060	6,0
	6	6,42	5,30	5,86	1953,3	0,360	0,340	0,350	35,0
	5	5,43	4,59	5,01	1670,0	0,419	0,361	0,390	39,0
120–150	1	2,21	1,81	2,01	670,0	0,150	0,130	0,140	14,0
	2	2,15	1,85	2,00	666,7	0,081	0,079	0,080	8,0
	3	2,67	2,37	2,52	840,0	0,041	0,039	0,040	4,0
	4	4,49	3,71	4,10	1376,7	0,061	0,059	0,060	6,0
	6	5,90	4,94	5,42	1806,7	0,320	0,300	0,310	31,0
	5	4,70	4,08	4,39	1463,3	0,382	0,378	0,380	38,0
0–50	Еталон	0,3				0,1			
	ГДК (регіональний фон)	3,0				0,7			

зонту (до 50 см), що свідчить, вірогідно, про техногенне надходження кадмію в едафотопи урбанізованих територій.

За інтервалом варіювання вмісту мікроелементу екологічного профілю едафотопів № 2 максимальні значення концентрації важкого металу зафіксовано у корененасиченому шарі ґрунту (0–10 см). Вміст валової форми елементу в ґрунті коливається в межах $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальні значення – т. 1 і 2) та $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальні значення – т. 6 і 5) валової форми, перевищення ГДК в 2,39 рази. Щодо рухомої форми Cd простежується аналогічна тенденція $0,08 \pm 0,007$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальне значення – т. 2) та $0,98 \pm 0,0085$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальне значення – т. 5), незначне перевищення ГДК. Відмічено тенденцію підвищення концентрації валової і рухомої форм Cd зі зниженням рельєфу – висхідний (асцендіальний) латеральний розподіл (рис. 2).

Концентрація валових форм Cd (шар ґрунту 0–50 см) екологічного профілю едафотопів № 1 варіює в межах $1,57 \pm 0,05$ мг/кг ґрунту (мінімальне значення – т. 8) та $4,73 \pm 0,15$ мг/кг ґрунту (максимальні значення – т. 7), перевищення ГДК в 1,58 рази. Стосовно рухомої форми кадмію, відмічено вміст $0,09 \pm 0,005$ (мінімальне значення – т. 7) та $0,45 \pm 0,035$ мг/кг ґрунту (максимальне значення – т. 10), мінімальне перевищення ГДК. Екологічний профіль едафотопів № 1 характеризується спадною (дисцендіальною) латеральною тенденцією. Концентрація валових форм Cd (шар ґрунту 0–50 см) екологічного профілю едафотопів № 3 варіює в межах (мінімальні значення – т. 12 – $1,43 \pm 0,04$ мг/кг ґрунту, максимальні – т. 17 – $3,78 \pm 0,21$ мг/кг ґрунту,

перевищення ГДК в 1,26 рази; рухомих форм кадмію: мінімальні значення (т. 12) – $0,09 \pm 0,005$ мг/кг ґрунту, й максимальні (т. 17) – $0,24 \pm 0,015$ мг/кг ґрунту, відповідно, в межах ГДК. У екологічному профілі едафотопів № 3 відмічено пікоподібну латеральну структуру. Концентрації валових форм Cd екологічного профілю едафотопів № 4 варіює в діапазоні: мінімальне значення (т. 24) – $1,78 \pm 0,03$, максимальне (т. 22) – $3,01 \pm 0,18$, і рухомих – мінімальні значення (т. 22 і 23) – $0,08 \pm 0,003$, максимальні (т. 24) – $0,55 \pm 0,031$ абсолютно сухого ґрунту, відповідно, не перевищує допустимі нормативи. Екологічний профіль едафотопів № 4: пікоподібна латеральна структура. Інтервал варіювання концентрації кадмію в едафотопі екологічного профілю едафотопів № 5 лівобережної частині міста: вміст валових і рухомих форм в максимальному та мінімальному значенні в корененасиченому шарі ґрунту: мінімальні значення (т. 27) становлять $0,49 \pm 0,02$, максимальні (т. 25) – $1,06 \pm 0,05$ мг/кг ґрунту; мінімальні значення (т. 28) – $0,04 \pm 0,002$, максимальні (т. 29) – $0,35 \pm 0,021$ мг/кг абсолютно сухого ґрунту, відповідно, відсутнє перевищення ГДК. Для екологічного профілю едафотопів № 5 характерна рівномірна латеральна структура. Радіальний вид структури ландшафтів екологічних профілів едафотопів № 1–4 – гумусовий, в екологічному профілі едафотопів № 5 – невиразний.

Головні висновки. Максимальна акумуляція кадмію спостерігається в ґрунтах, що перебувають у умовах максимального антропо-техногенного пресу, а саме розташованих поблизу великих промислових підприємств і транспортних розв'язок, що виступають основними джерелами надходження кадмію у повітря м. Кам'янське та, як наслідок, у його ґрунтовий покрив. Узагальнено особливості розподілу

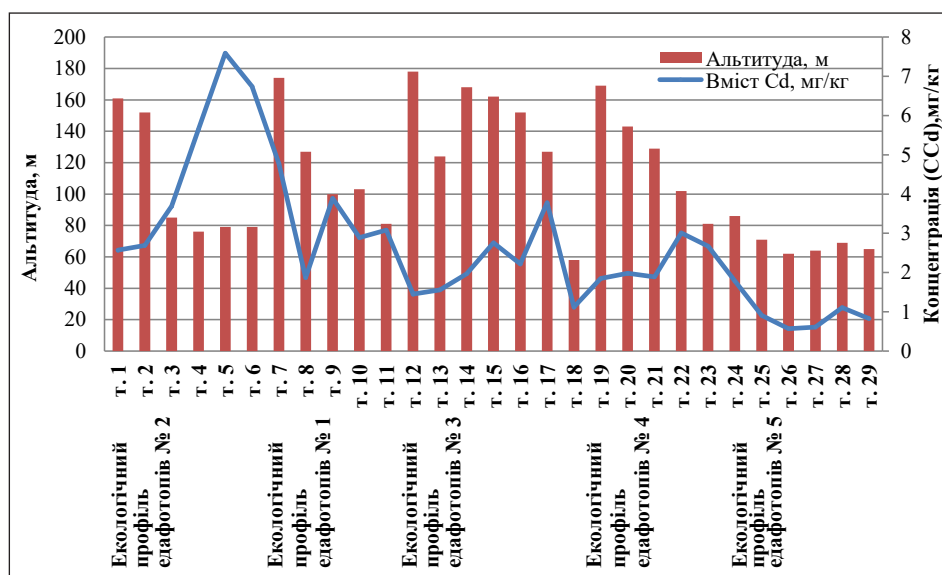


Рис. 2. Латеральний розподіл вмісту Cd (валова форма) в екологічних профілях едафотопів урбанізованих територій міста

Cd Екологічного профілю № 2 латерально, визначено висхідний (асцендіальний) вид структури ландшафту, оскільки саме цей вид характеризується підвищенням концентрації кадмію з пониженням рельєфу. Враховуючи концентрацію валової форми кадмію та альтитуду досліджуваних ділянок (точок) латеральний вид структури ландшафту утворює висхідний ряд: т. 1 – $C_{Cd}^{вал.} (2,57 \pm 0,25 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (161 м) → т. 2 – $C_{Cd}^{вал.} (2,69 \pm 0,27 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (152 м) → т. 3 – $C_{Cd}^{вал.} (3,69 \pm 0,35 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (85 м) → т. 4 – $C_{Cd}^{вал.} (5,65 \pm 0,54 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (76 м) → т. 5 – $C_{Cd}^{вал.} (7,59 \pm 0,62 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (79 м) → т. 6 – $C_{Cd}^{вал.} (6,74 \pm 0,52 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (79 м). Аналіз розподілу Cd радіально (шар ґрунту 0–150 см) в Екологічному профілі № 2 дозволив виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів:

1) невиразний (т. 1 і 2) – плантоземи району житлової забудови біля залізничного та автовокзалів характеризуються незначною зміною вмісту валової форми кадмію; 2) гумусовий (т. 4, 5, 6) – власне урбаноземи, плантоземи, природні порушені ґрунти відзначаються максимальним рівнем вмісту валової форми Cd у ґрунтовому горизонті. Радіальний розподіл рухомої форми кадмію у плантоземах пробних ділянок показав, що інтервал варіювання збільшується з глибиною ґрунтового профілю. Встановлено лесивирований вид структури ландшафту. Інтервал варіювання рухомої форми Cd в ґрунтах пробної ділянки (т. 2) залишається незмінним по всьому генетичному горизонті і складає $0,08 \pm 0,002$ – $0,08 \pm 0,01 \text{ мг/кг}$ ґрунту, що дало підставу охарактеризувати цей вид ландшафту за геохімічною структурою як невиразний.

Література

1. Касимов Н. С. Базовые концепции и принципы геохимии ландшафтов. Геохимия ландшафтов и география почв. 2002. С. 23–39.
2. Кураева И. В. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах техногенно-загрязненных территорий. Минералогический журнал. 1997. 6. С. 53–57.
3. Мицкевич Б. Ф. Геохимические ландшафты Украинского щита. Київ : Наукова Думка, 1971. 174 с.
4. Мицкевич Б. Ф., Сушиц Ю. Я. Основы ландшафтно-геохимического районирования. Київ : Наукова Думка, 1981. 176 с.
5. Пейве Я. В. Биохимия почв. Москва : Сельхозгиз, 1961. 422 с.
6. Перельман А. И. Геохимия. Москва : Высшая школа, 1975. 341 с.
7. Полюнов Б. Б. Учение о ландшафтах. Москва : АН СССР, 1956. 751 с.
8. Савосько В. Н. Экологическая роль геохимических барьеров в распределении аэротехногенных тяжелых металлов в почвах Кривбаса. Вопросы биоиндикации и экологии. 2000. 5. С. 145–153.
9. Савосько В. Н. Локальное фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Криворожского железорудного региона. Грунтознавство. 2009. 10 (3–4). С. 64–73.
10. Самчук А. І., Кураєва І. В., Войтюк Ю. Ю., Матвієнко О. В., Вовк К. В. Форми знаходження важких металів у техногенно забруднених ґрунтах міських агломерацій. Мінералогічний журнал. 2016. 38 (4). С. 66–73.
11. Сараненко І. І. Екологічні дослідження лісових культурбіогеоценозів м. Кременчука. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2011. 154 с.
12. Узбек І. Х., Шеманев В. І., Галаган Т. І., Волох П. В. Техногенные ландшафты как объект исследования. Грунтознавство. 2007. 8 (3–4). С. 41–45.
13. Узбек І. Х., Галаган Т. І. Едафотопи техногенних ландшафтів як біокосні підсистеми. Грунтознавство. 2008. 9 (1–2). С. 73–78.
14. Цветкова Н. М., Тагунова Е. О. Геохімічні бар'єри в розподілі мангану в едафотопях Присамар'я Дніпровського. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2015. 23 (1). С. 3–9.
15. Цветкова Н. М., Пахомов О. Є., Сердюк С. М., Якуба М. С. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. ґрунти. Метали у ґрунтах. Дніпропетровськ : Ліра, 2016. 180 с.
16. Чертко Н. К., Ковальчик Н. В., Хомич В. С., Карпиченко А. А., Жумарь П. В., Тимофеева Т. А. Геохимия ландшафта. Минск : БГУ, 2011. 303 с.
17. Чмиленко Ф. А., Смитюк Н. М. О содержании подвижных форм тяжелых металлов в почве г. Днепропетровска. Вісник ДНУ. Біологія. Екологія. 2001. № 9 (2). С. 128–131.
18. Якушевская И. В. Микроэлементы в природных ландшафтах. Москва : МГУ, 1973. 136 с.
19. Fu H., Zhang B., Yang J., Liu H., Yang S., Zhao P. Cadmium and Lead speciation as affected by soil amendments in calcareous soil. Environmental Engineering Science. 2018. 35 (9). P. 937–942.
20. Gunko S. O., Tsvetkova N. M., Neposhivaylenko N. O. The interpolation of cadmium in soils urbanized territory of steppe Dnieper region using geoinformation modeling methods. Biosystems Diversity. 2018. 26 (2). 145–153. DOI: 10.15421/011823
21. Gong X., Huang D., Liu Y., Zeng G., Wang R., Wan J., Zhang C., Cheng M., Qin X., Xue W. Stabilized nanoscale zerovalent iron mediated cadmium accumulation and oxidative damage of *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich cultivated in cadmium contaminated sediments. Environmental Science & Technology. (2017). 51 (19). P. 11308–11316.
22. Santos F., van Gestel C., Amorim M. (). Toxicokinetics of copper and cadmium in the soil model *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta). Chemosphere. 2021. 270. Article 129433. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.129433

ФАУНІСТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА УГРУПОВАНЬ КОЛОВЕРТОК (*ROTIFERA: ROTATORIA*) ВОДОЙМИ ГЛИННА НАВАРІЯ

Іванець О.Р.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, 79005, м. Львів
oleh_ivanets@ukr.net

Представлена фауністична структура ротаторіоценозу водойми Глинна Наварія (Щирецьке водосховище). Основою роботи послужили 483 зразки, зібрані загальноприйнятими у гідробіології методами протягом 2007–2018 років. Зареєстровано 35 видів коловерток, що належать до 12 родин (*Asplanchnidae*, *Brachionidae*, *Epiphanidae*, *Euchlanidae*, *Lecanidae*, *Notommatidae*, *Synchaetidae*, *Trichocercidae*, *Conochilidae*, *Filiniidae*, *Hexarthridae*, *Testudinellidae*) і 15 родів (*Asplanchna*, *Asplanchnopus*, *Brachionus*, *Keratella*, *Platytas*, *Epiphanes*, *Euchlanis*, *Lecane*, *Cephalodella*, *Polyarthra*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Filinia*, *Hexarthra*, *Testudinella*).

За кількістю родів найбільш презентабельною є родина *Brachionidae*, яка включає три роди: *Brachionus*, *Keratella*, *Platytas*. До родини *Asplanchnidae* належать два роди: *Asplanchna* і *Asplanchnopus*. Інші родини включають по одному роду.

У спектрі видів найбільш презентабельним є рід *Brachionus* (10 видів), що становить 29 % від загального числа видів. Сім родів (*Platytas*, *Asplanchnopus*, *Epiphanes*, *Cephalodella*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Hexarthra*) представлені лише одним видом, що складає 3 % для кожного роду від загального числа видів. Чотири роди (*Euchlanis*, *Lecane*, *Filinia*, *Testudinella*) представлені двома видами (по 6 % для кожного роду у фауні коловерток). Два роди (*Keratella*, *Polyarthra*) представлені трьома видами (9 %). Дещо більша видова представленість властива для роду *Asplanchna* (4 види, 11 % у фауністичній структурі ротаторіоценозу).

У цілому, значимість родин коловерток ротаторіоценозу у спектрі видів має такі закономірності. Родина *Brachionidae* є найбільш презентабельною за цим показником і складає 40 % від загального видового складу. Найменш презентабельними (по 5 % для кожної родини) у видовому відношенні є 5 родин (*Epiphanidae*, *Notommatidae*, *Trichocercidae*, *Conochilidae*, *Hexarthridae*). Удвічі більша видова представленість (по 6 %) характерна для 4 родин: *Euchlanidae*, *Lecanidae*, *Filiniidae*, *Testudinellidae*. Для родини *Synchaetidae* цей показник становить 7 %. Більш вагомі значення властиві для родини *Asplanchnidae* (14 % від загального числа видів у ротаторіоценозі). **Ключові слова:** коловертки, фауна, Глинна Наварія, *Rotifera*, *Rotatoria*.

Faunistic characteristics of groups of rotifers (*Rotifera* : *Rotatoria*) of the Hlynna Navariya reservoir. Ivanets O.

The faunal structure of the rotatoriocenosis of the Glinna Navariya reservoir (Shchyrets Reservoir) is presented. The work was based on 483 samples collected by generally accepted methods in hydrobiology during 2007–2018. There are 35 species of rotifers belonging to 12 families (*Asplanchnidae*, *Brachionidae*, *Epiphanidae*, *Euchlanidae*, *Lecanidae*, *Notommatidae*, *Synchaetidae*, *Trichocercidae*, *Conochilidae*, *Filiniidae*, *Hexarthridae*, *Testudinellidae*) were registered and 15 genera (*Asplanchna*, *Asplanchnopus*, *Brachionus*, *Keratella*, *Platytas*, *Epiphanes*, *Euchlanis*, *Lecane*, *Cephalodella*, *Polyarthra*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Filinia*, *Hexarthra*, *Testudinella*).

By the number of genera, the most presentable is the family *Brachionidae*, which includes three genera: *Brachionus*, *Keratella*, *Platytas*. The family *Asplanchnidae* includes two genera: *Asplanchna* and *Asplanchnopus*. Other families include one genus.

In the spectrum of species the most present is the genus *Brachionus* (10 species), which is 29 % of the total number of species. Seven genera (*Platytas*, *Asplanchnopus*, *Epiphanes*, *Cephalodella*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Hexarthra*) are represented by only one species, which is 3 % for each genus of the total number of species. Four genera (*Euchlanis*, *Lecane*, *Filinia*, *Testudinella*) are represented by two species (6 % for each genus in *Rotatoria* fauna). Two genera (*Keratella*, *Polyarthra*) are represented by three species (9 %). Slightly higher species representation for the genus *Asplanchna* (4 species, 11 % in the faunal structure of the rotatoriocenosis). In general, the significance of rotifer families in the rotatoriocenosis in the spectrum of species has the following regularities. The family *Brachionidae* is the most presentable in this respect and accounts for 40 % of the total species composition. The least presentable (5 % for each family) in terms of species are 5 families (*Epiphanidae*, *Notommatidae*, *Trichocercidae*, *Conochilidae*, *Hexarthridae*). Twice as many species (6 % each) are characteristic of 4 families: *Euchlanidae*, *Lecanidae*, *Filiniidae*, *Testudinellidae*. For the family *Synchaetidae*, this figure is 7 %. More significant values are characteristic of the family *Asplanchnidae* (14 % of the total number of species in the rotatoriocenosis). **Key words:** rotifers, fauna, Hlynna Navariya, *Rotifera*, *Rotatoria*.

Постановка проблеми. Коловертки є важливим компонентом зоопланктонних угруповань і відіграють важливу роль у функціонуванні гідроекосистем. Гідробіонти, відповідно до положень Водної рамкової директиви, відіграють ключову роль у проведенні гідроекологічного моніторингу [1]. Зоопланктон, як компонент біоти, включений у систему комплекс-

ної оцінки стану водних об'єктів України [2; 3]. Організми зоопланктону і, зокрема, коловертки відіграють важливу роль у функціонуванні гідроекосистем, значною мірою визначають їх продукційні характеристики.

Гідроекосистеми регіону Українського Розточчя на теренах якого розташована досліджувана водойма

відіграють важливу роль у детермінації процесів, що обумовлюють структурно-функціональні характеристики гідробіоценозів східної і центральної Європи. По цих теренах проходить Головний європейський вододіл. З огляду на значимість даного регіону на Розточчі створений біосферний резерват ЮНЕСКО (Biosphere Reserves) «Розточчя», який включений до світової мережі біосферних заповідників.

Актуальність дослідження. Даних щодо характеристик регіональних фаун зоопланктону і, зокрема, коловерток недостатньо. Водночас, такі матеріали є основою гідроекологічного моніторингу водойм означеного регіону, вони необхідні у вивченні процесів трофодинаміки водойм, продукційно-деструкційних характеристик. Такі матеріали особливо важливі при дослідженні санітарного стану водойм методами біологічної індикації якості води. Вони необхідні і при дослідженні кормової бази та раціонів угруповань іхтіофауни.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження проводилось в межах науково-дослідних тем «Ценотичні зв'язки ключових видів як основа збереження та відтворення біорізноманіття водотоків Європейського вододілу» та «Оптимізація екологічної мережі транскордонних об'єктів природно-заповідного фонду заходу України у рамках Програми ЮНЕСКО «Людина та біосфера».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фауна коловерток заходу України досліджувалася у структурі зоопланктоценозів водойм різноманітного типу [4; 5; 6; 7; 8; 9; 10].

Літературних даних щодо гідробіологічних та гідрохімічних характеристик водойми Глинна Наварія небагато. Схарактеризуємо гідрохімічні особливості Глинної Наварії за [11]. Вказується [11], що на особливості гідрохімічного режиму цієї водойми значною мірою впливають джерела водопостачання. У водоймі відзначено незначне органічне забруднення. Показник споживання кисню при цьому змінюється в межах від 4,4 до 10,0 мгО/л [11].

Значення рН змінюється в межах від 8,37 до 8,58. Амонійний і нітратний азот відсутній. Нітритний азот зафіксовано лише на деяких станціях дослідження в незначних концентраціях (0,013–0,021 мгN/дм³). Це вказує на те, що азотовмісні органічні речовини, які поступово включаються в біологічні цикли надходять у водойму в незначних кількостях. Вміст заліза у воді також низький. Концентрація мінерального фосфору невисока і досягає 0,18 мгP/дм³. Така концентрація фосфору забезпечує розвиток фітопланктонних угруповань, які, як продуценти, є основою розвитку трофічних ланцюгів. Водночас, така незначна концентрація фосфору не сприяє активному розвитку процесів «цвітіння». Твердість води детермінується, насамперед, наявністю значної кількості джерельної високомінералізованої

води. Значення цього показника варіює у межах 5,7–6,1 мг-екв./дм³ [11].

Досить висока концентрація кальцію (86,4–95,4 мг/дм³) покращує санітарний стан водойми, оскільки у твердій воді знижується токсична дія багатьох солей металів. Сульфати не становлять серйозної загрози для гідробіонтів з огляду на високу мінералізацію та буферну стійкість системи. Найбільш мінералізованою є вода на витокі водойми. Сума солей у цій локації становить 543,6 мг/дм³. Концентрація кисню досить висока і становить 9,11–11,1 мг/дм³. Це забезпечує належні умови для рибних угруповань водойми. Відзначається, що у цілому, якість води Глинної Наварії відповідає рибогосподарським показникам. Водночас, найбільше забруднення помітне у локації впадання у водойму малих річок з с. Малечковичі і с. Годовиця [11]. Досліджувалося також формування весняного зоопланктону Глинної Наварії [12]. Показано, зокрема, що у цей період із коловерток у водоймі траплялися, насамперед *B. calyciflorus*, *K. quadrata* та *A. priodonta*.

Відзначається також, що водойма Глинна Наварія відіграє важливу роль у формуванні ландшафтно-екологічних передумов міського середовища. Ця водойма розташовується на південно-західній стороні околиць м. Львів і є базовою структурою гідропарку [13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою нашої роботи було дослідити фауністичну структуру угруповань коловерток водойми Глинна Наварія (Щирецьке водосховище), з'ясувати значимість таксонів коловерток означеної водойми в спектрі родин, родів та видів по відношенню до загальних характеристик ротаторіоценозу.

Досягнення цієї мети передбачає вирішення таких завдань: 1) впорядкування списку фауни коловерток з врахуванням сучасних таксономічних поглядів; 2) дослідження розподілу родин коловерток за середньозваженою значимістю в структурі ротаторіоценозу; 3) дослідження розподілу родів коловерток за середньозваженою значимістю в структурі ротаторіоценозу.

Новизна. З врахуванням сучасних таксономічних підходів проведено аналіз фауністичної структури ротаторіоценозів водойми Глинна Наварія.

Показано значимість родин коловерток, які зареєстровані у ротаторіоценозі, в загальній структурі угруповання. Представлено розподіл родів коловерток за середньозваженою значимістю з врахуванням видової репрезентативності. З'ясовано, у цілому, вагомість та презентабельність таксонів коловерток у спектрі родин, родів та видів з врахуванням загальних характеристик ротаторіоценозу.

Методологічне або загальнонаукове значення. Вивчення фауністичних характеристик ротаторіоценозів є важливими з огляду на значимість угруповань

коловерток у детермінації продукційно-деструкційних процесів. При цьому особливу увагу треба звернути на представників роду *Asplanchna*, які є поліфагами і можуть харчуватися іншими коловертками [14; 15]. Такі дослідження є необхідними при визначенні особливостей трофодинаміки водойм, з'ясуванні раціонів гідробіонтів, зокрема, угруповань іхтіофауни. Фауністичний аналіз ротаторіоценозів є необхідним при вивченні процесів самоочищення водойм, які значною мірою забезпечуються популяціями коловерток при їх масовому розмноженні. Такі роботи важливі і з огляду на застосування методів біологічної індикації якості води при встановленні санітарного стану водойм. Методологічні особливості таких підходів базуються, насамперед, на відомостях щодо фауністичної характеристики угруповань, сапробіологічних критеріях окремих таксонів з врахуванням особливостей кількісного розвитку тих чи інших популяцій гідробіонтів.

Матеріал та методи досліджень. Основою роботи послужили матеріали (483 проби), зібрані у водоймі Глинна Наварія протягом 2007–2018 років загальноприйнятими в гідробіології методами [16; 17; 18]. Дослідження 573 особин проводили на живому і фіксованому матеріалі. Визначення видової приналежності коловерток проводили відповідно до [19].

Для ідентифікації та виділення жувальних апаратів при визначенні коловерток роду *Asplanchna*, коловертки переносилися на окремі предметні скельця і, в подальшому, оброблялися жавелевою водою та іншими хлоровмісними речовинами [15; 16]. Список фауни коловерток впорядковували відповідно до рекомендацій [20; 21].

Виклад основного матеріалу. Коловертки відіграють важливу роль у функціонуванні гідроекосистем. Дослідження ротаторіоценозів Галичини, як компонентів зоопланктонних угруповань, віддавна привертала увагу дослідників. Перші відомості щодо коловерток Галичини та прилеглих теренів, які вивчалися у структурі зоопланктонних угруповань, знаходимо у видатного польського гідробіолога А. Вежейського [22; 23; 24; 25; 26]. Водночас, і на сьогодні ротаторіоценози окремих регіонів України і, зокрема, Українського Розточчя вивчені недостатньо. Мало даних, щодо регіональних фаун коловерток та ротаторіоценозів окремих водойм, які відіграють важливу роль у функціонуванні гідрографічної мережі регіону досліджень.

Саме тому, метою нашої роботи було проаналізувати фауністичну структуру ротаторіоценозу Глинної Наварії, який є одним з ключових елементів, що детермінує продукційно-деструкційні процеси. При цьому брали до уваги, що водойма розташована в регіоні Українського Розточчя гідроекосистеми якого мають вагомий роль у центральній та східній Європі.

Значимість та унікальність цих теренів обумовлена тим, що з огляду на орографічну характеристику,

Розточчя належить до височини вододільного типу. Саме по південно-східних теренах Розточчя проходить частина Головного Європейського вододілу, який поділяє басейни Чорного і Балтійського морів. На унікальність цього регіону ще у XIX столітті звертав увагу А. Ломницький, який проводив геологічні дослідження в околицях м. Жовкви, що на Львівщині [27; 28].

Водойма Глинна Наварія (інша назва цієї водойми – Щирецьке водосховище) розташовується у регіоні східного Прикарпаття. З адміністративної точки зору – це Пустомитівський район Львівської області.

Водойма штучна, побудована 1949 року на р. Щирка (басейн р. Дністер) приблизно за 10 км від м. Львова. За своєю гідрологічною характеристикою Глинна Наварія є водосховищем руслового типу площею 1,15 км². Довжина цієї водойми – 4,7 км, ширина – 0,42 км, об'єм – 4,15 км³. Середня глибина становить 3,6 м, найбільша глибина – 7,8 м. Ця водойма використовується для технічного водопостачання, рекреації та риболовлі. [29; 30].

Фауна коловерток водойми Глинна Наварія представлена наступними таксонами.

Коловертки водойми Глинна Наварія

Родина *Asplanchnidae* Eckstein, 1883

Під *Asplanchna* Gosse, 1850

Asplanchna girodi de Guerne, 1888

Asplanchna henrietta Langhans, 1906

Asplanchna herricki de Guerne, 1888

Asplanchna priodonta Gosse, 1850

Під *Asplanchnopus* Guerne, 1888

Asplanchnopus multiceps (Schrank, 1793)

Родина *Brachionidae* Ehrenberg, 1838

Під *Brachionus* Pallas, 1766 (55 spp.)

Brachionus angularis angularis Gosse, 1851

Brachionus angularis bidens Plate, 1886

Brachionus angularis Gosse, 1851

Brachionus calyciflorus calyciflorus Pallas, 1766

Brachionus calyciflorus Pallas, 1776

Brachionus diversicornis (Daday, 1883)

Brachionus diversicornis diversicornis (Daday, 1883)

Brachionus leydigii Cohn, 1862

Brachionus quadridentatus Hermann, 1783

Brachionus quadridentatus quadridentatus Hermann, 1783

Під *Keratella* Bory de St. Vincent, 1822

Keratella cochlearis (Gosse, 1851)

Keratella quadrata (Müller, 1786)

Keratella tecta (Gosse, 1851):

Під *Platylas* Harring, 1913

Platylas quadricornis (Ehrenberg, 1832)

Родина *Epiphanidae* Harring, 1913

Під *Epiphanes* Ehrenberg, 1832

Epiphanes senta (Müller, 1773)

Родина *Euchlanidae* Ehrenberg, 1838

Під *Euchlanis* Ehrenberg, 1832

Euchlanis dilatata Ehrenberg, 1832

Euchlanis lyra Hudson, 1886
Родина Lecanidae Remane, 1933
Рід *Lecane* Nitzsch, 1827
Lecane luna (Müller, 1776)
Lecane nana (Murray, 1913)
Родина Notommatidae Hudson and Gosse, 1886
Рід *Cephalodella* Bory de St. Vincent, 1826
Cephalodella auriculata (Müller, 1773)
Родина Synchaetidae Hudson and Gosse, 1886
Рід *Polyarthra* Ehrenberg, 1834
Polyarthra dolichoptera Idelson, 1925
Polyarthra luminosa Kutikova, 1962
Polyarthra vulgaris Carlin, 1943
Родина Trichocercidae Harring, 1913
Рід *Trichocerca* Lamarck, 1801
Trichocerca cylindrica (Imhof, 1891)
Родина Conochilidae Harring, 1913
Рід *Conochilus* Ehrenberg, 1834
Conochilus unicornis Rousselet, 1892
Родина Filiniidae Harring and Myers, 1926
Рід *Filinia* Bory de St. Vincent, 1824
Filinia longiseta (Ehrenberg, 1834)
Filinia major Colditz, 1914
Родина Hexarthridae Bartos, 1959
Рід *Hexarthra* Schmarda, 1854
Hexarthra mira (Hudson, 1871)
Родина Testudinellidae Harring, 1913
Рід *Testudinella* Bory de St. Vincent, 1826
Testudinella parva (Ternetz, 1892)
Testudinella patina (Hermann, 1783)

Проаналізуємо таксономічну структуру ротаторіоценозу водойми Глинна Наварія (табл. 1). Виявлено 35 видів коловерток, що належать до 12 родин і 15 родів. До родини *Brachionidae*

належать три роди: *Brachionus* (10 видів), *Keratella* (3 види) і *Platytias* (1 вид). До родини *Asplanchnidae* належать два роди: *Asplanchna* (4 види) і *Asplanchnopus* (1 вид).

Всі інші родини включають по одному роду. Водночас, враховуючи видову структуру, зазначаємо деякі відмінності. Так, рід *Polyarthra* включає 3 види. Роди *Euchlanis*, *Lecane*, *Filinia*, *Testudinella* включають по 2 види. Роди *Epiphanes*, *Cephalodella*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Hexarthra* включають по 1 виду.

Схарактеризуємо репрезентативність родів у родинях за числом видів. У родині *Brachionidae* найбільш презентабельним є рід *Brachionus* (10 видів), що становить 71 % від загальної кількості видів цієї родини. Рід *Keratella* об'єднує 3 види, що складає 21 %. Рід *Platytias* включає лише один вид, що становить 7 % від загального числа видів у родині *Brachionidae*.

У родині *Asplanchnidae* більш презентабельним є рід *Asplanchna* (4 види), що становить 80 % від загального числа видів у роді. Рід *Asplanchnopus* цієї родини представлений одним видом, що складає 20 %.

У інших родинях представлено лише по одному роду, що складає, відповідно, для кожного роду по 100 %.

Схарактеризуємо, у цілому, ротаторіоценоз водойми Глинна Наварія у видовому спектрі. Так, види роду *Brachionus* складають 29 % від загальної кількості видів у ротаторіоценозі – це найвищий показник.

Найнижчими показниками характеризуються роди *Platytias*, *Asplanchnopus*, *Epiphanes*, *Cephalodella*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Hexarthra*.

Таблиця 1

Розподіл таксонів за середньозваженою значимістю в структурі ротаторіоценозу водойми Глинна Наварія

№ п/п	Родини	Роди	А	Б	В	Г	Д
1	Brachionidae	<i>Brachionus</i>	10	71	29	19	40
		<i>Keratella</i>	3	21	9		
		<i>Platytias</i>	1	8	3		
2	Asplanchnidae	<i>Asplanchna</i>	4	80	11	11	14
		<i>Asplanchnopus</i>	1	20	3		
3	Synchaetidae	<i>Polyarthra</i>	3	100	9	7	7
4	Euchlanidae	<i>Euchlanis</i>	2	100	6	7	6
5	Lecanidae	<i>Lecane</i>	2	100	6	7	6
6	Filiniidae	<i>Filinia</i>	2	100	6	7	6
7	Testudinellidae	<i>Testudinella</i>	2	100	6	7	6
8	Epiphanidae	<i>Epiphanes</i>	1	100	3	7	3
9	Notommatidae	<i>Cephalodella</i>	1	100	3	7	3
10	Trichocercidae	<i>Trichocerca</i>	1	100	3	7	3
11	Conochilidae	<i>Conochilus</i>	1	100	3	7	3
12	Hexarthridae	<i>Hexarthra</i>	1	100	3	7	3

Примітки: А – кількість видів у роді; Б – представленість (%) роду в родині за числом видів; В – представленість (%) роду в ротаторіоценозі за числом видів; Г – представленість (%) родини в ротаторіоценозі за числом родів; Д – представленість (%) родини в ротаторіоценозі за числом видів.

У цих родах зареєстровано по 1 виду, що складає відповідно по 3 % для кожного роду.

Вдвічі більша представленість (6 %) характеризує роди *Euchlanis*, *Lecane*, *Filinia*, *Testudinella*. У кожному з цих родів є по 2 види. Порівняно більшою представленістю за числом видів характеризується рід *Keratella* (3 види, 9 %) та рід *Asplanchna* (4 види, 11 %).

Схарактеризуємо значимість родин у цілісному ротаторіоценозі за кількістю родів. З врахуванням цього критерію найбільш значимою є родина *Brachionidae*, яка за кількістю родів займає 19 % у структурі ротаторіоценозу. Майже вдвічі менша презентабельність родини *Asplanchnidae* (11 %). Усі інші родини, які включають по 1 роду мають презентабельність 7 %. Щодо представленості родин у ротаторіоценозі за кількістю видів то маємо наступні закономірності. У цьому аспекті найбільш вагомою також є родина *Brachionidae* кількість видів якої сягає 40 % у загальній структурі ротаторіоценозу. Найменшу значимість, з врахуванням кількості видів, мають родини *Epiphanidae*, *Notommatidae*, *Trichocercidae*, *Conochilidae* і *Hexarthridae*. Для кожної родини цей показник становить по 3 %.

Удвічі більша представленість за числом видів (6 %) характерна для родин *Euchlanidae*, *Lecanidae*, *Filiniidae*, *Testudinellidae*. Дещо вищий цей показник для родини *Synchaetidae* (7 %).

Головні висновки. Отже, у водоймі Глинна Наварія зареєстровано 35 видів коловороток, що належать до 12 родин (*Asplanchnidae*, *Brachionidae*, *Epiphanidae*, *Euchlanidae*, *Lecanidae*, *Notommatidae*, *Synchaetidae*, *Trichocercidae*, *Conochilidae*, *Filiniidae*, *Hexarthridae*, *Testudinellidae*) і 15 родів (*Asplanchna*, *Asplanchnopus*, *Brachionus*, *Keratella*, *Platyias*, *Epiphanes*, *Euchlanis*, *Lecane*, *Cephalodella*, *Polyarthra*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Filinia*, *Hexarthra*, *Testudinella*).

За кількістю родів найбільш презентабельною є родина *Brachionidae*, яка включає три

роди: *Brachionus*, *Keratella*, *Platyias*. До родини *Asplanchnidae* належать два роди: *Asplanchna* і *Asplanchnopus*. Інші родини включають по одному роду.

У спектрі видів найбільш презентабельним є рід *Brachionus* (10 видів), що становить 29 % від загального числа видів ц ротаторіоценозі. Сім родів (*Platyias*, *Asplanchnopus*, *Epiphanes*, *Cephalodella*, *Trichocerca*, *Conochilus*, *Hexarthra*) представлені лише одним видом, що складає 3 % для кожного роду від загального числа видів у ротаторіоценозі. Чотири роди (*Euchlanis*, *Lecane*, *Filinia*, *Testudinella*) представлені двома видами (по 6 % для кожного роду у фауні коловороток). Лише два роди (*Keratella*, *Polyarthra*) представлені трьома видами (9 %). Дещо більша видова представленість для роду *Asplanchna* (4 види, 11 % у фауністичній структурі ротаторіоценозу).

У цілому значимість родин коловороток у ротаторіоценозі у спектрі видів має такі закономірності. Родина *Brachionidae* є найбільш презентабельною за цим показником і складає 40 % від загального видового складу. Найменш презентабельними (по 5 % для кожної родини) у видовому відношенні є 5 родин (*Epiphanidae*, *Notommatidae*, *Trichocercidae*, *Conochilidae*, *Hexarthridae*). Удвічі більша видова представленість (по 6 %) характерна для 4 родин: *Euchlanidae*, *Lecanidae*, *Filiniidae*, *Testudinellidae*.

Дещо більший показник (7 %) характеризує родину *Synchaetidae*. Більш вагомими показниками відзначається родина *Asplanchnidae* (14 % від загального числа видів у ротаторіоценозі).

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані при проведенні гідроекологічного моніторингу, вивченні продукційно-деструкційних характеристик водойми, визначенні її санітарного стану із застосуванням методів біологічної індикації якості води, а також при дослідженні трофодинамічних характеристик.

Література

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities. L 327, 22.12.2000. 72 p.
2. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дяченко та ін.; за ред. В. Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. К. : Логос, 2006. 408 с.
3. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Окснюк О. П., Яцик А.В., Чернявська А. П., Васенко О. Г., Верниченко А. А. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. К., 2001. 48 с.
4. Іванець О. Р. До вивчення фауни коловороток (*Rotatoria*) водойм лісових ландшафтів. *Український лісотехнічний університет. 46 науково-технічна конференція: матеріали 46-ої наук.-техні. конф. Львівського лісотехнічного університету (лісогосподарська секція, 12–19 квітня 1994 р.)*. Львів, 1994. С. 91–93.
5. Іванець О. Р. Фауна планктонних коловороток (*Rotatoria*) ставів західного лісостепу України. *Актуальні проблеми медицини, біології, ветеринарії і сільського господарства*. Серія медицина і біологія. Книга наукових статей. П'ята книга. Львів, 2001а, С. 46–51.
6. Іванець О. Р. Еколого-фауністична характеристика роду *Brachionus* (*Rotatoria*) у водоймах різноманітного типу. *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія. № 3 (14). Спеціальний випуск: Гідроекологія. 2001б. С. 53–55.
7. Іванець О. Р. Морфологічні характеристики екологічних груп коловороток (*Rotifera*, *Rotatoria*) як основа адаптацій до факторів середовища. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку* : матеріали наук. конф. 12–15 вересня 2013 р. Львів : Сполом, 2013. С. 28–32.

8. Ivanets O. R. Zooplankton of the water vegetation in the ponds of west forest-steppe of Ukraine. Вісник Львів. ун-ту. сер. біол. 2011. Вип. 56. С. 148–156.
9. Ivanets O. R. The fauna of *Rotatoria* and microcrustaceans (*Cladocera*, *Copepoda*) of the Ukrainian Roztocze and its surroundings. *Development of natural sciences in countries of the European Union taking into account the challenges of XXI century : Collective monograph*. Lublin : Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2018. P. 183–196.
10. Kovalchuk A. A., Ivanets O. R. The impact of damming and water poundage on the formation and structure of zooplanktocoenoses in the conditions of rivers in the Ukrainian Roztocze (the "outer" or "chunk" Carpathians). *Issues and challenges of small hydropower development in the Carpathians region (hydrology, hydrochemistry, and hydrobiology of watercourses)*. Monograph. Uzhgorod-L'viv-Kyiv : Biological Faculty of L'viv National University & Hydroecological society "Uzh", 2016. P. 138–151.
11. Добрянська Г. М., Ковальчук О. М., Кориляк М. З., Качай Г. В., Юрчак С. В. Гідрохімічні дослідження водосховища Глинна Наварія. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку* : матеріали наук. конф. 12–15 вересня 2013 р. Львів : Сполом, 2013. С. 22.
12. Цьонь Н. І., Сярий Б. Г., Борецька І. М., Бобеляк Л. Й., Хижняк М. І., Думич О. Я. Формування весняного зоопланктону водосховища Глинна Наварія. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку* : матеріали наук. конф. 12–15 вересня 2013 р. Львів : Сполом, 2013. С. 83–84.
13. Русанова І. В., Шульга Г. М. Ландшафтно-екологічні передумови формування міського середовища. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2003. № 13.5. С. 220–223.
14. Іванець О. Р. *Filinia* в спектрі раціону *Asplanchna* (*Rotifera* : *Monogononta*) рівнинних гідроєкосистем заходу України. *Екологічні науки*. 2019. № 2 (25). С. 147–151. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-23>
15. Oganjan K., Virro T., Lauringson V. Food spectrum of the omnivorous rotifer *Asplanchna priodonta* in two large northeastern European lakes of different trophic. *Oceanol. Hydrobiol. St.*, 2013. 42. P. 314–323.
16. Іванець О. Р. Методичні вказівки до систематико-фауністичного вивчення коловерток (*Rotatoria*). Львів : ЛДУ, 1996. 28 с.
17. Методи гідроєкологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан та ін.; за ред. В. Д. Романенка; НАН України. Ін-т гідробіології. Київ : Логос, 2006. 408 с.
18. Wetzel R., Likens G. Limnological Analyses. Philadelphia; London; Toronto : W. B. Saunders Company. 1979. 357 p.
19. Koste W. *Rotatoria*: Die Rädertiere Mitteleuropas. Berlin, Stuttgart : Gebrüder Bornträger, 1978. 1. Textband, 673 s. Mit 63 Abb., 2. Tafelband, 276 s. mit 234 Tafeln.
20. Segers H. The nomenclature of the *Rotifera*: annotated checklist of valid family- and genusgroup names. *Journal of Natural History*. 2002. P. 631–640. DOI: 10.1080/002229302317339707
21. Segers H. Annotated checklist of the rotifers (Phylum *Rotifera*), with the notes on nomenclature, taxonomy and distribution. *Zootaxa*. 2007. P. 1–104. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1564.1.1>
22. Іванець О. Р., А. Вежейський – фундатор ротаторіологічних досліджень на теренах Галичини. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень* : матеріали першої Міжнародної наук.-практ. конф. 10–12 квітня 2014 р. м. Хотин. Чернівці : Друк Арт. С. 352–355.
23. Іванець О. Р. Гідробіологічні дослідження А. Вежейського на теренах Карпат. *Історичні і сучасні аспекти вивчення біоти Карпат* : матеріали наук. конф., присвяч. 60-річчю Високогірного біологічного стаціонару Львівського національного університету імені Івана Франка (27–30 липня 2015 року). С. 78–80.
24. Wierzejski A. Liste des Rotiferes observes en Galicie (Autriche-Hongrie). *Bull. soc. zool. France*. 16. 1891. P. 49–52.
25. Wierzejski A. Zur Kenntnis der Asplanchna-Arten. *Zool. Anz.*, 15. 1892. S. 345–349.
26. Wierzejski A. *Rotatoria* (wrotki) Galicyi. Kraków : Akademia Umiejętności. Druk Uniw. Jag. 1893. 112 s.
27. Łomnicki A. M. Materiały do geologii okolic Żółkwi. *Kosmos*. 1887. T. 12. Z. 11. S. 361–402.
28. Ковальчук І., Петровська М. Геоекологія Розточчя : монографія. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2003. 192 с.
29. Крижанівський А. М. Історія електрифікації Львівщини. Львів : Галицька видавнича спілка. 2015. 360 с.
30. Щирецьке водосховище // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Щирецьке_водосховище

ДОСЛІДЖЕННЯ КІСТОЧОК МУШМУЛИ ЗВИЧАЙНОЇ (*MESPILUS GERMANICA* L.) В ХОРОЛЬСЬКОМУ БОТАНІЧНОМУ САДУ

Красовський В.В.¹, Черняк Т.В.^{1,3}, Федько Р.М.², Орловський О.В.³

¹Хорольський ботанічний сад
вул. Кременчуцька 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол

²Дослідна станція лікарських рослин
Інституту агроекології і природокористування
Національної академії аграрних наук України
вул. Покровська, 16А, 37535, с. Березоточа

³Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, 36000, м. Полтава
horolbotsad@gmail.com, ukrvilar@ukr.net, orlovskiy886@gmail.com

В умовах глобальних змін клімату в бік підвищення температури приземного шару повітря розкриваються значні можливості для культивування у лісостеповій зоні України окремих видів субтропічних плодових рослин серед яких *Mespilus germanica* L. Наведено біоморфологічну характеристику *M. germanica*, показано цінність плодів виду і зазначено що при вегетативному розмноженні підщепою для *M. germanica* можуть бути сіянці *Crataegus* sp., *Cydonia oblonga* Mill., *Malus domestica* Borkh., *Prunus domestica* L., *Pyrus communis* L., але для виведення місцевих господарсько-цінних форм в процесі селекції важливе значення має насіннєве розмноження.

Відмічено, що в Хорольському ботанічному саду колекція *M. germanica* створюється з 2014 року, на даний час складається з десяти зразків серед яких два сорти 'Гойтховская' і 'Haidegger'. Як підщепу використано сіянці *Crataegus sanguinea* Pall. Колекційні рослини *M. germanica* щорічно вегетують, утворюють плоди з кісточками, плоди набувають товарну стиглість у кінці жовтня – на початку листопада, споживчу – тримаючись на пагонах, мають з листопада по березень. В умовах Лісостепу України вид не страждає від посухи та морозів.

Наведено результати морфометричних вимірів десяти зразків плодів та кісточок врожаю 2021 р. проведених у другій декаді лютого 2022 р. Середню масу плодів зразка встановлено зважуванням 30 шт. плодів врожаю, середню масу кісточок зважуванням 100 шт. кісточок зразка. Безкісточкових плодів не виявлено. Кількість кісточок в плодах була в межах 5 шт., всі мали шкарубку поверхню. В одному і тому ж плоді кісточка дещо різнилася за формою та масою, виїмками та борознами на їх поверхні. Плоди досліджуваних зразків мали досить тверді кісточка, така їх морфологічна будова забезпечує рослинам можливість переживати несприятливі для їх існування періоди року та сприяє створенню запасу насіння в ґрунті, адже насіння проростає протягом 1–3 років.

В процесі механічного руйнування кісточок виповнене насіння виявлено лише в одному із десяти зразків (6–6–5), який може бути використаний для насінного розмноження виду. Кісточка всіх інших зразків були пустозерними, мали сплюснену насінну камеру або взагалі не мали насінної камери. **Ключові слова:** Хорольський ботанічний сад, *Mespilus germanica*, кісточка, насінина.

Investigation of *Mespilus germanica* L. in the Khorol botanical garden. Krasovsky V., Chernyak T., Fed'ko R., Orlovsky O.

In the context of the global change of the climate in the direction of the increasing temperature of the surface air layer the significant opportunities opens up for the cultivation of the certain species of subtropical fruit plants including *Mespilus germanica* L. in the forest-steppe zone of Ukraine. The biomorphological description of *M. germanica* is directed and it is shown the value of fruit of the species, it is noticed that the seedlings of *Crataegus* sp., *Cydonia oblonga* Mill., *Malus domestica* Borkh., *Prunus domestica* L., *Pyrus communis* L. may be used for *M. germanica* in the vegetative reproduction of the rootstocks. But seed propagation is important for the detection of the local economically valuable specimens in the selection process.

It is noted that in the Khorol Botanical Garden the collection of *M. germanica* is created since 2014, currently consists of ten samples among which two grades 'Hoytkhovskaya' and 'Haidegger'. *Crataegus sanguinea* Pall seedlings were used as rootstocks. The collectible plants of *M. germanica* vegetate annually, form fruits with stones, the fruits acquire ripening consumer ripeness in late October – early November, holding on to the shoots from November to March. In the Forest-Steppe of Ukraine the species does not suffer from drought and frost.

The results of morphometric measurements of ten samples of fruits and stones of the 2021 harvest conducted in the second decade of February 2022 are presented. The average weight of fruits of the sample was determined by weighing 30 pcs. fruits of the crop, the average weight of the stone by weighing 100 pcs. stone sample. Stoneless fruits were not detected. The number of stones in the fruit was within 5 pieces, all had a shell surface. In the same fruit, the stones differed slightly in shape and weight, notches and grooves on their surface. The fruits of the studied samples had fairly hard stones, their morphological structure allows plants to survive their unfavorable periods of the year and helps to create a stock of seeds in the soil, because the seeds germinate within 1–3 years.

In the process of the mechanical destruction of stones, filled seeds were found in only one of ten samples (6–6–5), which can be used for the seed propagation of the species. The stones of all other specimens were hollow, had a flattened seed chamber or no seed chamber at all. **Key words:** Khorol botanical garden, *Mespilus germanica*, stone, seed.

Постановка проблеми. Мушмула звичайна (*Mespilus germanica* L.) – субтропічна листопадна плодова рослина, відноситься до родини *Rosaceae* Juss., належить до роду *Mespilus* L. і має ще такі назви як мушмула німецька або чишкун. У дикому вигляді мушмула звичайна зустрічається в Ірані, Малій Азії, на Балканському півострові, Кавказі, в Криму і Туркменії. Вирощується в деяких країнах Європи і США. *M. germanica* являє собою дерево або чагарник висотою 3–6 м, має густу крону, гілки подекуди вкриті нечисленними колючками, які відсутні у частини культурних форм та сортів. Листки чергові, еліптичні або ланцетоподібні, завдовжки 5–14 см, завширшки 2,5–5 см. Квітки 3–5 см в діаметрі, білі, по одній, інколи дві на верхівках укорочених пагонів. Цвіте наприкінці травня – початку червня. Плід – яблуко кулястої форми, з широко відкритим причашочковим заглибленням, оточеним довгими чашолистками, 1,5–3 см в діаметрі, буруватого кольору, довго не опадає, насіння вкрите твердою оболонкою, що має кам'янисту тканину. Плоди досягають у жовтні-листопаді. При досяганні м'якуш плоду твердий і терпкий, стає їстівним після проморожування, бродіння або після тривалого лежання і перестигання. При лежанні стиглих плодів їхній м'якуш набуває брунатного кольору, м'якої повидлоподібної консистенції та стає солодким. За цим мушмула подібна до горобини домашньої (*Sorbus domestica* L.), плоди якої втрачають терпкість і стають їстівними при перестиганні. Висока цукристість плодів мушмули надає їм високої поживності, а оптимальне поєднання цукрів з органічними кислотами та іншими сполуками – приємних смакових властивостей. Її плоди містять до 10 % цукрів, 1,1 % яблучної кислоти, 1,6–15,8 мг / 100 г вітаміну С і вживаються в їжу в сирому вигляді, а також йдуть на переробку, адже з них готують пастилу і вино [1; 2], мармелад, начинки для цукерок, вітамінні продукти, що цінуються в народній медицині.

Розмножують мушмулу посівом насіння, сорти – щепленням. Насіннєве розмноження ускладнене через тверду здерев'янілу оболонку насіння як у глоду чи кизильнику. Через це насіння не дає сходів в першу весну після осіннього посіву, або взагалі не сходять.

Беззаперечні переваги мають закордонні сорти з досить крупними і смачними плодами (до прикладу 'Громадная Евреинова', діаметр плоду до 8 см), що можуть бути використані в селекції як донор крупноплідності, однак для цього потрібно виявити місцеві форми, кісточку яких містять насіння, а отже придатне для посіву в ґрунт.

Актуальність дослідження. У світі вирощують і постійно використовують близько 850 видів плодових і ягідних рослин, тоді як їх світові ресурси становлять близько 5,5 тис. видів. Потреба введення в культуру нових корисних рослин пов'язана перш за все з необхідністю підвищення ліку-

вально-дієтичних якостей продукції садівництва, оскільки багато видів плодово-ягідних рослин містять велику кількість біологічно активних речовин [3]. В епоху науково-технічного прогресу, який супроводжується погіршенням стану навколишнього природного середовища великого значення набуває введення плодових і ягідних рослин стійких до вірусів, бактерій, грибкових мікроорганізмів та комах-шкідників. На особливу увагу заслуговують види, невибагливі до складу ґрунту, адже все це в комплексі позбавляє обробок як хімічними пестицидами рослин так і хімізму ґрунту, а отже сприяє збереженню екологічної системи та отриманню безпечної рослинної продукції.

В умовах глобальних змін клімату в бік підвищення температури приземного шару повітря розкриваються значні можливості для вирощування окремих видів субтропічних плодових рослин та їх сортів у лісостеповій зоні України до яких належить мушмула звичайна. При вегетативному розмноженні підщепою для *M. germanica* можуть бути *Crataegus* sp., *Cydonia oblonga* Mill., *Malus domestica* Borkh., *Prunus domestica* L., *Pyrus communis* L. Для селекції *M. germanica* в умовах Лісостепу України, де основним методом є відбір і гібридизація, важливе значення має насіннєве розмноження.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Ботанічний сад це установа де випробовують, вирощують, зберігають в колекціях, розмножують та поширюють рослини з корисними властивостями серед яких велика група плодових і ягідних [4–9].

Станом на 01.02.2022 року в Хорольському ботанічному саду досліджується 18 видів плодових культур до яких входить *M. germanica*, і які об'єднані в одну групу за природно-кліматичною зоною вирощування.

Дослідження *M. germanica* виконано в рамках НДР «Інтродукція субтропічних плодових культур в лісостеповій зоні України», що є згідно Проєкту організації території Хорольського ботанічного саду (Затвердженого наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 01.12.2014 р. № 387) головним напрямом наукової діяльності установи. Результати проведеного дослідження можуть знайти широке застосування у практиці розмноження *M. germanica* насінням та селекції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В лісостеповій зоні України *M. germanica* досліджується з 1960 року в Національному ботанічному саду ім. акад. М. М. Гришка (НБС) [10; 11]. Науковцями НБС у 2018 році було досліджено 7 генотипів 10-ти річних рослин *Mespilus germanica* L. Плоди збирали у стадії товарної зрілості (шкірка коричнева, м'якуш білий, плоди тверді). За результатами досліджень визначено масу плодів, що знаходилась в межах 39,12 до 35,29 г, довжину плодів – від 27,69

до 42,29 мм, діаметр – від 24,98 до 44,75 мм. Індекс форми плодів знаходився в межах від 0,79 до 1,23. Проведене дослідження показало, що генотипи MG-04 і MG-05 є перспективними з огляду селекційних програм [12].

Для вирішення практичних завдань показано, що *M. germanica* утворює плоди які умовно можна розділити на дві групи за розміром та масою, а саме: плоди діаметром 1,5–2,2 см і масою 3–6 г відносять до дикого типу, а відповідно, 2,8–3,0 см і 13–15 г до культурного. *M. germanica* дикого типу відзначається високою стійкістю до хвороб та шкідників, є достатньо посухо-, жаро- та зимостійкою рослиною, через що культивується на всій території України і має значення для лісових насаджень та як високодекоративна рослина для озеленення територій населених пунктів [1; 13].

Виклад основного матеріалу. В Хорольському ботанічному саду *M. germanica* створюється з 2014 року. Зразки у вигляді живців надав науковий співробітник відділу дендрології НБС Олександр Дорошенко (2011 р.). Як підщепу використали сіянці *Crataegus sanguinea* Pall. Із розсадника установи на колекційну ділянку сад субтропічних плодкових культур пересаджено у 2015 році, квітує та плодоносить з 2017 року. Три зразки належать до культурного типу (рис. 1, 2, 3). За нашими спостереженнями вид не страждає від морозів, рослини зростають, розвиваються і плодоносять в умовах спекотного та сухого літа без поливу.



Рис. 1. Цвітіння, зразок 4–6–2.
Хорольський ботанічний сад, 16.05.2018 р.



Рис. 2. Формування плодів, зразок 3–6–1.
Хорольський ботанічний сад, 11.07.2018 р.



Рис. 3. Стиглі плоди, зразок 7–6–1.
Хорольський ботанічний сад, 20.11.2019 р.

У 2018 році два зразки (живці) 'Гойтховская' і 'Haidegger' отримали з Національного університету біоресурсів і природокористування (надав д. с.-г. н., професор Володимир Меженський), пересаджено на ділянку плодового саду у 2019 році, у пору плодоношення вступили у 2020 р.

На даний час усі рослини колекції *M. germanica* щорічно вегетують, утворюють плоди з кісточками, плоди набувають споживчої стиглості і тримаються на пагонах до весни. Лінійні параметри та масу плодів десяти зразків (рис. 4) та їх кісточок (рис. 5) врожаю 2021 р. визначали у другій декаді лютого 2022 р. після зняття плодів з дерева, тому вони мали зморшкувату структуру та дещо зменшені в об'ємі (табл. 1).

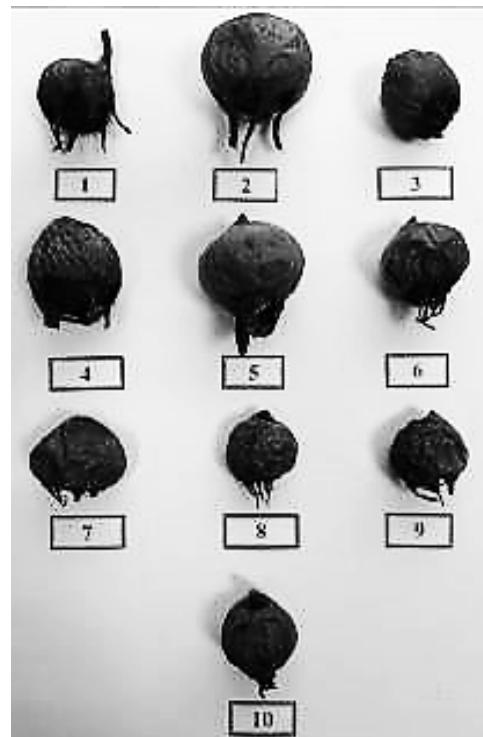


Рис. 4. Плоди *M. Germanica* врожаю 2021 р.
Хорольський ботанічний сад, 18.02.2022 р.

Середні лінійні параметри та середню масу плодів зразка встановили вимірюванням та зважуванням 30 шт. плодів врожаю, середні лінійні параметри та середню масу кісточок – вимірюванням та зважуванням 100 шт. кісточок зразка. Плоди багатокісточкові, безкісточкових плодів не виявляли. Кількість кісточок в плодах була в межах 5 шт., всі мали шкарбунку поверхню з прикріпленими волокнами м'якшу. В одному і тому ж плоді кісточка дещо різнилася за формою та масою, виїмками та борознами на їх поверхні. Всі кісточки були досить тверді маючи кам'янисту тканину і через це насіння *M. germanica* має притаманний виду стан органічного спокою. Тому навіть в сприятливих для про-

ростання природних умовах насіння нездатне проростати, або має дуже низьку схожість і проростає протягом 1–3 років. Проте така морфологічна будова кісточок забезпечує можливість насінню пережити несприятливі для його існування періоди року та сприяє створенню запасу насіння в ґрунті [14].

В процесі механічного руйнування кісточок плодів врожаю 2021 р., як і кісточок плодів врожаю попередніх років, встановлено що лише кісточка плодів зразка 6–6–5 містять виповнене насіння (рис. 6, 7) у кількості 22 % від загальної кількості зруйнованих. Кісточка інших зразків були пустозерними, мали сплюснену насінну камеру, або взагалі не мали внутрішньої камери.



Рис. 5. Кісточка *M. germanica* врожаю 2021 р.
Хорольський ботанічний сад, 18.02.2022 р.

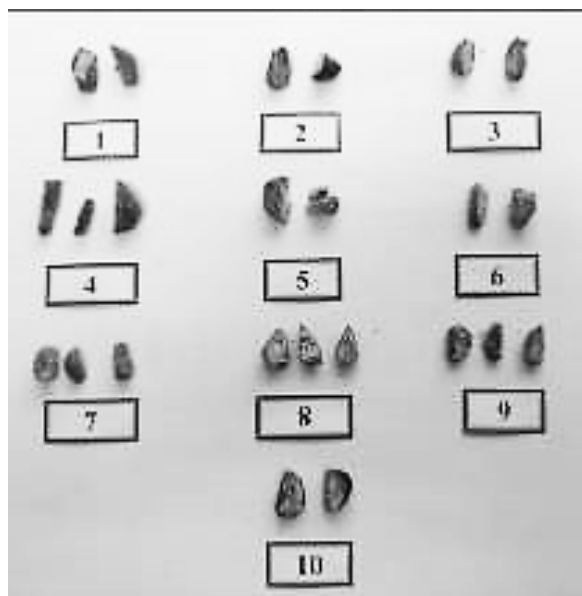


Рис. 6. Механічно зруйновані кісточка
M. germanica врожаю 2021 р.
Хорольський ботанічний сад, 10.03.2022 р.

Таблиця 1

Усереднені лінійні параметри та маса плодів і кісточок *M. germanica*
колекції Хорольського ботанічного саду

	Зразки	Плід			Кісточка			
		маса, г	довжина, мм	діаметр, мм	маса, г	довжина, мм	ширина, мм	товщина, мм
1.	1–6–1	9,2	23	27	0,30	13	8	6
2.	3–6–1	19,5	28	37	0,38	14	9	7
3.	4–6–1	8,7	26	25	0,28	11	10	6
4.	4–6–2	13,3	31	32	0,36	16	11	7
5.	7–6–1	16,8	29	34	0,34	15	11	6
6.	6–6–1 'Гойтховская'	10,2	25	28	0,30	11	10	7
7.	6–6–4 'Haidegger'	11,3	27	24	0,20	10	7	6
8.	6–6–5	8,9	23	22	0,18	11	8	6
9.	6–6–9 'Haidegger'	7,5	20	22	0,22	11	7	7
10.	6–6–11 'Гойтховская'	10,8	26	24	0,32	12	10	6



Рис. 7. Механічно зруйновані кісточки *M. Germanica*:
1 – кісточки зразка 6–6–5 з насінням; 2 – кісточки
з безнасінною камерою; 3 – насінна камера сплюснена;
4 – кісточки без внутрішньої камери

Головні висновки. Культивування *Mespilus germanica* L. в Лісостепу України має наукове і економічне значення, зумовлене харчовою цінністю плодів, які тримаються на пагонах до ранньої весни і придатні до споживання без технологічної переробки. В Хорольському ботанічному саду створена колекція зразків виду та проводяться підготовчі роботи з селекції, де основним методом є відбір і гібридизація. Критеріями оцінки стануть крупноплідність, смакові якості плодів та зимостійкість рослин. Для селекційних досліджень важливо мати зразки *M. germanica* що утворюють кісточки з повноцінним насінням, придатним для посіву. За даними 5-ти річних досліджень рослин *M. germanica* колекції Хорольського ботанічного саду лише зразок (6–6–5) формує насіння придатне для висіву.

Література

1. Меженський В. М. Склад і використання колекції нетрадиційних плодівих культур. 5. Мушмула (*Mespilus* L.). *Генетичні ресурси рослин*. Харків, 2008. № 5. С. 49–54.
2. Саркитов Н. Д. Плодовые и ягодные растения : Энциклопедический словарь-справочник. М. : ТЕРРА – Книжный клуб, 2003. 560 с.
3. Клименко С. В. Нові види плодівих рослин в інтродукційних дослідженнях національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України. *Досягнення та концептуальні напрями вирощування малопоширених плодово-ягідних культур та переробки їх сировини* : збірник мат. Першої Всеук. наук.-практ. конференції. Київ : Інститут садівництва НААН, Видавництво Центр учбової літератури, 2019. С. 9–12.
4. Збереження та збагачення рослинних ресурсів шляхом інтродукції, селекції та біотехнології : монографія / відп. ред. Т. М. Черевченко. К. : Фітосоціоцентр, 2012. 432 с.
5. Адаптація інтродукованих рослин в Україні : монографія / відп. ред. Д. Б. Рахметов. Київ : Фітосоціоцентр, 2017. 516 с.
6. Кохно Н. А., Курдюк А. М. Теоретические основы и опыт интродукции древесных растений в Украине. Киев : Наукова думка, 1994. 188 с.
7. Шайтан И. М., Мороз П. А., Клименко С. В. Интродукция и селекция южных и новых плодовых растений. Київ : Наукова думка, 1983. 216 с.
8. Інтродукція деревних рослин у Ботанічному саду ім. О. В. Фоміна (1839–2009) : монографія / Колісніченко О. М. та ін.; за ред. Г. Т. Гревцової. Київ, 2011. 75 с.
9. Красовський В. В., Козлов А. В. Ботанічний сад у системі ландшафтної забудови міста Хорол : монографія. Полтава : Дивосвіт, 2018. 116 с.
10. Каталог растений Центрального ботанического сада им. Н. Н. Гришко : дел. пособие / Е. В. Афанасьева и др.; ред. Н. А. Кохно. К. : Наукова думка, 1997. 436 с.
11. Клименко С. В. Становлення, розвиток і підсумки інтродукційно-селекційних досліджень відділу акліматизації плодівих рослин НБС України (1946–2018 рр.). *Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції рослин у реаліях євроінтеграції* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9–11 жовтня 2018. Київ : Ліра-К, 2018. С. 69–76.
12. Grygorieva O., Klymenko S., Vinogradova Y., Vergun O., Brindza J. Variation in morphometric traits of fruits of *Mespilus germanica* L. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2018. Vol. 12, № 1. P. 782–788. DOI: <https://doi.org/10.5219/999>
13. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні : довідник. Ч. 2 / М. А. Кохно, Н. М. Трофименко, Л. І. Пархоменко та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 716 с.
14. Николаева М. Г., Разумова М. В., Гладкова В. Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л. : Наука, 1985. 348 с.

ОЦІНКА УСПІШНОСТІ ІНТРОДУКЦІЇ КУЛЬТИВАРІВ *THUJA OCCIDENTALIS* L. ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ПІВНІЧНО-СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

Суслова О.П.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака 50, 50089, м. Кривий Ріг
elenasuslova2901@gmail.com

Проведено комплексне інтродукційне дослідження 29 культиварів *Thuja occidentalis* L. в м. Покровськ. Визначено їх зимостійкість за 7-бальною шкалою, рекомендованою Радою ботанічних садів, посухостійкість – за 7-бальною шкалою І. Ф. Гриценко, декоративність – за 4-бальною шкалою Н. В. Котелової, О. М. Виноградової, річний приріст пагонів – за методикою А. А. Молчанова, В. В. Смірнова, перспективність використання – за шкалою П. І. Лапіна, С. В. Сідневої. Проаналізовано морфо-декоративні ознаки культиварів: за забарвленням хвої виділено 22 культивари (75 %) зеленого кольору ('Brabant', 'Frieslandia', 'Huebner', 'Teddi' та ін.), 7 (25 %) – золотаво-жовтого та жовтого ('Aureoscens', 'Golden glob', 'Jellow Ribon' та ін.). За формою крони 18 культиварів (62 %) вертикальні: 'Aureaspicata', 'Brabant', 'Columna', 'Weimar' та ін.; 11 (38 %) кулясті: 'Globosa', 'Little Gem', 'Teddi', 'Wr. Bowling Ball' та ін. За строками вегетації всі досліджувані культивари відповідають вегетаційному періоду району досліджень та характеризуються своєчасним завершенням росту хвої та пагонів до часу можливого настання похолодання. Доведено, що 18 культиварів (62 %) не пошкоджуються морозами, зимостійкість становить I бал ('Aureospicata', 'Little Gem' та ін.); у 8 культиварів (28 %) підмерзають верхівки однорічних пагонів, зимостійкість їх оцінено у II бали ('Europe Gold', 'Huebner', 'Holmsrup', 'Jellow Ribon'); 3 культивари (10 %) в умовах північно-степової зони України страждають від морозів, зимостійкість їх становить III бали ('Rheingold', 'Wareana lutea', 'Golden glob'). Двадцять три культивари *Thuja occidentalis* (79 %) характеризуються високою посухостійкістю (I бал): 'Smaragd', 'Wareana lutea', 'Europe Gold' та ін.; у 6 культиварів (21 %) в період посухи в'яне хвоя та усихає не більше 5 % верхівок річних пагонів (II бали): 'Golden glob', 'Miky', 'Rheingold' та ін. Визначено перспективність використання культиварів у зеленому будівництві промислових міст північно-степової зони України. За результатами досліджень 18 культиварів цілком перспективні для введення їх в культуру: 'Aureoscens', 'Frieslandia', 'Huebner' та ін., 9 – перспективні: 'Aureaspicata', 'Europe Gold', 'Miky' та ін., 2 – менш перспективні: 'Rheingold', 'Wareana lutea'. **Ключові слова:** північно-степова зона України, інтродукційне випробування, культивари *Thuja occidentalis*, зимостійкість, посухостійкість, декоративність, перспективність використання.

Evaluation of the introduction success of *Thuja occidentalis* L. cultivars and prospects for their use in the north of Ukrainian steppe. Suslova O.

A comprehensive introduction research of 29 cultivars of *Thuja occidentalis* L. was conducted in Pokrovsk. Their winter hardiness was assessed according to a 7-point scale recommended by the Council of Botanical Gardens, drought resistance – according to a 7-point scale of I. F. Gritsenko, decorative characteristics – according to a 4-point scale of N. V. Kotelova, O. M. Vinogradova, annual growth of shoots – according to the techniques by A. A. Molchanov and B. B. Smirnov, the prospects for use – according to a scale of P. I. Lapin, S. V. Sidneva. Morphological and ornamental characteristics of cultivars were analyzed: according to needle coloring we identified 22 cultivars (75 %) with green color ('Brabant', 'Frieslandia', 'Huebner', 'Teddi', etc.), 7 ones (25 %) with golden-yellow and yellow ('Aureoscens', 'Golden glob', 'Jellow Ribon', etc.). The crown shapes of 18 cultivars (62 %) are vertical: 'Aureaspicata', 'Brabant', 'Columna', 'Weimar', etc.; those of 11 ones (38 %) are spherical: 'Globosa', 'Little Gem', 'Teddi', 'Wr. Bowling Ball' and others. In terms of vegetation, all cultivars correspond to the vegetation terms of the research area and timely complete shoot and needle growth by cold season beginning. The study has shown that 18 cultivars (62 %) are not damaged by frost, winter hardiness is evaluated as I point ('Aureospicata', 'Little Gem', etc.); the annual shoot tips are frost-bitten in 8 cultivars (28 %), their winter hardiness being assessed as II points ('Europe Gold', 'Huebner', 'Holmsrup', 'Jellow Ribon'); 3 cultivars (10 %) in the northern steppe zone of Ukraine suffer from frosts, their winter hardiness is III points ('Rheingold', 'Wareana lutea', 'Golden glob'). Twenty-three cultivars of *Thuja occidentalis* (79 %) are characterized by high drought resistance (I point): namely 'Emerald', 'Wareana lutea', 'Europe Gold', etc.; needles wither and less than 5 % of annual apex shoots dry up in 6 cultivars (21 %) during the drought (II points): namely 'Golden glob', 'Miky', 'Rheingold', etc. The study has shown good prospects for landscaping of these cultivars in urban environments of the north of Ukrainian steppe. According to our research results, 18 cultivars are especially promising for introduction: 'Aureoscens', 'Frieslandia', 'Huebner', etc., 9 ones are characterized as promising: 'Aureaspicata', 'Europe Gold', 'Miky', etc., 2 ones are less promising: 'Rheingold', 'Wareana lutea'. **Key words:** north of Ukrainian steppe, introduction research, cultivars of *Thuja occidentalis*, winter hardiness, drought resistance, ornamental characteristics, prospects of use.

Постановка проблеми та актуальність досліджень. В промислових містах деревні насадження значно поліпшують стан та якість урбанотехногенного середовища. Тому актуальним постає питання використання в зеленому будівництві

видів, стійких до природно-екологічних умов та антропогенного навантаження. Це можливо за рахунок впровадження в озеленення нових декоративних інтродукованих видів, адаптованих до умов зростання. До рослин, що відповідають таким

вимогам, належать хвойні породи, серед яких особливої популярності набувають культивари *Thuja occidentalis* L. Завдяки значному поліморфізму в забарвленні хвої, формі крони і висоті, використання їх надає можливість створювати різноманітні ландшафтні композиції з високим декоративним ефектом [4]. Вони характеризуються димо-, газо-, зимо- та посухостійкістю, невибагливістю до родючості ґрунтів, тіневитривалістю [9; 16].

Впровадження в практику зеленого будівництва нових культиварів передбачає їх комплексне інтродукційне дослідження в умовах вирощування для виділення найбільш перспективних рослин з високими декоративними якостями. Результати досліджень в цьому напрямі представлено в багатьох роботах фахівців, в яких наведено дані щодо особливостей росту і розвитку, життєвого стану і стійкості до несприятливих умов інтродукції *Th. occidentalis*, а також описано морфологічні особливості існуючих садових форм виду [1; 2; 5–7; 11].

Дослідження культиварів *Th. occidentalis* в умовах північного Степу України практично відсутні. О. К. Поляков і О. П. Суслowa дослідили особливості проходження фенологічних фаз семи садових форм виду при інтродукції в степову зону України [14]. Проаналізовано представленість культиварів *Th. occidentalis* в насадженнях промислових міст північно-степової зони України та визначено, що в зеленому будівництві використовують лише *Th. occidentalis*: 'Brabant', 'Danica', 'Globosa', 'Hoseri', 'Spiralis', 'Smaragd'. Частка їх в міських парках та скверах становить 3 % і 2 % відповідно (від загальної кількості рослин), у вуличних насадженнях представленість їх не перевищує 1 % [15]. Однак, комплексне інтродукційне дослідження нових культиварів *Th. occidentalis*, що потрапляють до України з розсадників Європи, в умовах посушливого клімату північно-степової зони України не проводились. Відсутність відомостей про їхню стійкість та біолого-екологічні особливості в умовах інтродукції стримує поширення нових культиварів у степову зону України та обмежує можливості надання рекомендацій щодо їхнього використання. У зв'язку з цим **метою наших досліджень** був пошук стійких декоративних культиварів *Thuja occidentalis*, перспективних для використання їх в озелененні промислових міст північно-степової зони України з високим рівнем ксерофітності та забруднення довкілля.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом досліджень були 29 культиварів *Th. occidentalis* віком 5 років, що проходять інтродукційне випробування в приватному розсаднику м. Покровськ Донецької області (табл. 1). Фенологічні спостереження проводили за методикою Г. Д. Ярославцева, Н. Є. Булигіна, С. І. Кузнецова [17]. Річний приріст пагонів вимірювали за методикою А. А. Молчанова, В. В. Смірнова [13]. Зимостійкість визначали за 7-бальною шкалою, рекомендованою

Радою ботанічних садів СРСР [12], посухостійкість – за 7-бальною шкалою І. Ф. Гриценко [3], декоративність – за 4-бальною шкалою Н. В. Котелової та О. Н. Виноградової [8], оцінку перспективності використання культиварів проводили за шкалою П. І. Лапіна, С. В. Сідневої [10].

Результати досліджень. Форма і розмір крони, забарвлення хвої культиварів *Thuja occidentalis* настільки різноманітні, що надають можливості досягти найкращого художнього тону і виразності при створенні міських насаджень. Тому досліджувані культивари проаналізовано за морфо-декоративними ознаками. За забарвленням хвої виділено 22 культивари (75 %) зеленого кольору ('Brabant', 'Frieslandia', 'Huebner', 'Teddi' та ін.), сім (25 %) – золотаво-жовтого та жовтого ('Aureascens', 'Golden glob', 'Jellow Ribon' та ін.). Більшість рослин, представлених в колекції розсадника, за формою крони вертикальні (конічні, колоновидні, вузько-пірамі-

Таблиця 1
Біоекологічні характеристики культиварів
Thuja occidentalis L.

Сорт	Зимостій- кість, бал	Посухо- стійкість, бал	Декора- тивність, бал
'Aureaspicata'	I	I	D ₄
'Aureascens'	I	I	D ₄
'Brabant'	I	I	D ₄
'Columna'	I	I	D ₄
'Danica'	I	I	D ₄
'Europe Gold'	II	I	D ₃
'Fastigiata'	I	I	D ₄
'Frieslandia'	I	I	D ₄
'Golden glob'	III	II	D ₃
'Globosa'	I	I	D ₄
'Little Gem'	I	I	D ₄
'Little Giant'	I	I	D ₄
'Malonyana'	I	I	D ₃
'Miky'	II	II	D ₃
'Hoseri'	I	I	D ₄
'Huebner'	II	I	D ₄
'Holmsrup'	II	I	D ₄
'Jellow Ribon'	II	I	D ₄
'Rheingold'	III	II	D ₃
'Spiralis'	I	I	D ₄
'Smaragd'	I	I	D ₄
'Sunkist'	II	II	D ₃
'Teddi'	II	II	D ₂
'Tiny Tim'	II	I	D ₃
'Wareana lutea'	III	I	D ₃
'Wagneri'	I	I	D ₄
'Weimar'	I	I	D ₄
'Woodwardii'	I	I	D ₄
'Wr. Bowling Ball'	I	II	D ₃

дальні). Частка їх становить 62 % (18 культиварів). Це 'Aureaspicata', 'Brabant', 'Columna', 'Weimar' та ін. Одинадцять культиварів з кулястою формою крони (38 %), серед яких 'Globosa', 'Little Gem', 'Teddi', 'Wr. Bowling Ball' та ін.

За темпами росту переважають повільнозростаючі рослини – 14 культиварів (48 % від загальної кількості). До цієї групи належать 'Danica', 'Little Giant', 'Rheingold' тощо. Дещо менше в колекції рослин із помірним темпом росту – 9 культиварів (31 %): 'Rheingold', 'Europe Gold', 'Huebner' та ін.

Серед рослин із швидким темпом росту – 6 культиварів (21 %): 'Brabant', 'Columna', 'Fastigiata', 'Frieslandia', 'Malonyana', 'Sunkist'.

Сезонний розвиток культиварів *Thuja occidentalis* фіксували від початку росту вегетативних пагонів, оскільки фазу набрякання вегетативних бруньок візуально виявити дуже складно. За результатами фенологічних спостережень встановлено,

що досліджувані культивари вступають в першу весняну фазу 2–7 квітня. Початок розгортання хвої відмічено 7–12 квітня залежно від культивару. Ріст пагонів досліджуваних рослин продовжується до 15 жовтня (рис. 1).

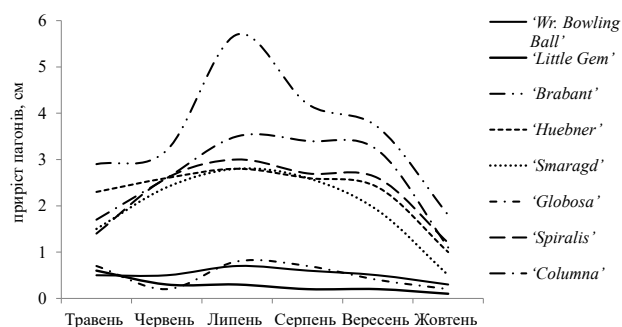


Рис. 1. Приріст однорічних пагонів деяких культиварів *Thuja occidentalis* L. в умовах північно-степової зони України

Таблиця 2

Оцінка перспективності використання культиварів *Thuja occidentalis* L. в озелененні промислових міст північно-степової зони України

Сорт	Ступінь визрівання пагонів	Зимо- стійкість	Збере- ження форми габітусу	Здатність утво- рювати пагони	Приріст пагонів	Здатність до вегета- тивного розмноження	Сума балів	Група перспек- тивності
'Aureaspicata'	15	20	10	5	5	3	58	II
'Aureascens'	20	20	10	5	5	3	63	I
'Brabant'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Columna'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Danica'	20	25	10	3	5	3	66	I
'Europe Gold'	15	15	10	5	5	3	53	II
'Fastigiata'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Frieslandia'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Golden glob'	15	15	5	5	5	3	48	II
'Globosa'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Little Gem'	20	25	10	3	5	3	66	I
'Little Giant'	20	20	10	3	5	3	61	I
'Malonyana'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Miky'	15	20	10	1	2	3	51	II
'Hoseri'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Huebner'	15	25	10	5	5	3	63	I
'Holmsrup'	20	20	10	5	5	3	63	I
'Jellow Ribon'	15	15	5	5	5	3	48	II
'Rheingold'	10	15	5	5	5	3	43	III
'Spiralis'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Smaragd'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Sunkist'	15	15	10	5	5	3	53	II
'Teddi'	10	20	10	3	2	3	48	II
'Tiny Tim'	15	20	10	3	5	3	56	II
'Wareana lutea'	10	15	5	5	5	3	43	III
'Wagneri'	20	25	5	5	5	3	63	I
'Weimar'	20	20	5	5	5	3	58	II
'Woodwardii'	20	25	10	5	5	3	68	I
'Wr. Bowling Ball'	20	25	10	3	5	3	66	I

Найбільший їх приріст відмічено у липні. Серед рослин з повільним темпом росту в цей період приріст коливається від 0,3 см у 'Little Gem' до 0,8 см у 'Globosa'; у помірнозростаючих від 2,8 см у 'Huebner' і 'Smaragd' до 3,0 см у 'Spiralis'. Приріст пагонів у культиварів із швидким темпом росту становить від 3,5 см у 'Columna' до 5,7 см у 'Brabant'. Впродовж вегетаційного періоду ріст пагонів уповільнюється і у жовтні завершується. Вегетаційний період в північно-степовій зоні України (з температурою повітря вище +5 °C) за даними гідрометослужби триває 215–220 днів. Зіставлення строків вегетації культиварів з тривалістю вегетаційного періоду в досліджуваному регіоні дозволяє зробити висновок, що всі досліджувані рослини за строками вегетації відповідають вегетаційному періоду району досліджень та характеризуються своєчасним завершенням росту хвої та пагонів до часу можливого настання похолодання.

Одним з основних критеріїв успішності інтродукції деревних рослин є стійкість до низьких температур в зимовий період. Встановлено, що 18 досліджуваних культиварів (62 %) не пошкоджуються морозами, стан їх оцінено як добрий, зимостійкість становить I бал ('Aureospicata', 'Little Gem' та ін.) (див. табл. 1). У восьми культиварів (28 %) взимку утворюються морозобоїни від 1 см у 'Danica' до 3 см у 'Little Giant', підмерзають верхівки однорічних пагонів, тому зимостійкість їх оцінено у II бали. Три культивари (10 %) в умовах північно-степової зони України страждають від морозів, у них відзначено пожовтіння та побуріння хвої, відмерзання річних пагонів, а також морозобоїни, які погано затягуються. Зимостійкість їх оцінено в III бали ('Rheingold', 'Wareana lutea', 'Golden glob').

За результатами досліджень 23 культивари *Thuja occidentalis* (79 %) характеризуються високою посухостійкістю і в посушливий період не ушкоджуються (I бал): 'Smaragd', 'Wareana lutea', 'Europe Gold' та ін.; у шести культиварів (21 %) в період посухи в'яне хвоя та усихає не більше 5 % верхівок річних пагонів (II бали): 'Golden glob', 'Miky', 'Rheingold' та ін. (див. табл. 1).

Таблиця 3

Рекомендації щодо використання перспективних культиварів *Thuja occidentalis* L. в ландшафтних композиціях промислових міст північно-степової зони України

№ з/п	Культивар	Міські парки, сади, сквери	Прибудинкові території	Авто-транспортні системи	Дошкільні та шкільні установи	Заклади охорони здоров'я	Промислові зони	Типи насаджень
1	'Aureaspicata'	+	+	—	+	+	—	С; Г; Ж; К/К; С/С
2	'Aurescens'	+	+	—	+	+	—	С; Г; Ж; К/К; С/С
3	'Brabant'	+	+	+	+	+	+	С; Г; Ж; К/К; С/С
4	'Columna'	+	+	+	+	+	+	С; Г; А; Ж; К/К; С/С
5	'Danica'	+	+	—	+	+	—	Г; К/К; С/С
6	'Europe Gold'	+	+	—	+	+	—	Г; К/К; С/С
7	'Fastigiata'	+	+	+	+	+	—	С; Г; Ж; А; К/К; С/С
8	'Frieslandia'	+	+	+	+	+	—	С; Г; Ж; А; К/К; С/С
9	'Golden glob'	+	+	—	+	+	—	С; Г; К/К; С/С
10	'Globosa'	+	+	—	+	+	—	С; Г; К/К; С/С
11	'Little Gem'	+	+	—	+	+	—	К/К; С/С
12	'Little Giant'	+	+	—	+	+	—	К/К; С/С
13	'Malonyana'	+	+	+	+	+	—	С; Г; А; Ж; К/К; С/С
14	'Miky'	+	+	—	+	+	—	С/С
15	'Hoseri'	+	+	—	+	+	—	Г; К/К; С/С
16	'Huebner'	+	+	—	+	+	—	С; Г; А; Ж; К/К; С/С
17	'Holmsrup'	+	+	—	+	+	—	С; Г; А; Ж; К/К; С/С
18	'Jellow Ribon'	+	+	—	+	+	—	С; Г; Ж; С/С
19	'Spiralis'	+	+	+	+	+	—	С; Г; А; Ж; С/С
20	'Smaragd'	+	+	+	+	+	—	С; Г; А; Ж; С/С
21	'Sunkist'	+	+	—	+	+	—	С; Г; Ж; С/С
22	'Teddi'	+	+	—	+	+	—	С/С
23	'Tiny Tim'	+	+	—	+	+	—	С/С
24	'Wagneri'	+	+	+	+	+	—	С; Г; Ж; С/С
25	'Weimar'	+	+	+	+	+	—	С; Г; А; Ж; С/С
26	'Woodwardii'	+	+	+	+	+	—	С; Г; Ж; С/С
27	'Wr. Bowling Ball'	+	+	—	+	+	—	Г; С/С

* Скорочення в таблиці: С – солітер; Г – група; А – алея; Ж – живопліт; К/К – контейнерна культура; С/С – скельні сади.

Для комплексної оцінки інтродукованих рослин визначено декоративність, враховуючи сприйняття їх як елемента садової архітектури [8]. Майже всі досліджувані рослини декоративні протягом усього року і оцінені балами D_3 – D_4 (див. табл. 1). Культивар ‘Teddi’ оцінено балом D_2 , оскільки він виглядає ефектно в окремі періоди року, що знижує його перспективність використання в озелененні промислових міст північно-степової зони України.

Узагальнюючи отримані дані, ми провели оцінку перспективності використання культиварів *Th. occidentalis* в озелененні промислових міст північно-степової зони України (табл. 2). За отриманими результатами 18 культиварів (62 %) цілком перспективні для введення їх в культуру: ‘Aureascens’, ‘Frieslandia’, ‘Huebner’ та ін., дев’ять (31 %) – перспективні: ‘Aureaspicata’, ‘Europe Gold’, ‘Miky’, два (7 %) – менш перспективні: ‘Rheingold’, ‘Wareana lutea’.

Дослідження культиварів *Thuja occidentalis* в степових умовах України дозволило надати рекомендації з їх використання в ландшафтних композиціях промислових міст (табл. 3).

Культивари можна використовувати як солітери, для створення алеї, різних за висотою живопло-

тів, бордюрів. За їх використання можна підкреслити центральні входи в будинки і парки, оформити сквери і бульвари. Наразі все частіше можна побачити в парках, скверах, присадибних ділянках підстрижені культивари *Thuja occidentalis* у вигляді різних геометричних фігур, що надає можливості більш широкого їх використання.

Висновки. За результатами комплексних інтродукційних досліджень встановлено, що 27 культиварів (93 %) адаптовані до умов вирощування завдяки своїй зимо- і посухостійкості, особливостям росту і розвитку та перспективні для введення їх в культуру в північно-степовій зоні України. За шкалою П. І. Лапіна та С. В. Сідневої до цілком перспективних віднесено 18 культиварів *Thuja occidentalis*: ‘Aureascens’, ‘Frieslandia’, ‘Huebner’, ‘Holmsrup’, ‘Wr. Bowling Ball’ та ін., до перспективних – 9, серед яких ‘Aureaspicata’, ‘Europe Gold’, ‘Golden glob’, ‘Miky’, ‘Weimar’ та ін. Встановлено, що 18 культиварів перспективні для використання їх в якості солітерів; 22 – в групових насадженнях; 9 – для створення алеї; 16 – для живоплотів; 16 – в контейнерній культурі; 27 – при створенні скельних садів.

Література

1. Александрова М. С. Декоративные формы хвойных растений для пополнения коллекции ГБС РАН. Проблемы современной дендрологии : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения член-корр. АН СССР П. И. Лапина, Москва, 30 июня – 2 июля 2009 г. ГБС им. Цицина Н. В. РАН. Москва, 2009. С. 11–13.
2. Воскресенская О. Л., Сарбаева Е. В. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях : монография. О. Л. Воскресенская, Е. В. Сарбаева. Йошкар-Ола, 2006. 130 с.
3. Гриценко И. Ф. Морозоустойчивость, засухоустойчивость и сезонное развитие древесных и кустарниковых пород в Донбассе. Лесное хозяйство. 1953. № 8. С. 41–48.
4. Калініченко О. А. Декоративна дендрологія. Київ : Вища шк., 2003. 199 с.
5. Кармазин Р. В., Любинская Г. П. Интродукция декоративных форм туи западной в ботаническом саду Укр. ГЛТУ. Киев : ГЛТУ. 211 с.
6. Карпун Ю. Н., Перфильева Г. Ф. Классификация садовых форм туи западной (*Thuja occidentalis* L.). Hortus botanicus. 2004. № 2. Р. 33–41.
7. Ковалевський С. Б., Кривохатко Г. А. Комплексна оцінка декоративності рослин культиварів *Thuja occidentalis* L. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2019. Т. 29, № 2. С. 23–25.
8. Котелова Н. В., Виноградова О. Н. Оценка декоративности деревьев и кустарников по сезонам года. Физиология и селекция растений и озеленения городов. Москва, 1974. С. 37–44.
9. Кривохатко Г. А. Культивари *Thuja occidentalis* L.: біологічні та екологічні особливості, перспективи використання в озелененні м. Києва : дис. ... канд. с.-г. наук. Київ, 2021. 151 с.
10. Лапин П. И., Сиднева С. В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений. Опыт интродукции древесных растений. М., 1973. С. 7–68.
11. Маринич І. С. Біологічні особливості північноамериканських шпилькових у зв'язку з їх культурою в Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. біолог. наук. Київ, 1999. 20 с.
12. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. Москва : Главный ботанический сад АН СССР, 1975. 27 с.
13. Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М. : Наука, 1967. 100 с.
14. Поляков А. К., Суслова Е. П. Хвойные на юго-востоке Украины : монография // А. К. Поляков, Е. П. Суслова. Донецк : Норд-Пресс, 2004. 196 с.
15. Суслова О. П., Поляков О. К. Перспективи збагачення урбанодендрофлори південного сходу України. Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality. Part I. Nitra, 2015. 639–643.
16. Фізіологія рослин / під ред. Т. В. Паршикової. Луцьк : Терен, 2010. 420 с.
17. Ярославцев Г. Д., Булыгин Н. Е., Кузнецов С. И. Фенологические наблюдения над хвойными породами. Ялта, 1973. 48 с.

ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОШИРЕННЯ ЗБУДНИКІВ ТРЕМАТОДОЗІВ

Романенко О.В.

Національний медичний університет імені О. О. Богомольця
пр. Перемоги. 34, 03057, м. Київ
bio.dep.nmu@gmail.com

У статті наводяться сучасні уявлення про шляхи поширення трематод-паразитів, для яких людина і хребетні тварини стають остаточними хазяїнами, а також зв'язок життєвих циклів цих гельмінтів з природними і антропогенно зміненими гідроєкосистемами, зокрема з представленою в них біотою. Аналізуються та узагальнюються особливості життєвих циклів тих трематод, яким для забезпечення індивідуального розвитку потрібен один проміжний хазяїн (відповідний червоногий молюск) або два проміжних хазяїни (перший – відповідний червоногий молюск, другий – відповідна риба чи відповідне ракоподібне). З урахуванням поширення у світі гельмінтозів, увага акцентується на водяних тваринах, які необхідні для забезпечення життєвих циклів таких трематод: *Fasciola hepatica*, *Schistosoma haematobium*, *Schistosoma mansoni*, *Schistosoma japonicum*, *Opisthorchis felineus*, *Clonorchis sinensis*, *Metagonimus yokogawai*, *Nanophyes salmincola*, *Paragonimus ringeri*. Обговорюються шляхи потрапляння певних життєвих форм цих трематод спочатку до відповідних гідробіонтів як проміжних хазяїнів паразита, де розвиваються личинки, а потім до остаточного хазяїна, де вони перетворюються на статевозрілу форму гельмінта і мають негативний вплив на життєдіяльність ураженого організму, спричинюючи конкретний трематодоз. Поширення трематодозів в Україні та світі характеризується, виходячи з їхньої прив'язки до певної місцевості зі специфічним комплексом екологічних чинників, з чим кореспондуються відповідні природно-кліматичні умови, зокрема такі, що виявляються придатними для існування у гідроєкосистемах саме водяних тварин, відомих як проміжні хазяїни гельмінтів, для заселення цих гідробіонтів личинковими формами трематод і для подальшого ефективного розвитку личинкових форм там. Згадуються антропогенні фактори, що сприяють поширенню конкретного трематодозу, підходи до запобігання їх появі, а також до контролю та покращенню екологічного стану водних об'єктів. **Ключові слова:** водяна тварина, гідробіонт, гідроєкосистема, гельмінт, молюск, риба, ракоподібне, трематода, трематодоз.

Hydroecological aspects of the trematodiasis agents spreading. Romanenko O.

The article presents current ideas about the spread of trematodes-parasites for which humans and vertebrates become the final hosts, as well as the relationship of life cycles of these helminths with natural and anthropogenically modified hydroecosystems, in particular with biota represented in them. The peculiarities of the life cycles of those trematodes that require one intermediate host (respective gastropod mollusk) or two intermediate hosts (the first is a respective gastropod mollusk; the second is a respective fish or a respective crustacean) for the individual development ensuring are analyzed and generalized. Given the prevalence of helminthiasis in the world, attention is focused on aquatic animals, which are necessary to ensure the life cycles of such trematodes: *Fasciola hepatica*, *Schistosoma haematobium*, *Schistosoma mansoni*, *Schistosoma japonicum*, *Opisthorchis felineus*, *Clonorchis sinensis*, *Metagonimus yokogawai*, *Nanophyes salmincola*, *Paragonimus ringeri*. It is discussed the ways of getting certain life forms of these trematodes at first to the relevant hydrobionts as intermediate hosts of the parasite, where larvae develop, and then to the final host, where they turn into a mature form of helminth and have a negative impact on the vital activity of the affected organism, causing specific trematodiasis. The spread of trematodiasis in Ukraine and in the world is characterized based on their connection to a particular area with a specific set of environmental factors, which correspond to respective natural and climatic conditions, including those that are suitable for existence in hydroecosystems namely aquatic animals known as intermediate hosts of helminths, for the population of these hydrobionts by larval forms of trematodes and for further effective development of larval forms there. Anthropogenic factors conducive to the spread of a specific trematodiasis, approaches to prevent their occurrence, as well as to control and to improve the ecological status of water objects are mentioned. **Key words:** aquatic animal, hydrobiont, hydroecosystem, helminth, mollusk, fish, crustacean, trematode, trematodiasis

Поширення тварин-паразитів у природних умовах пов'язане з особливостями середовища їхнього існування. При цьому в життєвих циклах таких організмів можна виокремлювати як статевозрілі форми, так і личинкові форми; відповідно, серед хазяїнів паразитів трапляються як остаточні, так і проміжні. Проміжними хазяїнами низки біогельмінтів, які оселяються в організмі ссавців, бувають мешканці водних екосистем – гідробіонти, у тому числі молюски,

ракоподібні, риби, які відіграють принципово важливу роль у забезпеченні розвитку збудників певних груп саме паразитарних хвороб, зокрема трематодозів, що спричинюються представниками класу Трематоди, або Сисуни (Trematoda). Усього відомо понад 4000 видів трематод, з них в Україні трапляються понад 600, і деякі можуть на статевозрілій стадії розвитку мешкати в організмі дитини та дорослої людини, зумовлюючи в них відповідний тремато-

доз [1; 2]. Ці плоскі черви є справжніми постійними ендопаразитами, а їх відповідні представники оселяються у ссавців в травній системі, в кровоносній системі, в легенях, в нирках тощо, наносячи значної шкоди життєдіяльності своїх хазяїнів. У зв'язку з означеним вище особливою актуальністю набуває аналіз гідроекологічних аспектів поширення збудників трематодозів і урахування місця у життєвих циклах трематод саме гідробіонтів як проміжних хазяїнів гельмінтів.

До узагальненої схеми життєвого циклу трематод, певні стадії розвитку яких пов'язані з гідроекосистемою, можна включити комплекс складових: 1) сформоване статевозрілою трематодою в організмі остаточного хазяїна яйце виводиться назовні (наприклад, за одного конкретного трематодозу разом з фекаліями ссавця, за другого – разом з сечею, за третього – разом з мокротинням) і потрапляє до відповідного водного об'єкта (наприклад, до річки, до водойми), де з яйця виходить рухома личинка – мірацидій, що потім контактує з присутнім там червононогим моллюском і проникає в нього й згодом перетворюється на спороцисту (партеногенетичне покоління), в якій надалі формуються редії (партеногенетичне покоління); 2) редії потрапляють у печінку згаданого червоного моллюска, де живляться її тканинами, породжують церкарійів, що залучені до забезпечення розселення трематоди, при цьому в одних видів гельмінтів церкарії, які виходять з тіла червоного моллюска, можуть інцистуватися безпосередньо у навколишньому середовищі й перетворюватися на адолескарій, а в інших видів – інцистуватися вже в організмі другого проміжного хазяїна і там перетворюватися на метацеркарій; 3) розвиток личинкової форми трематоди завершується після її потрапляння в організм остаточного хазяїна, де вона перетворюється на статевозрілу форму паразита – мариту.

Серед трематод, що мають суттєвий негативний вплив на життєдіяльність людини, трапляються як ті, в життєвому циклі яких є один проміжний хазяїн [3–6], так і ті, в життєвому циклі яких є два проміжних хазяїни [4; 7–9], наприклад: 1) у збудника фасціольозу сисуна печінкового *Fasciola hepatica*, що паразитує у жовчних протоках печінки та у жовчному міхурі людини, а також у великій і дрібній рогатій худобі, є один проміжний хазяїн – червононогий моллюск ставковик малий *Galba truncatula*, а адолескарія трематоди прикріплюється до водяних або напівводяних рослин, наприклад до щавеля водяного, до настурції (креса водяного), причому згадана личинка гельмінта трапляється й на заливних луках; 2) у збудника сечостатевого шистосомозу *Schistosoma haematobium*, що паразитує в дрібних венах малого тазу, сечового міхура людини, а також у деяких мавпах, спостерігається один проміжний хазяїн, яким буває червононогий моллюск з роду *Bulinus*, червононогий моллюск з роду *Planorbis* або червононогий моллюск з роду *Planorbarius*, а інва-

зійна стадія розвитку трематоди для забезпечення швидкого проникнення в тіло ссавця має необхідні пристосування (вони бувають й в інших небезпечних для людини кров'яних шистосом); 3) у збудника кишкового шистосомозу *Schistosoma mansoni*, що паразитує у венах брижі кишечника й у геморoidalних венах людини, а також у собаках й деяких мавпах, є один проміжний хазяїн – червононогий моллюск з роду *Biomphalaria*; 4) у збудника японського шистосомозу *Schistosoma japonicum*, що паразитує у верхніх венах брижі кишечника й у воротній вені людини, а також у багатьох ссавцях (гризунах, котах, собаках, конях, свинях, великій та малій рогатій худобі), є один проміжний хазяїн – червононогий моллюск з роду *Oncomelania*; 5) у збудника опісторхозу сисуна котячого *Opisthorchis felineus*, що паразитує у жовчних протоках, у протоках підшлункової залози, у жовчному міхурі людини, а також у деяких ссавцях (наприклад котах, свинях, собаках), першим проміжним хазяїном є червононогий моллюск з роду *Bithynia*, зокрема *Bithynia leachi*, а другим – риба з родини Коропові (Cyprinidae), у м'язах якої локалізуються метацеркарії трематоди; 6) у збудника клонорхозу клонорха китайського *Clonorchis sinensis*, що паразитує у жовчних протоках печінки та у жовчному міхурі людини, а також у деяких ссавцях (котах, пацюках, собаках, хутрових звірах), першим проміжним хазяїном буває червононогий моллюск з роду *Bithynia* або червононогий моллюск з роду *Parafossularis*, а другим – частіше прісноводна риба з родини Коропові (Cyprinidae), а іноді буває й риба з родини Бичкові (Gobiidae) або з родини Оселедцеві (Clupeidae); 7) у збудника метагоніозу метагонімуса *Metagonimus yokogawai*, що паразитує у верхніх і середніх відділах тонкого кишечника людини, а також у деяких ссавцях (котах, собаках, лисицях) і птахів (бакланів, пеліканів), першим проміжним хазяїном є червононогий моллюск з роду *Melania*, зокрема *Melania libertina*, а другим – буває риба з родини Коропові (Cyprinidae) або з родини Лососеві (Salmonidae); 8) у збудника нанофієтозу нанофієтеса *Nanophyes salmincola*, що паразитує в слизовій оболонці кишечника людини, а також у деяких ссавцях (борсуках, котах, норках, собаках), першим проміжним хазяїном є червононогий моллюск з роду *Semisulcospira*, а другим – буває риба з родини Лососеві (Salmonidae) або з родини Коропові (Cyprinidae); 9) у збудника парагоніозу сисуна легеневого *Paragonimus ringeri*, що паразитує у дрібних бронхах й крім того може виявлятися в головному мозку, м'язах, печінці, селезінці людини, а також у деяких ссавцях (снотах, котах, норках, собаках), першим проміжним хазяїном буває червононогий моллюск з роду *Oncomelania* або з роду *Semisulcospira*, а другим – представник ракоподібних, зокрема рак з роду *Cambarus* або з роду *Procambarus*, креветка з роду *Macrobrachium*, краб з роду *Eriocheir* або з роду *Potamon*.

Згадані вище трематоди відзначаються характерними шляхами потрапляння до організму остаточного хазяїна, наприклад: 1) інвазування остаточного хазяїна сисуном печінковим, в життєвому циклі якого є один проміжний хазяїн, відбувається через використання в їжу водних або напівводних рослин, на яких знадяться адолескарії гельмінта, а також й деяких інших рослин, для поливу яких використовується вода з тих джерел, де розвиваються личинки сисуна печінкового; крім того адолескарії названої трематоди можуть опинитися в організмі людини через споживання нею для пиття некип'яченої води з тих водних об'єктів, де присутні ці організми [3; 4]; 2) інвазування остаточного хазяїна шистосомами, в життєвому циклі яких є один проміжний хазяїн, відбувається внаслідок активного проникнення церкарій гельмінта в організм постраждалого через його шкіру (перкутанно) під час перебування з метою відпочинку або професійної діяльності у водному об'єкті, де ці організми розвиваються, а також під час перебування босоніж на вологій траві або на вологій поверхні, куди потрапляє вода з останнього, а крім того іноді й через слизову оболонку ротової порожнини при вживанні некип'яченої води безпосередньо з природного джерела, в якому присутня відповідна личинкова форма шистосоми [5]; 3) інвазування остаточного хазяїна тими трематодами, в життєвому циклі яких є два проміжних хазяїни, відбувається через вживання в їжу риб (у випадках опісторхозу, клонорхозу, метагоніозу, нанофістозу) або ракоподібних (у випадку парагоніозу), в яких оселилися метацеркарії відповідного гельмінта, причому існує зв'язок між поширенням захворювання, що спричинюється ним, і наявними у певних етнічних групах, а також у певних професійно орієнтованих та соціальних групах (наприклад, серед деяких рибалок та членів їх родин) кулінарними традиціями, пов'язаними з використанням в їжу або недостатньо термічно оброблених, або недостатньо просолених і термічно необроблених харчових продуктів [4; 7–10]; при цьому за виявлення у конкретних водних тваринах метацеркарій сисуна котячого, сисуна легенового, клонорха китайського, метагонімуса, нанофістеса повинні належним чином інформуватися уповноважені державні органи в сфері ветеринарної медицини [11].

Хвороби, що спричинюються трематодами, мають певну географічну приуроченість, з якою кореспондуються відповідні природно-кліматичні умови, коли є можливим існування як самого гельмінта на різних стадіях його розвитку, так і його хазяїнів [3–5; 7–9; 12], зокрема: 1) фасціольоз реєструється переважно в країнах з теплим вологим кліматом (тропічним, субтропічним); 2) ареал поширення збудника сечостатевого шистосомозу охоплює територію від Африки до Південно-Західної Індії; 3) кишковий шистосомоз поширений в країнах Екваторіальної та Південно-Східної Африки,

Південно-Західної Азії, Карибського басейну, Південної Америки (в Бразилії, у Венесуелі); 4) японський шистосомоз реєструється в країнах Східної та Південно-Східної Азії; 5) ареал поширення збудника опісторхозу охоплює в основному територію Європейського континенту і аж до Західного Сибіру; 6) клонорхоз реєструється в Південно-Східній Азії, на Далекому Сході, трапляється серед мешканців басейну річки Амур, причому в ендемічних районах буває інвазованими до 80 % населення; 7) ареалом поширення збудника метагоніозу є Далекий Схід, де від нього страждає місцеве населення, мешканці басейнів річок Амур та Уссурі, а також він трапляється й на Європейському континенті; 8) нанофістоз реєструється переважно на Далекому Сході, зокрема серед мешканців басейнів річок Амур та Уссурі, а крім того реєструється в Північній Америці; 9) парагоніоз реєструється переважно в країнах з тропічним кліматом, також трапляється на Далекому Сході, зокрема серед мешканців басейнів річок Амур та Уссурі.

Згадані вище трематодози відрізняються за поширенням. Так, хоча в світі на шистосомози страждає біля 230 мільйонів людей, а ще 500 мільйонів знаходяться під загрозою ураження відповідними шистосомами [5], проте в Україні реєструються лише поодинокі випадки таких хвороб серед осіб, які приїждять з ендемічних щодо шистосомозів країн.

Захворювання на метагоніоз реєструється серед жителів розташованих у басейнах річок Дніпро, Дністер та Дунай південних областей України, де у водних об'єктах знаходять риб, що містять збудника названого трематодозу в шкіряних покривах, на зябрах, лусках, плавцях [10; 13].

Хоча на фасціольоз, що спричинюється сисуном печінковим, страждає у 81 країні світу за різними оцінками від 2,4 до 17 мільйонів людей [3; 4], проте серед жителів України він реєструється спорадично [14]. Зважаючи на те, що остаточним хазяїном сисуна печінкового бувають велика і дрібна рогата худоба, коні [3; 6; 15–18], інвазія яких може статися під час живлення на заливних луках, якщо на рослинах трапляються адолескарії згаданої трематоди, на виявлення і попередження поширення збудника фасціольозу у тваринництві й у системі реалізації продукції тваринництва, споживачем якої є людина, спрямована діяльність відповідних органів ветеринарного і санітарного контролю. Так, в одному з господарств Обухівського району Київської області у 2018–2019 рр. яйця сисуна печінкового знаходили у 33,3 % зразків фекалій корів за середньої інтенсивності інвазії у 13 екземплярів яєць гельмінта, а також у 53,3 % зразків фекалій телиць 2018–2019 рр. народження за середньої інтенсивності інвазії у 21 екземпляр яєць гельмінта [15]. За результатами вивчення у ряді господарств Чернівецької області у 2004–2005 рр. екстенсивності фасціольозної інвазії в жуйних тварин було з'ясовано, що вона стано-

вила у великій рогатій худобі в середньому 4,5 % та у овець – 11,1 % і при цьому в зимово-стойловий період збільшувалася у тварин першої групи до 5,6 % та другої – до 13,3 % [17]. Дослідниками пропонується до обговорення питання про можливість інвазії рогатой худоби личинкам сисуна печінкового за наявності таких в кормі, зокрема в силосі, де вони потенційно здатні зберігати життєдіяльність певний час [15]. В ході післязайовної ветеринарно-санітарної експертизи туш великої рогатой худоби також реєструються факти ураження сисуним печінковим [19]. Наприклад, такі випадки мали місце в Тульчинському районі Вінницької області у 2013–2017 рр. [20], відзначалися в Полтавській області при обстеженні 4,5 % туш тварин, в Сумській області – 4,3 % [16], фіксувалися у 2013–2015 рр. на одному з агропромислових ринків м. Києва в ході експертизи у середньому 7,6 % туш великої рогатой худоби, що надходили для реалізації [21].

Поширеним у світі трематодозом, спричинюваним сисуним котятим, є опісторхоз [22–24], при цьому дослідниками згадується, що кількість осіб, які страждають на нього, оцінюється в 17 мільйонів, а ще 350–680 мільйонів складають групу ризику. В Україні стійкий природний осередок опісторхозу приурочений переважно до басейну річки Дніпро з багатьма притоками, серед яких, наприклад, річки Ворскла, Десна, Псел, Сейм, Сула [25; 26]. До водних об'єктів яйця сисуна котячого потрапляють разом з фекаліями остаточних хазяїнів паразита, якими бувають людина і рибоїдні ссавці. Після проковтування згаданих яєць червоногим моллюском з роду *Bithynia* (першим проміжним хазяїном паразита) з них виходять зрілі мірацидії, що згодом перетворюються на спороцисти, в яких формуються редії, а з останніх – церкарії. Розвинені церкарії після виходу з тіла червоногого моллюска активно проникають до організму коропавої риби (другого проміжного хазяїна паразита), в м'язах якої відбувається формування метацеркарій, що за шість тижнів стають інвазійними для людини та рибоїдних ссавців. Внаслідок вживання в їжу такої сирови, недостатньо термічно обробленої, малосоланої або слабоприв'яленої риби, коли в ній зберігаються життєздатними метацеркарії сисуна котячого, відбувається інвазування остаточного хазяїна, в організмі якого розвивається статевозріла форма названого гельмінта. При цьому в людини спричинюється захворювання на опісторхоз, що за відсутності належного лікування може тривати десятиліттями.

В Україні на опісторхоз частіше за інших страждають мешканці Сумщини, Полтавщини, Чернігівщини. Для прикладу, якщо показник захворюваності на опісторхоз в Україні в цілому у 2012 році становив 0,89 на 100 тисяч населення, у 2016 році – 0,84 на 100 тисяч населення, у 2018 році – 0,92 на 100 тисяч населення, то в Полтавській області у 2012 році – 7,89 на 100 тисяч

населення, в Сумській області у 2012 році – 21,6 на 100 тисяч населення, у 2016 році – 21,4 на 100 тисяч населення, у 2018 році – 22,4 на 100 тисяч населення, причому в деяких районах останньої тривалий час реєструються суттєво більші за середні для області значення згаданого показника, зокрема в Шосткінському районі у 8 разів [24; 25; 27; 28].

Одним з індикаторів поширення опісторхозу є інвазованість його збудником тварин, які живляться рибою. При цьому дослідниками згадується про інвазування трематодою *Opisthorchis felineus* 32 % котів, що трапляються на місцевості в басейні річки Дніпро і 19 % – Десна [24].

На території Сумської області поширення опісторхозу кореспондується з даними про виявлення відповідних личинкових стадій розвитку сисуна котячого у водних тварин: 1) у біля 3 % досліджених екземплярів червоногого моллюска, відомого як перший проміжний хазяїн у життєвому циклі названого гельмінта; 2) у 25 % досліджених екземплярів ляща, у 20 % – в'язя, у 5 % – плітки, у 5 % – краснопірки, у 2 % – в'юна, що відомі своєю роллю як другого проміжного хазяїна в життєвому циклі згаданого трематоди [27; 28].

До чинників, сприятливих до формування стійкого осередку опісторхозу у згаданих вище місцевостях, можуть бути віднесені, зокрема, такі: 1) особливості гідрографічної мережі; 2) наявність підходящих умов для існування проміжних хазяїнів сисуна котячого та для заселення останніх його личинками; 3) харчові уподобання частини місцевого населення, пов'язані з використанням в їжу сирови риби або риби, що піддавалася такій кулінарній обробці, за якої у випадку наявності в рибі метацеркарій сисуна котячого ті залишаються життєздатними; 4) згодовування домашнім тваринам сирови риби з місцевих водних об'єктів, а також відповідних відходів її переробки; 5) потрапляння недостатньо очищених комунальних стоків до водних об'єктів; 6) наявність значних територій, що періодично піддаються затопленню або підтопленню [24; 25]. Зважаючи на позначене, актуальними питаннями залишаються належний контроль за якістю паводкових та стічних вод й у тому числі за наявністю в них яєць та личинок сисуна котячого, розробка комплексу науково обґрунтованих заходів з покращення екологічного стану водних об'єктів. При цьому необхідним є дотримання визнаних міжнародною науковою спільнотою сучасних біоетичних норм і принципів в ході організації та проведення пов'язаних зі згаданим вище гідробіологічних та гідроекологічних досліджень [29–31].

В цілому питання, що кореспондуються з означеною вище роллю гідроекологічних чинників у життєвих циклах різноманітних трематод, мають враховуватися вченими та спеціалістами в сферах охорони довкілля і здоров'я населення під час планування та здійснення їхньої професійної діяльності, а нау-

ково-педагогічними працівниками при складанні та реалізації навчальних програм, за якими в закладах вищої освіти відбувається підготовка кваліфікованих біологів, екологів, лікарів. Адже глибоке розуміння

студентською молоддю органічно пов'язаних проблем паразитології, гідробіології та гідроекології є важливим елементом формування природничо-наукової компетенції особистості майбутнього фахівця [32].

Література

1. Єршова І. Б., Осичнюк Л. М., Мочалова Г. О. Гельмінтози у дітей. *Перинатологія і педіатрія*. 2013. № 2 (54). С. 125–131.
2. Сергиєнко Е. И., Звягинцева Т. Д. Распространенные гельминтозы пищеварительного тракта человека. *Ліки України*. 2011. № 7 (153). С. 18–22.
3. Caravedo M. A., Cabada M. M. Human fascioliasis: current epidemiological status and strategies for diagnosis, treatment, and control. *Research and Reports in Tropical Medicine*. 2020. Vol. 11. P. 149–158.
4. Fürst T., Duthaler U., Stripa B. et al. Trematode infections: liver and lung flukes. *Infectious Disease Clinics of North America*. 2012. Vol. 26. № 2. P. 399–419.
5. Grimes J. E., Croll D., Harrison W. E. et al. The roles of water, sanitation and hygiene in reducing schistosomiasis: a review. *Parasites & Vectors*. 2015. Vol. 8. P. 156–171.
6. Khademvatan S., Majidiani H., Khalkhali H. et al. Prevalence of fasciolosis in livestock and humans: a systematic review and meta-analysis in Iran. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2019. Vol. 65. P. 116–123.
7. Clausen J. H., Madsen H., Murrell K. D. et al. Prevention and control of fish-borne zoonotic trematodes in fish nurseries, Vietnam. *Emerging Infectious Diseases*. 2012. Vol. 18. № 9. P. 1438–1445.
8. Dung B. T., Madsen H., The D. T. Distribution of freshwater snails in family-based VAC ponds and associated waterbodies with special reference to intermediate hosts of fish-borne zoonotic trematodes in Nam Dinh Province, Vietnam. *Acta Tropica*. 2010. Vol. 116. № 1. P. 15–23.
9. Pulido-Murillo E. A., Furtado L. F. V., Melo A. L. et al. Fishborne zoonotic trematodes transmitted by *Melanoides tuberculata* snails, Peru. *Emerging Infectious Diseases*. 2018. Vol. 24. № 3. P. 606–608.
10. Теоретичні основи збереження здоров'я риб та запобігання масовим захворюванням. *Теоретичні основи рибництва* : підручник / Шерман І. М., Євтушенко М. Ю. Київ : Фітосоціоцентр, 2011. С. 456–477.
11. Давыдов О. Н., Мандыгра Н. С., Воловик Г. П., Величко Н. В. Мониторинг безопасности рыбы и рыбопродукции. *Науковий вісник ветеринарної медицини* : зб. наук. праць. Біла Церква, 2012. Вип. 9 (92). С. 51–54.
12. Давыдов О. Н., Лысенко В. Н., Куровская Л. Я., Неборачек С. И. Анализ видового разнообразия паразитов карася серебряного Южной Палеарктики. *Рыбогосподарська наука України*. 2012. № 3. С. 63–72.
13. Жемердей О. В. Епізоотична ситуація з інвазійних хвороб риб у водоймах Миколаївської області. *Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин і Державного науково-дослідного контрольного інституту ветпрепаратів та кормових добавок*. 2009. Вип. 10. № 4. С. 466–469.
14. Зубач О. О., Фаюра О. П. Фасціольоз – актуальна проблема сьогодення. *Природно-осередкові інфекції* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції інфекціоністів (Ужгород, 17–18 травня 2012 р.). Тернопіль : ТДМУ, 2012. С. 31–32.
15. Авраменко Н. В., Козій Н. В., Шаганенко Р. В., Шаганенко В. С. Комплексне лікування великої рогатої худоби за фасціольозу. *Науковий вісник ветеринарної медицини*. 2019. № 2. С. 46–52.
16. Кручиненко О. В., Клименко О. С., Михайлютенко С. М. Біохімічні й імунологічні показники крові корів за фасціольозу та дикроцеліозу. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2018. № 1-2 (47). С. 15–19.
17. Мельник П. М., Гараздук Г. В., Гараздук О. Г. Екстенсивність фасціольозної інвазії жуйних тварин у Чернівецькій області. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2007. Том 6. № 4. С. 34–35.
18. Howell A. K., Malalana F., Beesley N. J. et al. Fasciola hepatica in UK horses. *Equine Veterinary Journal*. 2019. Vol. 52. № 2. P. 194–199.
19. Манченко В., Якубчук О. Кваліфіковане проведення ветеринарно-санітарної експертизи – запорука стабільного епізоотичного стану та гарантована якість і безпека сільськогосподарської продукції. *Ветеринарна медицина України*. 2009. № 8. С. 32–34.
20. Горобей О. М., Хіміч М. С., Міхельсон Л. П. та ін. Мониторинг епідеміологічних чинників в системі управління безпекою та якістю продуктів забою великої рогатої худоби. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2018. Том 20. № 83. С. 176–182.
21. Букалова Н. В., Приліпко Т. М., Якубаш Р. А. Аналіз патології продуктів забою тварин, виявленої за проведення ветеринарно-санітарної експертизи в умовах агропромислового ринку. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2016. Випуск 24. Частина 1 (Сільськогосподарські науки). С. 33–43.
22. Pakharukova M. Y., Mordvinov V. A. The liver fluke *Opisthorchis felinus*: biology, epidemiology and carcinogenic potential. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 2016. Vol. 110. № 1. P. 28–36.
23. Pozio E., Armignacco O., Ferri F., Morales M. A. G. *Opisthorchis felinus*, an emerging infection in Italy and its implication for the European Union. *Acta Tropica*. 2013. Vol. 126. № 1. P. 54–62.
24. Чемич Н. Д., Ильина Н. И., Захлебаева В. В., Шолохова С. Е. Особенности описторхоза в природном очаге. *Актуальна інфектологія*. 2014. № 2 (3). С. 72–77.
25. Торонченко О. М. Опісторхоз як медико-екологічна проблема Полтавської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2013. № 1054. Вип. 8. С. 145–150.
26. Чемич Н. Д., Захлебаева В. В., Ильина Н. И., Шолохова С. Е. Проблема опісторхозу в Сумській області. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Медицина»*. 2012. № 1. С. 144–149.

27. Данильченко О. С. Вплив забруднених річкових вод на здоров'я людини (на прикладі Сумської області). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. № 1 (48). С. 37–45.
28. Данильченко О. С., Крупська С. І., Винарчук О. О. Захворюваність на опісторхоз як наслідок природних та антропогенних факторів (на прикладі Сумської області). *Science, Research, Development # 27 : Monografia pokonferencyjna* (Krakow, 30 March 2020 – 31 March 2020). Warszawa, 2020. Р. 28–32.
29. Романенко О. В., Груша М. М. Біоетичні аспекти іхтіологічних та екофізіологічних досліджень. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск «Гідроекологія»*. 2010. № 2 (43). С. 420–423.
30. Романенко О. В., Груша М. М. Біоетичні аспекти гідроекологічних досліджень. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія*. 2015. № 3-4 (64). С. 572–575.
31. Романенко О. В., Груша М. М. Біоетичні аспекти методології гідробіологічних досліджень. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2021. № 6 (39). С. 91–95.
32. Кравчук М., Гурняк О., Романенко О. Формування природничо-наукової компетенції у студентів при вивченні медичної паразитології. *European Humanities Studies: State and Society / Europejskie Studia Humanistyczne: Państwo i Społeczeństwo*. 2021. № 3. Р. 97–107.

БІОБЕЗПЕКА ПРИ ФОРМУВАННІ ФАХОВИХ КОМПЕТЕНЦІЙ БАКАЛАВРІВ З КУРСІВ «МІКРОБІОЛОГІЯ І ВІРУСОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ ІМУНОЛОГІЇ» ТА «ГЕНЕТИКА»

Ткачук Н.В.¹, Зелена Л.Б.²

¹Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка
вул. Гетьмана Полуботка, 53, 14013, м. Чернігів

²Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного
Національної академії наук України
вул. Академіка Заболотного, 154, 03143, м. Київ
natalia.smykun@gmail.com, zelenalyubov@gmail.com

Біобезпека та біозахист важливі для ефективного управління біоризиками, безпечного майбутнього та сталого розвитку. Зокрема впровадження правил і технік біологічної безпеки є важливим питанням навчального та науково-дослідницького процесів на природничих факультетах, адже підвищує обізнаність студентів та молодих науковців щодо питань біобезпеки та біозахисту та дозволяє знизити індивідуальні та суспільні ризики. Наразі зонами найбільш високого біоризику вважаються навчальні мікробіологічні лабораторії, в яких дозволяється працювати з агентами групи ризику 1 (відсутній або дуже низький індивідуальний і суспільний ризик), а лабораторний захист полягає у застосуванні «правильних мікробіологічних технік». Учбовими мікроорганізмами, використовуваними при опануванні курсів мікробіологічного та генетичного спрямування, що викладаються студентам-бакалаврам Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка та Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна», є чисті культури бактерій 1-ї групи ризику: *Bacillus simplex* ChNPU F1, *Streptomyces gardneri* ChNPU F3, *S. canus* NUCHC F2, *Bacillus velezensis* NUCHC C1 та NUCHC C2b, *Anaerotignum (Clostridium) propionicum* NUCHC Sat1, *Desulfovibrio oryzae* NUCHC SRB1 та NUCHC SRB2. Зазначені мікроорганізми виділено та ідентифіковано авторами статті за участі студентів, їх нуклеотидні послідовності зареєстровані у базі ГенБанк. В статті визначено методичні аспекти безпечного формування фахових компетенцій з використанням чистих культур зазначених бактерій при проведенні лабораторних робіт з курсів мікробіологічного та генетичного спрямування, які викладаються студентам-бакалаврам природничих факультетів вказаних закладів вищої освіти. В результаті аналізу навчальних програм дисциплін вперше сформульовано перелік компетенцій (знань, вмінь, навичок), яких повинен набути бакалавр в рамках навчальних курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика» з використанням чистих культур бактерій. Зазначається, що використані в ході викладання дисциплін «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика» чисті культури бактерій дозволяють сформувати значний обсяг базових фахових компетенцій з цих навчальних дисциплін. Приналежність бактерій до 1-ї групи ризику дозволяє робити це безпечно для життя й здоров'я здобувачів вищої освіти, викладачів та лаборантів.

Ключові слова: біобезпека, вища освіта, генетика, мікробіологія, фахові компетенції.

Biosafety in the formation of professional competencies of bachelors in the courses “Microbiology and Virology with the basics of Immunology” and “Genetics”. Tkachuk N., Zelena L.

Biosafety and biosecurity are important for effective biorisk management, secure futures and sustainable development. In particular, the implementation of biosafety rules and techniques is an important issue of educational and research processes at the faculties of natural sciences, as it raises awareness of students and young scientists on biosafety and biosecurity and reduces individual and societal risks. Currently, the areas of highest biorisk are considered to be microbiological training laboratories, which are allowed to work with agents of risk group 1 (no or very low individual and social risk), and laboratory protection is the use of “correct microbiological techniques”. The educational microorganisms used in mastering the courses of microbiological and genetic orientation, taught to students-bachelors of the T. H. Shevchenko National University “Chernihiv Colehium” and the Open International University of Human Development “Ukraine”, are pure cultures of bacteria of the 1st risk group: *Bacillus simplex* ChNPU F1, *Streptomyces gardneri* ChNPU F3, *S. canus* NUCHC F2, *Bacillus velezensis* NUCHC C1 та NUCHC C2b, *Anaerotignum (Clostridium) propionicum* NUCHC Sat1, *Desulfovibrio oryzae* NUCHC SRB1 and NUCHC SRB2. These microorganisms were isolated and identified by the authors with the participation of students, their nucleotide sequences are registered in the GenBank database. The article identifies methodological aspects of safe formation of professional competencies with the use of pure cultures of these bacteria in laboratory work on courses of microbiological and genetic orientation, which are taught to students-bachelors of natural faculties of these universities. As a result of the analysis of programs of disciplines the list of competences (knowledge, abilities, skills) which the bachelors should acquire within the limits of training courses “Microbiology and virology with bases of immunology” and “Genetics” with use of pure cultures of bacteria is formulated for the first time. It is noted that pure cultures of bacteria used in the teaching of disciplines “Microbiology and virology with the basics of immunology” and “Genetics” allow to form a significant amount of basic professional competencies in these disciplines. Bacteria belong to the 1st risk group, which allows them to do so safely for the life and health of higher education students, teachers and laboratory assistants. **Key words:** biosafety, high education, genetics, microbiology, professional competencies.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Біобезпека та біозахист важливі для ефективного управління біоризиками, безпечного майбутнього та сталого розвитку [1].

За визначенням Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН та Всесвітньої організації охорони здоров'я, «біозахист є стратегічною та інтегрованою концепцією, яка охоплює політичну та нормативну базу (включаючи інструменти та заходи), які аналізують і управляють ризиками в галузі безпеки харчових продуктів, здоров'я населення, життя і здоров'я тварин, життя і здоров'я рослин, включаючи пов'язаний екологічний ризик» [2, с. 8].

Навчання з біобезпеки та біозахисту через різноманітну практичну діяльність допомагає зробити управління біологічними ризиками більш ефективним для захисту людей, рослин, тварин та навколишнього середовища (рис. 1) [1].

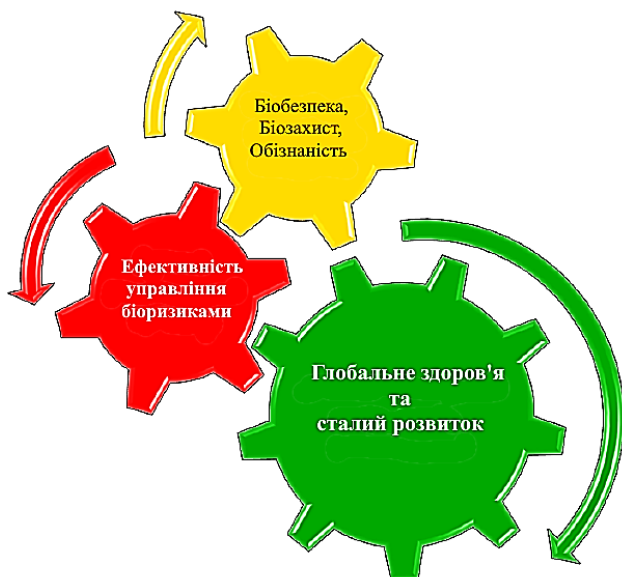


Рис. 1. Обізнаність щодо біобезпеки та біозахисту покращить комплексне управління біоризиками, і, як наслідок, це допоможе в охороні здоров'я людей, тварин і навколишнього середовища (глобальне здоров'я) проблеми сталого розвитку [1]

Важливим питанням навчального та науково-дослідницького процесів на природничих факультетах є впровадження правил і технік біологічної безпеки. Застосування основних правил біобезпеки та біозахисту у роботі зі студентами і молодими науковцями підвищує їх обізнаність щодо цих питань та дозволяє знизити індивідуальні та суспільні ризики. Наразі зонами найбільш високого біоризику вважаються мікробіологічні лабораторії [3–4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ряді сучасних публікацій обговорюється питання біобезпеки/біозахисту під час навчання мікробіології, біотехнології, біомедичним наукам, генетичної інженерії [1; 5–10]. Зокрема під час навчання лабораторній біобезпеці при опануванні мікробіологічних технік

використано Сократичний метод (також званий методом Еленха або еленктичним методом) – це педагогічний прийом навчання, при якому учні займаються рефлексивним і критичним мисленням. Через цей інтерактивний підхід студенти піддаються систематичним, випробувальним питанням, які спрямовані на активізацію і розвиток їх мислення стосовно розглянутих концепцій та понять. Сократичний метод більш орієнтований на учнів, що дає можливість їм брати активну участь під час обговорення в класі та досягнути вичерпні знання питань чи концепцій. Ключ до ефективності Сократичного методу полягає в його потенціалі спільного залучення учнів і надання навчального змісту у помітний спосіб, забезпечуючи повне розуміння досліджуваної теми. Таким чином, більш ймовірно, що ці засвоєні атрибути добре зберігаються і стають стійкими практиками учнів [9].

За класифікацією Всесвітньої організації охорони здоров'я навчальні лабораторії відносяться до базового рівня біологічної безпеки 1, оскільки їх призначення, конструкції, обладнання, засоби, які в них використовують, практики та оперативні процедури необхідні для роботи з агентами групи ризику 1 (відсутній або дуже низький індивідуальний і суспільний ризик) [3–4; 11]. Тобто спеціальне захисне обладнання в них відсутнє, особливості лабораторного захисту полягають у застосуванні «правильних мікробіологічних технік». Оскільки у таких лабораторіях використовують мікроорганізми, які не можуть спричинити захворювання у людини або тварини, наголошується на використанні лише культур, отриманих з референтних лабораторій або авторитетних джерел (наприклад, академічних лабораторій або регіональних відділів охорони здоров'я) [4]. Зазначається важлива роль Мікробних Ресурсних Центрів для освітніх цілей [5; 12]. Основою таких навчальних колекцій є культури, які для навчальних цілей підтримуються викладачем або аспірантами, щоб забезпечити їх надійні та добре охарактеризовані властивості для лабораторних курсів або експериментальних робіт [5]. Для роботи у навчальній мікробіологічній лабораторії розроблено керівництво з біобезпеки [7; 13].

Новизна. Наразі учбовими мікроорганізмами, використовуваними при опануванні курсів мікробіологічного та генетичного спрямування, які викладаються студентам-бакалаврам Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка (НУЧК) та Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна» (УУ), є чисті культури бактерій *Bacillus simplex* ChNPU F1, *Streptomyces gardneri* ChNPU F3, *S. canus* NUChC F2, *Bacillus velezensis* NUChC C1 та NUChC C2b, *Anaerotignum (Clostridium) propionicum* NUChC Sat1, *Desulfovibrio oryzae* NUChC SRB1 та NUChC SRB2. Зазначені мікроорганізми виділено та ідентифіковано нами [14–17], вони належать до групи ризику 1 [18],

Таблиця 1

**Застосування чистих культур бактерій на лабораторних роботах курсу
«Мікробіологія та вірусологія з основами імунології»**

Назва теми	Етап заняття	Завдання з використанням зазначених бактерій
Будова мікроскопа і техніка мікроскопування. Будова та морфологія бактеріальної клітини.	Закріплення знань та вмінь	Розглянути препарат-мазок (заздалегідь виготовлений викладачем) та вказати форму бактеріальних клітин і збільшення мікроскопа.
Методи мікроскопічного дослідження мікроорганізмів	Засвоєння нових знань та вмінь	Виготовити препарат «роздавлена крапля», препарат-мазок, здійснити забарвлення за Грамом.
Техніка мікробіологічного посіву	Засвоєння нових знань та вмінь	Здійснити посів у чашку Петрі петлею, шпателем, на косий агар
Виділення чистих культур та ідентифікація виду у бактерій	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Провести спостереження за ростом культур, які висівали на минулому занятті використовуючи різні методи. Дати відповідь на питання: чи змогли ви одержати чисту культуру? Відповідь пояснити. 2. Провести опис колонії бактерій.
Визначення чисельності мікроорганізмів висівом на поживні середовища	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Приготувати розведення бактерій у стерильному фізіологічному розчині. 2. Здійснити посів у чашки Петрі та пробірки для визначення чисельності мікроорганізмів
Вплив екологічних факторів на мікроорганізми	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Дослідити вплив сонячного світла на бактерії. 2. Дослідити вплив фітонцидів часнику та цибулі на бактерії. 3. Дослідити стійкість бактерій до високих температур.
Дослідження активності антибіотиків та хіміотерапевтичних препаратів	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Дослідити чутливість мікроорганізмів до антибіотиків та хіміотерапевтичних засобів диско-дифузійним методом. 2. Визначити мінімальну інгібуючу концентрацію антибіотиків або хіміотерапевтичних засобів у рідкому поживному середовищі.

Таблиця 2

**Застосування чистих культур бактерій або їх генетичних характеристик
(нуклеотидних послідовностей у ГенБанку) на лабораторних роботах курсу «Генетика»**

Назва теми	Етап заняття	Завдання з використанням зазначених бактерій
Виділення препарату ДНК з бактеріальних колоній та суспензії клітин у рідкому середовищі.	Засвоєння нових знань та вмінь	Провести виділення геномної ДНК бактерій, що культивувались на твердому та рідкому поживному середовищі, з використанням набору для виділення ДНК.
Методи кількісної та якісної оцінки виділених препаратів нуклеїнових кислот. Визначення концентрації ДНК за допомогою спектрофотометру.	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Дослідити цілісність препарату ДНК за допомогою гель-електрофорезу. 2. Провести вимірювання концентрації ДНК за допомогою спектрофотометру.
Проведення ПЛР (полімеразної ланцюгової реакції) з універсальними праймерами до гену 16S рРНК.	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Приготувати ПЛР-мікс для проведення ампліфікації фрагменту гена 16S рРНК бактерій. 2. Провести ампліфікацію гена 16S рРНК за заданого температурного режиму.
Детекція продуктів ампліфікації в горизонтальному агарозному гелі. Проведення електрофорезу.	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Приготувати розчин агарози для проведення електрофорезу. 2. Здійснити розділення ПЛР-продуктів у горизонтальному агарозному гелі. 3. Проаналізувати результати ампліфікації (візуалізація в УФ-світлі).
Очистка ПЛР-фрагменту для проведення реакції сиквенування.	Засвоєння нових знань та вмінь	Провести очистку амплікону з агарозного гелю з використанням набору для очистки ПЛР-фрагментів.
Ознайомлення з пакетом програм BLAST. Застосування алгоритму blastn для порівняння нуклеотидних послідовностей, для ідентифікації сиквенованої послідовності.	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Дослідити функції та можливості пакету програм BLAST для молекулярно-генетичного аналізу. 2. Провести порівняльний аналіз сиквенованої послідовності з задепонованими у ГенБанку з використанням алгоритму blastn. 3. Проаналізувати результати порівняння, визначити найвищий відсоток схожості нуклеотидних послідовностей.
Використання пакету програм MEGA 6 для філогенетичного аналізу. Побудова дендрограми генетичної подібності сиквенованої послідовності з депонованими у ГенБанку	Засвоєння нових знань та вмінь	1. Ознайомитися із застосуванням програми MEGA 6 для проведення філогенетичного аналізу (можливі аналізи). 2. Побудувати дендрограму генетичної подібності сиквенованої послідовності з гомологічними послідовностями з використанням 2-х параметричної моделі Кімури й методу найближчих сусідів.

їх нуклеотидні послідовності зареєстровані у базі ГенБанк.

У роботі представлено власний досвід формування фахових компетенцій студентів-бакалаврів з курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика» з використанням зазначених мікроорганізмів. Окреслені аспекти підтверджують новизну дослідження.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Визначення методичних аспектів безпечного формування фахових компетенцій з використанням чистих культур бактерій при проведенні лабораторних робіт з курсів мікробіологічного та генетичного спрямування, що викладаються студентам-бакалаврам природничих факультетів зазначених закладів вищої освіти, було метою даної роботи.

Методика досліджень. У ході дослідження використано загальнонаукові методи (методи теоретичних досліджень доступної інформації), аналітичний метод та метод узагальнень – для аналізу наукових і літературних джерел з поставленої проблеми; емпіричний – для накопичення фактів; методи аргументування – для доведення власних суджень.

Викладення основного матеріалу. В НУЧК на природничо-математичному факультеті чисті культури перерахованих вище бактерій використовуються в процесі навчання студентів-бакалаврів 4-го

року навчання спеціальностей «Середня освіта. Біологія і хімія», «Середня освіта. Хімія і біологія», «Середня освіта. Географія і біологія» у навчальній дисципліні «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології». В Інституті біомедичних технологій УУ вони знайшли застосування в ході навчання студентів-бакалаврів 2-го року навчання спеціальності 091 Біологія у дисципліні «Генетика».

Обов'язковою складовою даних навчальних дисциплін є лабораторні роботи, проведення яких вимагає дотримання правил біологічної безпеки. У таблицях 1–2 наведено теми лабораторних занять, відповідний етап заняття та завдання з використанням вищезазначених штамів бактерій з групи ризику 1.

В результаті аналізу навчальних програм дисциплін вперше сформульовано перелік компетенцій (знань, вмінь, навичок), яких повинен набути бакалавр в рамках навчальних курсів «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика» з використанням чистих культур бактерій (таблиці 3 та 4).

Висновки. Отже, використані в ході викладання дисциплін «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології» та «Генетика» чисті культури зазначених бактерій дозволяють сформувати значний обсяг базових фахових компетенцій з цих

Таблиця 3

Фахові компетенції бакалавра при вивченні курсу «Мікробіологія і вірусологія з основами імунології», сформовані з використанням чистих культур бактерій

Компетенції	Індикатори
Знати	Особливості морфології, фізіології та екології бактерій. Правила роботи з бактеріями, етапи виготовлення препаратів живих і фіксованих мікроорганізмів, особливості забарвлення за Грамом. Методи посіву мікроорганізмів, визначення чистоти культури, чисельності мікроорганізмів, їх чутливості до екологічних факторів та антибіотичних препаратів.
Вміти	Виготовляти препарати живих та фіксованих бактерій. Забарвлювати препарати простими та складними методами, проводити мікроскопування. Визначати доцільні методи та/або способи посіву з метою виділення чистих культур. Визначати оптимальний вибір поживних середовищ для мікробіологічного посіву. Визначати якісні та кількісні характеристики бактеріальних культур, які вирости. Виділяти чисті культури бактерій. Визначати чутливість бактерій до екологічних факторів та антибіотичних сполук.
Володіти	Навичками та методами морфологічних досліджень (виготовлення препаратів живих та фіксованих мікроорганізмів, забарвлення простими та складними методами, мікроскопія із сухою та іммерсійною системою світлового мікроскопа). Методами посіву на різні поживні середовища, визначення чисельності, чутливості до екологічних факторів та антибіотичних препаратів.

Таблиця 4

Фахові компетенції бакалавра при вивченні курсу «Генетика», сформовані з використанням чистих культур бактерій

Компетенції	Індикатори
Знати	Загальні можливості застосування в практичній і науковій діяльності традиційних та сучасних методів генетичних досліджень; основні напрями фундаментальної та прикладної генетики; основні закони і методи генетики та можливості їх застосування у діагностиці, біомоніторингу та в екологічних дослідженнях; характеристики методів генетичного аналізу.
Вміти	Використовувати сучасне обладнання для генетичних досліджень; доцільно використовувати головні закони, принципи і правила генетики у науково-практичній діяльності.
Володіти	Навичками і базовими методами генетичного аналізу для ідентифікації та аналізу властивостей організмів (методики виділення геномної ДНК, проведення горизонтального гел-електрофорезу, постановка якісної ПЛР, робота з базами даних нуклеотидних послідовностей).

навчальних дисциплін. Приналежність бактерій до 1-ї групи ризику дозволяє робити це безпечно для життя й здоров'я здобувачів вищої освіти, викладачів та лаборантів.

Подальшу перспективу вбачаємо у залученні чистих культур виділених нами бактерій у навчальну та науково-дослідницьку роботу з магістрами-біологами.

Література

1. Bhoire S. J. Highlights of Biosafety and Biosecurity Month (BBM) at the AIMST University and Perspectives on Biorisk Management. *Bioinformation*. 2019. Issue 15 (8). P. 568–571.
2. FAO. Biosecurity Principles and Components. Part. 1. In FAO Biosecurity Toolkit; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2007. 20 p. URL: <https://www.fao.org/3/a1140e/a1140e.pdf> (Дата звернення: 20.02.2022).
3. Організація роботи та забезпечення санітарно-протиепідемічного режиму в лабораторно-діагностичних установах різного профілю : навч. посіб. / В. В. Зленко, Н. Є. Пірятинська, М. І. Литвиненко та ін.; за ред. Залюбовської О. І. Харків : ХНМУ, 2015. 56 с.
4. Голубничка В. М., Погорелов М. В., Корнієнко В. В. Біобезпека та біозахист у біологічних лабораторіях 1-го та 2-го рівнів біобезпеки: монографія. Суми : Сумський державний університет, 2016. 123 с.
5. Sahin N. Biosafety, biodiversity and significance of Microbial Resource Centers (MRCs) in microbiology education. *World journal of microbiology & biotechnology*. 2006. Issue 22. P. 219–224. DOI: 10.1007/s11274-005-9024-1
6. Sengooba T., Grumet R., Hancock J., Zawedde B., Kitandu L., Weebadde C., Karembu M., Kenya E., Meredia K., Nampala P., Ochanda J. O., Quemada H., Rubindamayugi M. Biosafety education relevant to genetically engineered crops for academic and non-academic stakeholders in East Africa. *Electron. J. Biotechnol.* 2009. Vol. 12, No 1. P. 1–13. DOI: 10.4067/S0717-34582009000100001
7. Emmert E. A. ASM Task Committee on Laboratory Biosafety. Biosafety guidelines for handling microorganisms in the teaching laboratory: development and rationale. *Journal of microbiology & biology education*. 2013. Issue 14 (1). P. 78–83. DOI: 10.1128/jmbe.v14i1.531
8. Сазанова Е. В., Малюкова Т. А., Попов Ю. А. Учебные штаммы *Yersinia pestis*: критерии подбора, принципы применения. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2014. Вып. 3. С. 38–41.
9. Muneer S., Kayani H. A., Ali K., Asif E., Zohra R. R., Kabir F. Laboratory biosafety and biosecurity related education in Pakistan: Engaging students through the Socratic method of learning. *Journal of Biosafety and Biosecurity*. 2021. Vol. 3, Issue 1. P. 22–27. DOI: 10.1016/j.jobbb.2021.03.003
10. Sodjinou V. D., Ayelo P. A., Achade A. G. A., Affolabi D., Ouendo D. E.-M. Assessment of the Biosafety and Biosecurity in the Reference Veterinary Laboratory of Parakou in Benin. *Trop. Med. Infect. Dis.* 2021. № 6. P. 146. DOI: 10.3390/tropicalmed6030146
11. Directive 2000/54/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on the protection of workers from risks related to exposure to biological agents at work. Official Journal of the European Communities. 17.10.2000. P. 22–45. URL: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-biological-agents/77> (Дата звернення: 21.12.2020).
12. Antunes A., Stackebrandt E., Lima N. Fueling the Bio-economy: European Culture Collections and Microbiology Education and Training. *Trends in microbiology*. 2016. Issue 24 (2). P. 77–79. DOI: 10.1016/j.tim.2015.11.010
13. Guidelines for Biosafety in Teaching Laboratories. American Society for Microbiology. 2019. 10 p. URL: <https://asm.org/Guideline/ASM-Guidelines-for-Biosafety-in-Teaching-Laborator> (Дата звернення: 20.02.2022).
14. Ткачук Н. В., Зелена Л. Б., Парминська В. С., Янченко В. О., Демченко А. М. Ідентифікація гетеротрофних бактерій феросфери ґрунту та їх чутливість до пестициду лінурон. *Мікроб. журн.* 2017. Т. 79, № 4. С. 75–87.
15. Tkachuk N., Zelena L., Mazur P., Lukash O. Genotypic, physiological and biochemical features of *Desulfovibrio* strains in a sulfidogenic microbial community isolated from the soil of ferrosphere. *Ecological questions*. 2020. Vol. 31, No 2. P. 79–88. DOI: 10.12775/EQ.2020.016
16. Tkachuk N., Zelena L., Lukash O., Mazur P. Microbiological and genetic characteristics of *Bacillus velezensis* bacillibactin-producing strains and their effect on the sulfate-reducing bacteria biofilms on the poly(ethylene terephthalate) surface. *Ecological Questions*. 2021. Issue 32 (2). P. 119–129. DOI: 10.12775/EQ.2021.019
17. Tkachuk N., Zelena L. Some corrosive bacteria isolated from the technogenic soil ecosystem in Chernihiv city (Ukraine). *Studia Quaternaria*. 2021. Vol. 38, No 2. P. 101–108. DOI: 10.24425/sq.2021.136826
18. TRBA 466 «Einstufung von Prokaryonten (Bacteria und Archaea) in Risikogruppen». 382 p. URL: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA.html> (Дата звернення: 20.01.2020).

ОЦІНКА АДАПТАЦІЇ РОСЛИН ЛИПИ СЕРЦЕЛИСТОЇ (*TILIA CORDATA* MILL.) ДО ЗАБРУДНЕННЯ УРБОФІТОЦЕНОЗІВ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Василенко О.В.¹, Балабак О.А.², Балабак А.В.^{1,2}, Нікітіна О.В.¹

¹Уманський національний університет садівництва

вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань

²НДП «Софіївка» НАН України

вул. Київська 12А, 20300, м. Умань

vsolga05@gmail.com, A.V.Balabak@ukr.net, ooolga@ukr.net, o.a.balabak@ukr.net

Останніми роками спостерігається скорочення площі під міською рослинністю. Основною причиною втрати та деградації зелених насаджень є антропогенний фактор. В даній статті проаналізовано потенціал використання липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) в озелененні територій міст, які піддаються запиленню, в контексті змін клімату. Для вирішення поставлених завдань дослідження проведено аналіз адаптації рослин липи серцелистої до запилення середовища урбоєкосистеми м. Умань в умовах підвищення температур повітря. За результатами досліджень, що проводились на території м. Умань, можна зробити висновок, що в умовах збільшення за останні роки середньорічної температури повітря в середньому на 2,6 °C відбувається також і інтенсивне запилення атмосферного повітря внаслідок роботи автотранспорту. Для визначення локації із найбільш запиленим повітрям проведено аналіз завантаженості вулиць автотранспортом і визначено, що найбільша запиленою є одна із центральних вулиць – вулиця Незалежності.

Дослідженнями було доведено, що за умов високого рівня запилення зелені насадження липи серцелистої виконують роль природних фільтрів і тому вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою анатомо-морфологічних перебудов організму. Автомобільні викиди, ще і в умовах потепління клімату, впливають на структурні елементи листової пластинки липи серцелистої, особливо на покривні тканини, оскільки епідерміс рослин виконує бар'єрну та захисну функції. Таким чином, в умовах сильного забруднення (вул. Незалежності), порівняно із зразками з відносно незабрудненої території (територія НДП «Софіївка»), рослини змушені розвинути товщу кутикулу, яка дозволяє їм захиститись від впливу негативних чинників довкілля. Таким чином, стійкість рослин липи серцелистої до дії забруднення може бути пояснена посиленням ксероморфності структури листової пластинки. Це в свою чергу дозволяє рослинам липи серцелистої адаптуватися до потепління клімату. **Ключові слова:** липа серцелиста, міські фітоценози, адаптація, зміни клімату, запилення, ксероморфність.

Assessment of adaptation of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) plants to the pollution of urbophytocenoses under conditions of climate changes. Vasilenko O., Balabak O., Balabak A., Nikitina O.

In recent years, a reduction in the area under urban vegetation can be seen. The main reason for the loss and degradation of green spaces is the anthropogenic factor. This article analyzes the potential of using the small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in landscaping urban areas exposed to dust in the context of climate changes. To achieve the objectives of the study, the adaptation of the small-leaved linden plants to the dusting of the environment of the city of Uman urban ecosystem under conditions of increasing air temperatures was analyzed. Based on the results of studies conducted on the territory of the city of Uman, it can be concluded that in the context of an increase in the average annual air temperature by an average of 2.6 °C in recent years, intensive dusting of the atmospheric air due to the vehicles operation also occurs. To determine the location with the dustiest air, an analysis of the congestion of streets by vehicles was carried out and it was determined that one of the central streets, Nezalezhnosti Street, is the dustiest.

The studies have shown that at a high level of dusting, green plantings of small-leaved linden act as natural filters and therefore they are forced to adapt to stress with the help of anatomical and morphological reorganization of the organism. Vehicle emissions, even under conditions of climate warming, affect the structural elements of the leaf blade of small-leaved linden, especially integumentary tissues, since the epidermis of plants performs barrier and protective functions. As a result, under conditions of severe pollution (Nezalezhnosti st.), in comparison with samples from a relatively unpolluted territory (the territory of the NDP «Sofiyivka»), plants are forced to develop a thicker cuticle, which allows them to protect themselves from the effects of negative environmental factors. Thus, the resistance of small-leaved linden plants to the effects of the pollution can be explained by the increased xeromorphism of the leaf blade structure. This, in turn, allows small-leaved linden plants to adapt to the climate warming. **Key words:** small-leaved linden, urban phytocenoses, adaptation, climate changes, dusting, xeromorphism.

Постановка проблеми. Розширення урбанізації сьогодні є одним із провідних видів зміни землекористування. У 2005 році 49,2 % населення світу проживало в містах, і, як очікується, до 2030 року ця кількість досягне 60 % [1]. Кількість міського населення

в Україні вже перевищує 70 %, тоді як у розвинених країнах світу загалом міське населення становить понад 80 % загальної кількості населення країни [2]. Тому, міста поступово стають місцем поселення більшості населення Землі. Але інтенсивна промислова

та господарська діяльність у містах призводить до підвищення рівня забруднення атмосферного повітря. Все це ускладнюється актуальною на даний час проблемою зміни клімату.

Наслідки урбанізації та зміна клімату небезпечним чином поєднуються, загрожуючи екологічній, економічній та соціальній стабільності у світі. І хоча міські території, з їх високою концентрацією населення, промисловості та інфраструктури, швидше за все, зіткнуться з найбільш жорсткими впливами зміни клімату, урбанізація також пропонує безліч можливостей розвитку комплексних стратегій щодо пом'якшення наслідків та адаптації до кліматичних змін.

Однією із основних таких можливостей є система правильно підбраного міського озеленення. Вона є основою муніципального реагування на наслідки змін клімату, оскільки є простим і дешевим засобом ефективного управління якістю міського повітря [3].

Актуальність дослідження. Міські зелені насадження мають найбільше значення для загального вигляду міста та якості життя в ньому. Останніми роками спостерігається скорочення площі під міською рослинністю. Основною причиною втрати та деградації зелених насаджень є антропогенний фактор, а саме забруднення повітря, посуха, високі температури, забруднення ґрунту та води [4].

Тому, актуальними в даний час стають питання реконструкції та поновлення міських насаджень. У зв'язку з цим, важливим є вивчення впливу міського середовища на найбільш поширений вид міських дерев – липа серцелиста (*Tilia Cordata* Mill.).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені результати дослідження є висновками із проведеної наукової роботи, що виконувалась в межах комплексних досліджень кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва за темою: «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування», державний номер реєстрації – 0108U009772, відділу генетики, селекції та репродуктивної біології рослин Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України за темою: «Інтенсифікація технологій інтродукції та впровадження садивного матеріалу декоративних деревних рослин, перспективних для використання в урбанізованому середовищі», державний номер реєстрації – 0121U107725 і відділу дендрології та паркобудівництва Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України за темою: «Теоретичні основи оптимізації садово – паркових фітоценозів», державний номер реєстрації – 0119U002009.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно результатів дослідження [5; 6] дерева роду *Tilia* дуже часто використовуються для міського озеленення в країнах, що розташовані в помірно-континентальному кліматичному поясі. Причина цьому – високі адаптаційні властивості та толерантність представ-

ників даного виду. Крім того вони придатні для біомоніторингу [7].

Українськими науковцями проаналізовано доцільність озеленення міст деревними рослинами видів роду *Tilia* L. на основі аналізу показників естетичності та схильності до уражень паразитичними формами [8], цінних декоративних та господарських якостей [9], високих адаптаційних показників [10]. Проте, проблема морфологічних змін листків рослин даного роду внаслідок забруднення повітря та змін клімату урбоєкосистем не розкрита.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В даній статті проаналізовано потенціал використання липи серцелистої (*Tilia Cordata* Mill.) в озелененні територій міст, які піддаються запиленню, в контексті змін клімату. Крім того, вперше вивчено анатомо-морфологічні перебудови організму за умов високого рівня запилення.

Новизна. Проведено екологічну оцінку адаптації рослин липи серцелистої до умов техногенного середовища міста Умань, для цього визначено особливості росту та розвитку рослин залежно від умов існування. Оцінено стійкість рослин липи серцелистої до атмосферних забруднень у фонових умовах потепління клімату.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для вирішення поставлених завдань дослідження проведено аналіз адаптації рослин липи серцелистої до запилення середовища урбоєкосистеми м. Умань в умовах підвищення температур повітря. Представлені дослідження дозволяють наблизитись до розв'язання проблем стійкості міських зелених насаджень до забруднення за рахунок анатомо-морфологічних перебудов, а саме посилення ксероморфності структури листової пластинки.

Викладення основного матеріалу. Дослідження проводились протягом вегетаційного періоду 2020–2021 рр. в м. Умань Черкаської області. Ґрунтово-кліматичні умови м. Умань є типовими для південної частини Черкаської області, які характеризуються помірно-континентальним кліматом з нестійким зволоженням.

Останнє десятиріччя стало найбільш спекотним у світі за весь період інструментальних спостережень за погодою. В Україні зафіксовані довготривалі теплові хвилі, аномальні посухи, зросла кількість стихійних метеорологічних явищ, спостерігаються зміни в тривалості сезонів [11]. Аналізуючи дані метеорологічних спостережень Уманської метеорологічної станції за роки проведення досліджень, можна зробити висновок, що середньорічна температура повітря з кожним роком поступово підвищується і її показник перевищує середні багаторічні показники на 2,6 °С.

Основним чинником забруднення атмосферного повітря міста є пил, при масових викидах якого в навколишнє середовище спостерігається несприятлива екологічна ситуація. Одним із визначальних джерел пилоутворення є автотранспорт. Наявність мережі

міського транспорту та добре розвинутої транспортної інфраструктури робить місто значно вразливішим до проявів кліматичної зміни порівняно з іншими територіями [12].

Загалом, вулиці м. Умань, де проходить найбільша кількість автотранспорту, характеризуються багатоповерховою забудовою. Переважно усі автошляхи двостороннього руху, а зелені насадження присутні майже на усіх вулицях. Липа серцелиста – одна із основних культур даних міських фітоценозів.

Для визначення локації із найбільш запиленим повітрям ми провели аналіз завантаженості вулиць автотранспортом. Для цього було обрано такі основні вулиці з найбільшою інтенсивністю руху: вул. Європейська, вул. Незалежності, вул. Київська, вул. Максима Залізняка, вул. Заводська, вул. Теплична, вул. С. Бандери, вул. Шевченка, вул. Успенська, вул. Садова. Відповідно до підрахунків, найбільша кількість автомобілів спостерігалась на вул. Європейська, Незалежності та Київська (рис. 1).

Переважаючим видом транспорту в місті є легкові автомобілі, кількість вантажівок на центральних вулицях досить мала. У центральних районах рух автотранспорту через велику кількість автомобілів сповільнений і це спричиняє значні викиди в атмосферу шкідливих речовин. Відповідно найбільша запиленість вулиць спостерігається на локаціях біля світлофорів та біля доріг низької якості. Відповідно до даних спостережень можна виділити три основні категорії вулиць із пиловим навантаженням атмосферного повітря у місті. Так вулиці із дуже високим забрудненням це вул. Незалежності, Європейська та Київська. Вулиці високого забруднення: Шевченка, Заводська, Теплична, та вулиці помірного забруднення – вул. Успенська, Садова та М. Залізняка.

Отже, для екологічної оцінки адаптації рослин липи серцелистої до умов техногенного середовища міста Умань нами було використано дерева, які зростають на вулиці Незалежності. За контроль було взято дерева, які ростуть в умовно чистій зоні, на території НДП «Софіївка» НАН України.

За умов високого рівня запилення зелені насадження липи серцелистої виконують роль природних фільтрів (частину викидів поглинають, а до 85 % пилу затримують) [13]. Тому вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою анатомо-морфологічних перебудов організму.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що автомобільні викиди, ще і в умовах потепління клімату, впливають на структурні елементи листової пластинки липи серцелистої, особливо на покривні тканини, оскільки епідерміс рослин виконує бар'єрну та захисну функції. Таким чином, в умовах сильного забруднення (вул. Незалежності), порівняно із зразками з відносно незабрудненої території (територія НДП «Софіївка»), рослини змушені були розвинути товщу кутикулу, яка дозволяє їм захиститись від впливу негативних чинників довкілля, зокрема від пилу (рис. 2).

У зоні дії атмосферного забруднення відбувається загальне потовщення листової пластини липи серцелистої за рахунок збільшення довжини клітин, при цьому зменшується їх ширина (табл. 1).

Таблиця 1

Товщина листової пластини липи серцелистої в різних умовах середовища, мкм (середнє за роки досліджень)

Показники	Листки з умовно чистій зоні (територія НДП «Софіївка» НАНУ)	Листки з зоні дії атмосферного забруднення
Товщина стовпчастої паренхіми	96,1±0,54	101,7±0,87
Товщина губчастої паренхіми	85,4±0,42	99,4±0,94
Товщина епідермісу	32,0±0,25	40,7±0,51
Товщина листової пластинки	210,2±0,65	214,6±0,74

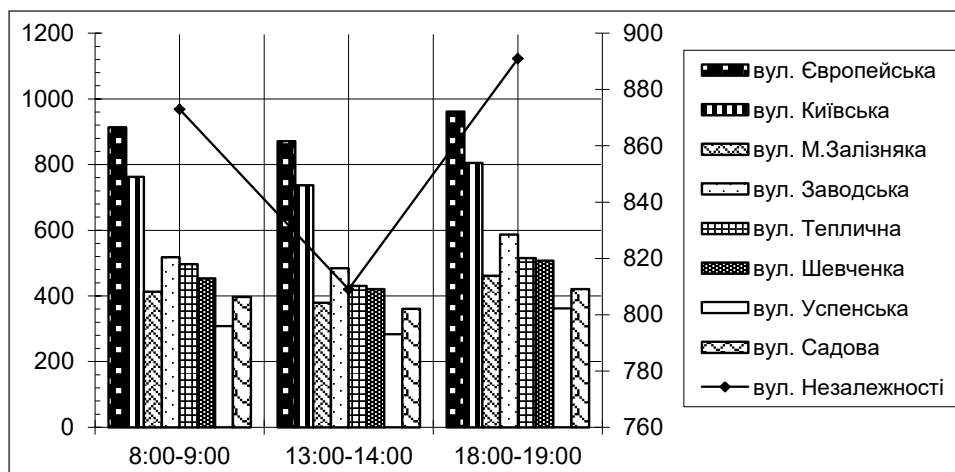
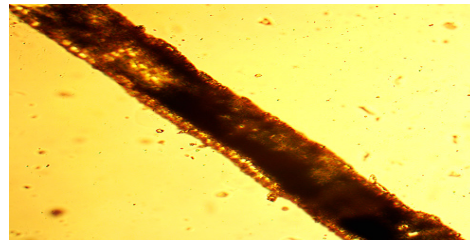
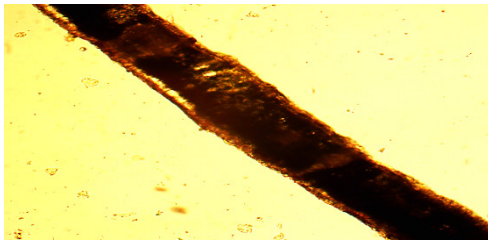


Рис. 1. Завантаженість вулиць м. Умань автотранспортом



А

Б

Рис. 2. Зрізи листової пластинки липи серцелистої
(А – умовно чисте середовище, Б – забруднене середовище)

Стійкість рослин липи серцелистої до дії забруднення може бути також пояснена посиленням ксероморфності структури листової пластинки, індекс якої вказує на збільшення кількості епідермальних клітин. Доведено, що на продиховий апарат рослин насамперед вплинули викиди автотранспорту. А, як відомо, через продиховий апарат здійснюється газообмін, транспірація та відбувається надходження токсичних речовин [14]. Тому, в умовах постійного впливу на рослини забруднювачів, які містяться в атмосферному повітрі, зменшується довжина та ширина замикаючих клітин продихів і збільшується їх щільність на 1 мм² поверхні епідермісу, що ще раз доводить, що рослини набувають ознак ксероморфності. Це в свою чергу дозволяє рослинам липи серцелистої адаптуватись до потепління клімату.

Головні висновки. Отже, за результатами досліджень, що проводились на території м. Умань, можна зробити висновок, що в умовах збільшення за останні роки середньорічної температури повітря в середньому на 2,6 °С відбувається також і інтенсивне запилення атмосферного повітря внаслідок роботи автотранспорту. Для визначення локації із найбільш запиленим повітрям ми провели аналіз завантаженості вулиць автотранспортом і визначили, що найбільша запиленість вулиць спостерігається на локаціях біля світлофорів та біля доріг низької якості.

Дослідженнями було доведено, що за умов високого рівня запилення зелені насадження липи серцелистої виконують роль природних фільтрів і тому вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою анатомо-морфологічних перебудов організму. Автомобільні викиди, ще і в умовах потепління клімату, впливають на структурні елементи листової пластинки липи серцелистої, особливо на покривні тканини, оскільки епідерміс рослин виконує бар'єрну та захисну функції. Таким чином, в умовах сильного забруднення (вул. Незалежності), порівняно із зразками з відносно незабрудненої території (територія НДП «Софіївка»), рослини змушені розвинути товщу кутикулу, яка дозволяє їм захиститись від впливу негативних чинників довкілля. Це в свою чергу дозволяє рослинам липи серцелистої адаптуватись до потепління клімату.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень, викладені в даній статті, дозволяють рекомендувати липу серцелисту як основну культуру для озеленення комунаційно-стрічкових фітоценозів міст з метою підтримки екологічної рівноваги в урбоєкосистемі, підвищення екологічної якості життя міського населення на фоні зростаючої проблеми зміни клімату. Крім того, що зміни параметрів структури листка липи серцелистої можна використовувати як тест-показник для індикації забруднення довкілля.

Література

1. United Nations Population Fund. State of the world population 2007: unleashing the potential for urban growth. *United Nations Population Fund, New York*. URL: http://www.unfpa.org/swp/2007/presskit/pdf/sowp2007_eng.pdf
2. Пирожков С. І., Лібанова Е. М., Власенко Н. С. Комплексне демографічне дослідження в Україні / за ред. чл.-кор. НАНУ, д. е. н., проф. Е. М. Лібанової. Український центр соціальних реформ, 2006. 188 с.
3. Joss S. Eco-cities – a global survey 2009. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*. 2010. № 129. P. 239–250.
4. Vainio Eeva, Velmala Sannakajsa, Salo Pertti, Huhtinen Seppo, Müller Michael. Defoliation of *Tilia cordata* trees associated with *Apiognomonina errabunda* infection in Finland. *Silva Fennica*. 2017. 51. DOI: 10.14214/sf.7749
5. Коленкіна М. Стан липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.) у зелених насадженнях міста Харків (за даними весняного обстеження). *Науковий бюлетень УНФУ*. 2020. № 30. С. 25–30. DOI: 10.36930/40300504
6. Vainio Eeva, Velmala Sannakajsa, Salo Pertti, Huhtinen Seppo, Müller Michael. Defoliation of *Tilia cordata* trees associated with *Apiognomonina errabunda* infection in Finland. *Silva Fennica*. 2017. 51. DOI: 10.14214/sf.7749
7. Khavanizadeh A., Veroustraete Frank, Buytaert Jan, Samson Roeland. Leaf injury symptoms of *Tilia* sp. as an indicator of urban habitat quality. *Ecological Indicators*. 2014. Vol. 41. P. 58–64. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.01.014
8. Родінкова В. В., Кременська Л. В., Криклива С. Д., Бобровська О. А., Щерба І. К. Аспекти доцільності насадження видів роду *Tilia* L. в урбанозоні м. Вінниці. *Український журнал медицини, біології та спорту*, 2020. Том 5, № 2 (24). С. 192–197.
9. Совакова М. О., Сидоренко І. О. Досвід використання представників роду *Tilia* Т. на ландшафтних об'єктах різних країн світу. *Наукові доповіді НУБіП*. 2012-6 (35). С. 10–19.
10. Олексієнко Н., Ліханов А. Варіабельність морфологічних і біохімічних ознак листків рослин роду *Tilia* L. в урбосередовищі. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2018. 45. С. 23–30. DOI: 10.15421/411602

11. Вразливість до зміни клімату та кліматичні цілі Запоріжжя і області. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/02/zaporizhia-klimatychna-dk-s.pdf>
12. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. URL: https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf
13. Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich A., Langenfeld-Heyser, Polle A. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Plane Trees. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010. 85. P. 251–255. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0047-4>
14. Пономарьова О. А. Зміни анатомічної будови листків дерев роду *Tilia* L. як показник адаптації до різних умов зростання. *Питання біоіндикації та біології*. 2013. 18 (2). С. 105–120.

АДАПТАТИВНІ РЕАКЦІЇ КОМАХ НА КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ

Волошина Н.О.¹, Сушко Д.Ю.¹, Дубінський Д.В.¹, Волошин О.Г.²

¹Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова
вул. Пирогова, 9, 01030, м. Київ

²Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка
вул. Гетьмана Полуботка, 53, 14013, м. Чернігів
VoloshynaNatali@gmail.com

Зміна клімату – це один із найвагоміших чинників впливу на біологічне різноманіття планети. Зростання температурних показників та екстремальні погодні явища (урагани, тайфуни, штормові вітри, повені, зливи, екстремальні температури та інші) мають для популяції комах як позитивні, так і негативні наслідки. Ентомофауна реагує на зміну не лише кліматичних умов, але і всього комплексу біотичних та абіотичних чинників, зокрема на наявність конкурентів, хижаків, паразитів, симбіонтів, доступність харчового ресурсу, втрату місця помешкання тощо.

У статті узагальнено сучасні відомості про напрями і тенденції досліджень адаптативних реакцій комах на прояви глобальних кліматичних аномалій та загрози структурно-функціональній організації природних та антропогенно змінених екосистем. Описано загрози зміни аборигенної ентомофауни для природних екосистем і наслідки від поширення інвазійних видів у локальному і глобальному контекстах.

Одним із визначальних екологічних чинників, який прямо впливає на чисельність і швидкість росту популяції комах-фітофагів, є температура атмосферного повітря. Реакції-відповіді комах на зміни температурного режиму проявляються у розширенні ареалів; зміні життєвих циклів, морфології, фізіології та етології; набутті фенологічних особливостей; вольтинізму; втраті наявних і формуванні нових взаємозв'язків з іншими видами; зміні структури популяцій, загостренні конкуренції.

Небезпечними для лісових екосистем, зелених насаджень та агроекосистем є вплив видів-інвайдерів, які за сприятливих умов середовища розширюють ареал, подовжують терміни сезонної активності; підвищують плодючість і виживання нових поколінь, що призводить до масових спалахів чисельності популяції виду; впливають на фізіологічний стан рослин, зумовлюючи їхнє пошкодження і послаблення, втрату врожаїв. *Ключові слова:* глобальні кліматичні зміни, комахи, чисельність популяції, ареал, інвазійні види.

Adaptive reactions of insects to climate change. Voloshyna N., Sushko D., Dubinskyi D., Voloshyn O.

Climate change is one of the most important factors influencing the biological diversity of the planet. Rising temperatures and extreme weather events (hurricanes, typhoons, storms, floods, downpours, extreme temperatures, etc.) have both positive and negative consequences for the insect population. Entomofauna responds to changes not only in climatic conditions but also in the whole complex of biotic and abiotic factors: the presence of competitors, predators, parasites, symbionts, availability of food resources, loss of habitat, etc.

The article summarizes current data on the directions and trends of research of adaptive reactions of insects to the manifestations of global climatic anomalies and threats to the structural and functional organization of natural and anthropogenically altered ecosystems. The threats of aboriginal entomofauna change to natural ecosystems and the consequences of the spread of invasive species in local and global contexts are described.

One of the determining environmental factors that directly affect the number and growth rate of phytophagous insects is the temperature of the atmosphere. Insect responses to climate change are manifested in the expansion of habitats; life cycle changes; acquisition of phenological features; voltinism; changes in morphology, physiology and ethology; loss of existing and formation of new relationships with other species and in the population structure, intensification of competition.

Dangerous for forest ecosystems, green plantations and agroecosystems are the influence of invading species, which under favourable environmental conditions expand the range, prolong the seasonal activity, increase fertility and survival of new generations, which leads to mass outbreaks of plant population lead to their damage and weakening, cause crop loss. *Key words:* global climate change, insects, population size, range, invasive species.

Постановка проблеми. Вплив глобальних змін клімату є багатограним, повсюдним і незворотнім із непередбачуваними екологічними та еволюційними наслідками для видів, угруповань, природних та антропогенно змінених екосистем [19].

Незважаючи на міжнародні угоди щодо обмеження викидів парникових газів, Стратегічні плани дій, Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату та інші регулюючі документи, клімат на планеті продовжує змінюватись. Усі живі організми нині знаходяться в умовах впливу стрес-фактору та адаптуються до виживання в нових

умовах. Найбільш наглядною реакцією видів тварин і рослин є зміна їх ареалу та перерозподіл видів у середовищах існування, що може змінювати продуктивність і стійкість екосистеми. Очікується, що перерозподіл видів спричинить серйозні зміни у виробництві продуктів харчування і наданні інших послуг екосистемами [7; 8].

Актуальність дослідження. За прогнозами дослідників, близько 30–40 % видів планети загрожує зникнення через втрату їх місць помешкання і неможливості адаптуватися до нових умов. Скорочення біорізноманіття загрожує трансфор-

мацією і руйнуванням екосистем, утратою контролю за шкідниками сільськогосподарських культур і патогенних зоонозних збудників інфекцій, що вже становить понад 70 % нових інфекцій людини. Нині реєструють масові випадки зміни географічних ареалів, сезонної активності, характеру міграції, чисельності популяції видів, що супроводжується трансформаціями на всіх рівнях біологічної системи, починаючи із генетичного і завершуючи екосистемним рівнем [23].

Комахи як одна із найчисельніших та найрізноманітніших груп багатоклітинних організмів мають фундаментальне значення у структурно-функціональній організації наземних і прісноводних екосистем. Тривогу наукової спільноти викликають результати програми моніторингу, які реєструють зростання кількості повідомлень про зменшення чисельності видів комах на всіх континентах [17]. Водночас причини такої ситуації не досить вивчені.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Відсутність глобальної скоординованої системи моніторингових досліджень біологічного різноманіття є основною перешкодою для розуміння наслідків зміни клімату для природних екосистем і розроблення ефективних моделей для прогнозування та управління змінами [11]. Різноманітність видоспецифічних реакцій на сучасні кліматичні аномалії та адаптивні зміни комах потребують систематизації літературних публікацій.

Метою роботи є актуалізація питання втрати біологічного різноманіття ентомофауни та узагальнення розрізнених відомостей, наявних напрямів і тенденцій дослідження реакцій-відповідей комах на зміни клімату.

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведено пошук, відбір та аналіз наукових публікацій за темою дослідження. Цей системний огляд сприятиме визначенню напрямків дослідження наслідків глобальних кліматичних змін для ентомофауни та механізмів формування адаптативних реакцій на вплив швидко змінюваних екологічних чинників.

Виклад основного матеріалу. Найвагомішою проблемою у вивченні реакції комах на вплив кліматичних змін є відсутність інформації про види в історичній ретроспективі, а також прогалини у дослідженні їх екологічних особливостей, життєвих та сезонних циклів, типів взаємозв'язків та екологічних ніш, межі ареалів та зони фізіологічних оптимумів для конкретних видів [3; 10].

Комплексний вплив абіотичних чинників на організм пойкилотермних видів, до яких відносять комах, зумовлює різні реакції-відповіді та запускає перебудову адаптивних механізмів. Біотична реакція комах на глобальні кліматичні аномалії проявляється у зміні дисперсії популяцій і синхронізованих коливаннях її чисельності у відповідь на надзвичайні

стресові фактори, такі як зростання частоти екстремальних кліматичних подій, більш інтенсивні опади чи затяжні посухи, температурні рекорди, штормові вітри, пожежі, що виходять за межі історичного діапазону максимальних і мінімальних показників. Такі зміни можуть мати як позитивні, так і негативні наслідки для окремих видів комах [2].

Д. Л. Мусолін виділив шість категорій реакції комах на зміну клімату: 1) межі ареалу; 2) чисельність популяції; 3) фенологічні особливості; 4) вольтизм; 5) морфологія, фізіологія та етологія; 6) типи взаємозв'язків із іншими видами та у структурі популяції [3].

Розширення ареалу окремих видів комах, з одного боку, може збагатити місцеве біорізноманіття, а з іншого – забезпечити зміну видів-домінантів у біоценозі. Видоспецифічним показником є формування межі зони екологічної толерантності, що залежить від комплексу екологічних чинників у конкретному місці помешкання.

Нині зафіксовано зміну ареалів багатьох видів рослин і комах фітофагів у північному напрямку і на висоті вище рівня моря. Ранньовесняне і пізнє осіннє утримання оптимальних температур зумовлює подовження вегетаційного періоду, збільшення біомаси наземних рослин [3]. Дослідження, проведені у Великій Британії, Нідерландах та Австрії, свідчать, що збагачення фауни комах за рахунок розширення ареалу суміжних біоценозів відбувається приблизно у 30 % випадків, тоді як понад 70 % знахідок нових видів мають антропогенне походження за спрямованої або випадкової інтродукції із інших країн або континентів [3]. Неоднозначними є повідомлення, що свідчать на користь абіотичних чинників у розширенні або скороченні ареалу комах або зникненні популяції. Зокрема, у 1963 році після урагану «Карла» у Техасі було зареєстровано велику кількість комах декількох видів, які раніше на цій території не виявлялись [4].

Нині зустрічаються випадки несинхронного і нерівномірного зміщення ареалів комах-фітофагів і рослин, що ними годуються. Такі зміни призводять до порушення трофічних взаємозв'язків, втрати наявного ареалу і, як наслідок, до зменшення популяції, що є катастрофічним насамперед для комах-монофагів [12].

Нині серед шкідників хвойних лісів короїди посідають провідні позиції, постійно розширюючи свої ареали, а зареєстровані випадки уражень, спричинених шкідником, стають більшими за площею і важкістю наслідків. Світову тенденцію поширення цих видів короїдів пов'язують із глобальними кліматичними змінами. Науковці відмічають кращі показники виживання і відтворення видів короїдів у північному напрямку розширення ареалу та колонізацію нових порід дерев, які не мають захисних механізмів і можливості протистояти агресії. В Європі дослідники зареєстрували позитивний зв'язок між зростанням

температурних показників і кількістю агресивних жуків, тоді як менш агресивні види демонстрували протилежну тенденцію. Більш теплі зимові температури дозволяють короїду виживати взимку, колонізувати і розмножуватись у раніше недоступних біоценозах [6; 10; 15]. Водночас дослідники простежують залежність між зростанням кількості уражених короїдами деревостанів Європи і збільшенням частоти штормових вітрів і буревіїв [20].

Зростання температури атмосферного повітря і зменшення кількості опадів мають різні наслідки для екологічних груп комах. Зокрема ксилофаги, поліфаги, термофільні види і еутрофи розширюють свій ареал, зростає інтенсивність спалахів чисельності їх популяцій завдяки високій екологічній пластичності та адаптивній здатності [3]. В інших випадках збільшення екстремальних повеней і низькі температури в лісах Коста-Ріки стали причиною зникнення цілих родів молі, а всихання хвойних лісів призвело до втрати асоційованих із ними комах [17]. Водночас науковці реєструють скорочення чисельності популяцій окремих видів комах унаслідок підвищення смертності особин і зниження плодючості через затяжні періоди спеки [20].

Теплі роки та сума ефективних температур дозволяють окремим видам додатково генерувати покоління. Дослідження, проведені в Іспанії і Великій Британії, зареєстрували більш ранній початок льоту комах (на 17–24 днів раніше) у 85 % місцевих видів порівняно із початком календарного сезону льоту [22].

Окрім того, зміна температури повітря впливає на міжвидову конкуренцію близькоспоріднених видів. Протягом 45-річного періоду спостережень на території Японії було встановлено, що в зоні перехрещування ареалу вид *Nezara viridula* не лише суттєво розширив свій, але і витіснив місцевий близькоспоріднений вид *N. antennata*, який раніше був домінантним. Зміна температури забезпечила умови для високої продуктивності нового виду та його чисельної переваги. М'які зими із середньою температурою +5 °C, здатність до заселення різних місць помешкання, поліфагія, паразитування на дикорослих рослинах і монокультурах забезпечили домінування виду *N. viridula* і витіснення *N. antennata*. Подібні результати зареєстровано у Німеччині та Великій Британії [21].

Подібну ситуацію науковці реєстрували під час дослідження динаміки чисельності популяції кліщів роду *Ixodes* у м. Києві упродовж 28 років, зокрема ранній вихід комах із діапаузи, починаючи із грудня 2006 року порівняно із квітнем у 2003 році; подовження сезонних піків нападів кліщів на жителів; появу двох піків активності; стрибкоподібні спалахи чисельності популяції, починаючи із 2006 року. Ці всі явища автори пов'язують із кліматичними температурними аномаліями в зоні спостереження, формуванням «теплового острова» в урбоекосис-

темі. Водночас, починаючи із 2000 року, відбувається заміщення домінуючого виду *Ixodes ricinus* на *Dermacentor reticulatus* [1].

Більш пізнє сезонне зниження температури зумовлює швидкі темпи розвитку комах і прискорює перебіг фізіологічних процесів, що дозволяє їм бути активними, забезпечуючи прискорення преімагінального розвитку, формування стадії імаго і продукування додаткових генерацій за сезон [14].

За даними J. E. Harrisa, зареєстровано скорочення сезонного вилову жуків в урочищах непошкоджених широколистяних листопадних лісів Європи і Північної Америки у середньому на 83 % у період польових спостережень із 1970 по 2017 роки. Під час експерименту не враховували типові чинники скорочення популяції комах, зокрема, фрагментацію і деградацію середовища існування, використання пестицидів, старіння лісу та інші. Отримані результати пояснюють реакцією ентомофауни на кліматичні зміни, що необоротно призведе до втрати біологічного різноманіття в екосистемах листяних лісів, зникнення провідних хижаків у трофічному ланцюгу та інших наслідків [14].

Не менш важливою екосистемною трансформацією є зміни у структурно-функціональній організації системи «паразит-хазяїн», які проявляються у регулюючому впливі на популяцію комах-фітофагів і рослин. Представлені результати досліджень у заповідному тропічному лісі Коста-Ріки за період з 1997 по 2018 роки виявили зменшення видового різноманіття двокрилих комах на 41 % і на 30,9 % – взаємозв'язків між гусенями та їхніми паразитами [19].

Дослідження етологічних реакцій комах у відповідь на зміну клімату обмежені. Зокрема, зареєстроване масове скупчення клопа *Arocatus melanocephalus* у житлових будинках Італії пояснювали стрімким зростанням кількості дуже спекотних днів із добовим максимумом +30 °C. Зокрема, за період спостереження з 1860 по 2002 роки середні показники температури повітря влітку сягали 23,4 °C, а у 2003 році – 28,6 °C; кількість спекотних днів зросла від 26 до 78 за рік. Немоżliвість комах пережити літню діапаузу у природних умовах (під листям чи у тріщинах кори дерев) змусило їх шукати прохолодніші місця існування [22].

Найвагомішим викликом і загрозою біорізноманіття природних екосистем нині вважають важко контрольоване поширення адвентивних (не місцевих) видів. Біотичні механізми регуляції чисельності популяцій у таких випадках є малоефективними через відсутність природних ворогів виду, їх стрімкі темпи розмноження, формування нових, не характерних для конкретного біоценозу типів зв'язків між його компонентами. Найбільш вразливими до експансії комах-інвайдерів є зелені міські насадження і лісостани. Аборигенні види витісняються монокультурними насадженнями екзотичних дерев. Нові види швидко стають домінантними, суттєво вплива-

ючи на фізіологічний стан рослин, що призводить до їх пошкодження і послаблення.

Серед комах-шкідників 94 % видів виявилися чутливими до зміни кліматичних умов [13]. Понад половини із 31 виду досліджених шкідників-фітофагів сільського або лісового господарства на підвищення температури повітря реагували розширенням ареалу і зміною динаміки чисельності популяції. Водночас екстремальні події (посуха, незначний сніговий покрив узимку) стають причиною масової загибелі деяких шкідників, що вважають корисним ефектом [3]. В окремих видів відмічено трансформацію трофічних взаємозв'язків. Наприклад, спалахи чисельності популяцій виду п'ядуна зимового (*Operophtera brumata*) почали реєструвати на альтернативних рослинах-господарях – карликовій березі і вербі, тоді як раніше цей вид вважався видоспецифічним і паразитував на березі гірській [13].

Окремі види комах-шкідників потребують особливої уваги. Зокрема, ФАО здійснює моніторинг в ендемічних зонах поширення пустельної сарани з метою контролю і своєчасного упередженого реагування на зростання її чисельності. Спостереження, що тривають із 1960 року, мали позитивну динаміку до 2019 року, після чого реєстрували вибух чисельності популяції сарани в Еритреї, Сомалі та Ємені, що пов'язують із кліматичними аномаліями і сильними зливами у цьому регіоні [16; 18].

На основі результатів польових і лабораторних досліджень науковці розробили різноманітні математичні моделі для видів комах за різних кліматичних сценаріїв. Результати обчислень близько 100 варіантів указують на високу ймовірність неочікуваних змін у поширенні та чисельності ентомофауни: від виникнення спалахів їх масового розмноження до зниження тиску на екосистеми. Водночас

у більшості публікацій простежуються загальні тенденції до кращої фенотипової пластичності та виживання видів у регіонах із помірним та холодним кліматом порівняно із представниками теплих кліматичних зон [3; 5; 9]. Комахи високогірних районів мають вищу імовірність виживання за різних сценаріїв зміни клімату через низку причин: високогірні райони менше деградовані антропогенним впливом, мають меншу концентрацію агро- та урболандшафтів і високу екологічну пластичність, що зумовлено доступом до різноманітнішого теплового середовища. Крім того, краще адаптованими є види комах, які знаходяться на вищих трофічних рівнях, мають широку харчову спеціалізацію і є поліфагами. Комахи тропічних районів є більш чутливими до умов потепління, оскільки історично зазнавали менших температурних коливань порівняно із помірними широтами [17].

Висновок. Глобальні кліматичні зміни та екстремальні погодні явища є згубними для біотичного різноманіття лісових екосистем через поширення інвазійних видів. Адаптивні реакції проявляються по-різному залежно від усього комплексу екологічних впливів та ареалу виду, часто будучи неоднозначними і непередбачуваними. Аналіз сучасних джерел літератури не дає однозначної відповіді на питання про наслідки зростання температурних показників як визначального екологічного чинника поширення комах, зміни їх морфології, фізіології та етології. Зміна клімату може сприяти спалахам чисельності окремих видів або зменшувати її через порушення трофічних взаємозв'язків, експансію інвазійних видів, прискорення швидкості фізіологічних процесів тощо. Запровадження єдиної бази біологічного різноманіття може суттєво допомогти у питаннях контролю динаміки популяцій комах в умовах зміни клімату.

Література

1. Акимов И. А., Небогаткин И. В. Иксодовые клещи городских ландшафтов г. Киева : монография. Киев, 2016. 156 с.
2. Мацяк І. П., Крамарець В. О. Інвазії комах-фітофагів на територію України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2020. Вип. 20. С. 11–25.
3. Мусолин Д. Л., Саулич А. Х. Реакция насекомых на современное изменение климата: от физиологии и поведения до смешения ареалов. *Энтомологическое образование*. 2012. Т. 1. С. 3–35.
4. Научный обзор влияния изменения климата на вредные для растений организмы: глобальная задача по предотвращению и смягчению фитосанитарных рисков в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и экосистемах: ФАО. 2021. URL: <http://www.fao.org/3/cb4769ru/cb4769ru.pdf> (дата звернення: 27.07.2021).
5. Исаев А. С. и др. Оценка характера взаимодействий «лес-насекомые» в лесах бореальной зоны в ходе возможных климатических изменений. *Лесоведение*. 1999. № 6. С. 39–44.
6. Поліщук П. В., Волошина Н. О. Стан вивченості еколого-біологічних та генетичних особливостей представників родини Scolytidae. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2020. Т. 1, № 2 (29). С. 150–157.
7. Про затвердження плану заходів щодо виконання концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року : розпорядження від 06 грудня 2017 р. № 878-Р. Веб-сайт. URL: www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-planu (дата звернення: 26.07.2021).
8. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року : розпорядження КМУ від 07 грудня 2016 р. № 932-р, веб-сайт. URL: www.kmu.gov.ua/npas/249573705 (дата звернення: 26.07.2021).
9. Рубцова В. В., Уткина И. А. Реакция лесных насекомых-фитофагов на современные изменения климата. *Лесоведение*. 2019. № 5. С. 375–384.
10. Уткина И. А., Рубцова В. В. Современные представления о влиянии изменений климата на взаимодействие лесных деревьев и насекомых-фитофагов. *Лесной вестник*. 2017. Т. 21, № 6. С. 5–12.

11. Pecl G. T. Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being. *Science*. 2017. Vol. 35. URL: <https://science.sciencemag.org/content/355/6332/eaai9214/tab-pdf> (Last accessed: 03.08.2021).
12. Schweiger O. et al. Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology*. 2008. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/07-1748> (Last accessed: 07.08.2021).
13. Lehmann P. et al. Complex responses of global insect pests to climate warming. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2020. Vol. 18, No 3. P. 141–150. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.2160> (Last accessed: 12.08.2021).
14. Harrisa J. E. et al. Decline in beetle abundance and diversity in an intact temperate forest linked to climate warming. *Biological Conservation*. 2019. Vol. 240. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000632071931057> (Last accessed: 03.08.2021).
15. Pureswaran D. S. et al. Forest insects and climate change. *Current Forestry Reports*. 2018. Vol. 4 (2). P. 35–50. URL: https://www.researchgate.net/publication/324836489_Forest_Insects_and_Climate_Change (Last accessed: 07.08.2021).
16. Kenis M. et al. Guide to the classical biological control of insect pests in planted and natural forests. *Food and agriculture organization of the united nations*. 2019 URL: <http://www.fao.org/3/ca3677en/ca3677en.pdf> (Last accessed: 30.07.2021).
17. Halsch A. et al. Insects and recent climate change Christopher. *PNAS*. 2021. No 118 (2). URL: <https://www.pnas.org/content/118/2/e2002543117> (Last accessed: 03.08.2021).
18. Kimathi E. et al. Prediction of breeding regions for the desert locust *Schistocerca gregaria* in East Africa. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-68895-2.pdf> (Last accessed: 03.08.2021).
19. Salcido D. M. Loss of dominant caterpillar genera in a protected tropical forest. *Scientific reports*. 2020. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-57226-9> (Last accessed: 03.08.2021).
20. Jactel H. Responses of forest insect pests to climate change: not so simple. *Opinion in Insect Science*, 2019. Vol. 35. P. 103–108. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214574519300227?via%3Dihub> (Last accessed: 07.08.2021).
21. Tougou D. et al. Some like it hot! Rapid climate change promotes changes in distribution ranges of *Nezara viridula* and *Nezara antennata* in Japan. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2009. No 130 (3). P. 249–258. URL: <https://www.researchgate.net/publication/227695228> (Last accessed: 07.08.2021).
22. Maistrello L. et al. Summer raids of *Arocatus melanocephalus* (Heteroptera, Lygaeidae) in urban buildings in Northern Italy: Is climate change to blame? *Journal of Thermal Biology*. 2006. URL: <https://www.researchgate.net/publication/248534408> (Last accessed: 07.08.2021).
23. Scheffers B. R. et al. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*. 2016. Vol. 354. P. 719–737. URL: <https://www.researchgate.net> (Last accessed: 27.07.2021).

ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ ТА ПРОБЛЕМИ ПЕРЕРОБЛЕННЯ НЕПРИДАТНИХ ВІТРОВИХ УСТАНОВОК

Лопушанська М.Р., Іванов Є.А.

Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Університетська, 1, 79007, м. Львів

mariia.lopushanska.agrn@lnu.edu.ua, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua

На шляху до декарбонізації виробництва виникає питання впровадження альтернативних джерел енергопостачання. Активний розвиток нетрадиційної (відновлюваної) енергетики розпочався на початку 2000-их років. У глобальному розвитку відновлюваної енергетики важливе місце займає вітрова енергетика. Розробники вітрових установок пропонують сучасніші моделі із турбінами, що виробляють понад 6 МВт електроенергії, зменшують залежність турбін від сили і швидкості вітру та гарантують від 20 до 30 років їх експлуатації. Водночас вітрові турбіни виходять з ладу раніше гарантійного терміну через поломки ротору і лопатей. Проблема повторного використання лопатей та їх повної або часткової утилізації гостро стоїть у багатьох країнах світу. Окремі частини турбіни вміщують різні матеріали, які потребують перероблення, зокрема залізо (сталі), алюміній, мідь, скловолокно, епоксидна смола, пластик, акумуляторні батареї, мастило, фарба та ін. Обраний спосіб перероблення залежить від матеріалу комплектуючих частин вітрових установок. Науковці розробляють методи перероблення композиційних матеріалів, які входять до складу лопатей та які важко відокремити між собою. Для перероблення сталі, алюмінію і міді, на які припадає понад 90 % компонентного складу вітрових турбін, існують методи повторного переплавлення. Ці методичні підходи дозволяють економити енергоресурси та забезпечити матеріал для вторинного використання.

У Львівській області вітрова енергетика почала розвиватись у 2014 р., коли введено в експлуатацію першу промислову ВЕС «Старий Самбір-1». Станом на березень 2022 р. у регіоні функціонує одна експериментальна і дві промислові вітрові електростанції. Промислові ВЕС обладнані 10 вітровими установками данського виробника «Vestas». Загальна потужність вітрових електростанцій становить 34,65 МВт. У Дрогобицькому і Стрийському районах здійснюється будівництво двох вітрових електростанцій. Запропоновані європейськими спеціалістами методи повторного використання вітрових турбін для потреб тактичного урбанізму та організації громадських просторів. Аналогічні проєкти варто реалізувати у Львівській області після виведення з експлуатації вітрових турбін. Створення нових громадських просторів збільшить туристичну привабливість міст у регіоні. *Ключові слова:* вітрова енергетика, вітрова електростанція, перероблення, утилізація, вітрова установка, турбіна, лопаті.

Wind energy in Lviv region and problems of recycling unusable wind turbines. Lopushanska M., Ivanov Ye.

On the way to decarbonization of production the reemerges the issue of introduction of renewable energy sources. The active development of non-traditional (renewable) energy began in the early 2000s. Wind energy plays an important part in the global development of renewable energy. Wind turbine developers offer more modern models with turbines producing more than 6 MW of electricity, reduce the dependence of turbines on wind force and speed, guarantee 20 to 30 years of their operation. At the same time, wind turbines start malfunctioning before the warranty period is up due to the failure of rotor and blades. The problem of reusing the blades as well as their full or partial disposal is acute in many countries of the world. Some parts of the turbine contain various materials that need to be recycled, including iron (steel), aluminum, copper, fiberglass, epoxy, plastic, batteries, oil, paint, etc. The method of processing depends on the material of the components of wind turbines. Scientists develop methods of processing composite materials, which are part of the blades and are difficult to separate. In order to process steel, aluminum and copper, which account for more than 90 % of the component composition of wind turbines, there are ways of remelting. These techniques save energy and provide material to be reused.

In the Lviv region, wind power began to develop in 2014, when the first industrial wind power plant Stary Sambir-1 was put into operation. As of March 2022, one experimental and two industrial wind power plants are in operation in the region. Industrial stations use 10 wind turbines from the Danish manufacturer «Vestas». The total capacity of wind power plants is 34.65 MW. Two wind power plants are under construction in Drohobych and Stryi districts. Presently, there exist methods of reusing of wind turbines for tactical urbanism and organization of public spaces proposed by the European specialists. Similar projects should be implemented in the Lviv region after the decommissioning of wind turbines. Creating new public spaces will increase the tourist attraction of cities in the region. *Key words:* wind energy, wind power plant, recycling, disposal, turbine, blades.

Постановка проблеми. У зв'язку з глобальними змінами клімату, все більше уваги приділяється виробництву електроенергії без викидів парникових газів, зокрема безвуглецевому її виробництву. Саме

тому, на початку 2000-их років розпочали активно обговорювати розвиток відновлюваної енергетики. Найбільшу увагу приділяли сонячній і вітровій енергетиці. Для багатьох країн така енергетика стала про-

ривом на шляху до декарбонізації, її активно стали впроваджувати. Інтенсивний розвиток вітрової енергетики в Україні припадає на 2015–2019 роки. Водночас, важливим та досі не врегульованим питанням в Україні, яке вже у найближчі роки стане актуальним, вважаємо перероблення та утилізацію комплектуючого обладнання непридатних вітрових установок, зокрема лопатей та елегазових вимикачів.

Актуальність дослідження. Для виробництва електроенергії на вітрових електростанціях (ВЕС), головно, необхідно визначити території з високим вітропотенціалом та змонтувати вітрову установку. Важливим елементом вітрової установки є лопаті (у більшості промислових вітряків їх три), від розміру яких залежить потужність вітрової установки. Вони приводять у рух вал вітрогенератора (вітрової турбіни) завдяки кінетичній енергії вітру [1]. Термін придатності турбіни становить 20–30 років. Для того, щоб вітрові турбіни генерували максимальні обсяги електроенергії, лопаті вкривають спеціальними речовинами, тому їх не можна утилізувати як звичайні відходи. На жаль, на законодавчому рівні питання утилізації специфічного обладнання від вітрової енергетики не врегульоване.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У 2014 р. Україна підписала з Європейським Союзом (ЄС) Угоду про асоціацію. У главі 6 «Навколишнє середовище» угоди зазначено, що співробітництво передбачає збереження, захист, поліпшення і відтворення якості навколишнього середовища в частині управління відходами і ресурсами (ст. 361), а законодавство України поступово зближуватись із законодавством ЄС у сфері охорони навколишнього середовища (ст. 363) [2].

В ЄС активно розвивається циркулярна економіка (економіка замкнутого циклу), яка передбачає зменшення негативного впливу на довкілля, зокрема в частині зменшення відходів виробництва та повторного використання, перехід з використання викопного палива на відновлювані джерела енергії [3].

Оскільки в Україні вітрова енергетика є молодого галуззю енергетики, то проблему утилізації комплектуючого обладнання вітрових установок нерідко вважають не актуальною. Попри те, що термін експлуатації вітрових установок залежно від виробника може змінюватись від 20 до 30 років, вже фіксуються випадки, коли лопаті стають не придатними для подальшої експлуатації через пошкодження раніше до цього терміну. Проте варто врахувати, що в Україні досі відсутні підприємства, які б могли утилізувати специфічне обладнання вітрової установки. У статті проаналізовано приклади можливого повторного використання та утилізації обладнання вітрових установок у різних країнах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальні проблеми вітрової енергетики та перероблення комплектуючих частин вітрових установок

розглянуті у працях науковців Національної лабораторії з відновлюваної енергетики (США), зокрема О. Купермана, А. Ебарле, Е. Ланце [4]. Питання впливу відходів від вітрової енергетики на довкілля вивчають науковці з Канади і Великої Британії, зокрема Г. Хенг, Ф. Менг і Дж. МакКечні [5]. На сьогодні в українських дослідженнях мало вивчені розглянуті у статті питання, існують лише роботи Б. Мухи та І. Притули, присвячені вітровому потенціалу досліджуваного регіону [6]. Варто зазначити, що багато публікацій регулярно подають виробники вітрових турбін, описуючи можливості забезпечення повторного використання та мінімізації утворення відходів.

Метою роботи є вивчення досвіду інших країн щодо управління відходами від вітрових електростанцій та можливістю їхнього подальшого використання у вітровій енергетиці та інших галузях, запровадження локальних громадських просторів.

Новизна. У роботі визначено та узагальнено подальші способи управління відходами від вітрових електростанцій, наведено приклади реалізації методів перероблення та використання лопатей у міському середовищі, запропоновано шляхи управління відходами існуючих вітрових установок у Львівській області.

Методологічне значення. У роботі використано дані Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг [7], Департаменту паливно-енергетичного комплексу на енергозбереження Львівської ОДА [8], Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля [9], а також інформацію з офіційних сайтів підприємств, які займаються будівництвом та експлуатацією об'єктів вітрової енергетики [10]. Здійснено аналіз та узагальнення зібраних даних. У роботі розглянуто вітрові електростанції Львівської області та можливі методи управління відходами після їхнього виведення з експлуатації. Дослідження є важливим для визначення подальших дій України на шляху до декарбонізації виробництва та забезпечення принципів циркулярної економіки.

Викладення основного матеріалу. Розвиток вітрової енергетики у Львівській області розпочато у 1997 р. із введенням в експлуатацію Східницької (Трускавецької) ВЕС, побудовану для вивчення ефективності функціонування вітрових електростанцій в Українських Карпатах. Це експериментальна вітрова електростанція із загальною встановленою потужністю 750 кВт, розташована поблизу селища Східниця. Станція налічує сім американських турбін типу USW 56-100, виготовлених в Україні за ліцензією [11].

У 2015 р. введено в експлуатацію першу чергу, а у 2016 р. – другу чергу ВЕС «Старий Самбір-1» загальною встановленою потужністю 13,2 МВт, яка генеруватиме електроенергію за “зеленим” тарифом до 2030 р. Це перша промислова вітрова електростанція у Західній Україні і гірському регіоні Українських

Карпат. У 2017 р. побудовано ВЕС «Старий Самбір-2» загальною потужністю 20,7 МВт (рис. 1). Отже, на сьогодні у Львівській області діють дві промислові та одна експериментальна ВЕС загальною потужністю 34,65 МВт (табл. 1) [11].



Рис. 1. ВЕС «Старий Самбір-2» (на задньому тлі – ВЕС «Старий Самбір-1») [10]

Для виробництва електроенергії від вітрової електростанції важливу роль відіграють вітрові установки (турбіни). Провідними виробниками вітрових турбін у світі вважаються чотири корпорації: “Vestas” (Данія), “Nordex” і “Siemens” (Німеччина), “General Electric” (США).

Діючі промислові вітрові електростанції у Львівській області обладнані десятима вітровими установками данського виробника “Vestas”. Співвідношення матеріалів для турбін різної потужності відрізняються [12]. Компонентний склад матеріалів для виробництва вітрових турбін типів V112-3.3 і V126-3.45 становить відповідно: сталь і залізо – 87,0 і 89,0 % від загальної ваги, скло і вуглецеві композити – 7,1 і 5,7 %, полімерні матеріали – 2,8 і 2,7 %, алюміній і сплави – 1,0 і 1,3 %, електро-

ніка – 0,8 і 0,7 %, мідь і сплави – 0,7 і 0,6 %, мастило й флюїди – по 0,4 %.

Проаналізуємо головні характеристики встановлених вітрових турбін в межах Львівської області, які експлуатуються (див. табл. 1). Одинична встановлена потужність турбін змінюється від 3,3 до 3,45 МВт. Загальна кількість лопатей усіх промислових вітрових електростанцій становить 30 од., а очікувана маса відходів композитних матеріалів, що вже у недалекому майбутньому буде накопичено на Львівщині – 401,904 т.

Розглянемо потенційні способи перероблення та утилізації окремих частин вітрової установки та матеріалів, які їх складають (рис. 2) [13]. Окремі частини турбіни вміщують різні головні матеріали, зокрема залізо (сталь), алюміній, мідь, скловолокно, епоксидна смола, пластик, акумуляторні батареї, мастило, фарба та ін.

Власне сучасні технології оброблення матеріалів після завершення терміну служби турбін визначають обраний спосіб перероблення та утилізації вітрових установок. Наприклад, чорні і кольорові метали придатні для переплавлення і подальшого використання, тоді як скловолокно чи епоксидні смоли потребують складнішого перероблення, спалювання чи захоронення на сміттєзвалищах.

Загалом, на сьогодні у світі вже впроваджено або продовжують активно вивчати такі способи перероблення вітрових турбін (табл. 2). При цьому обраний спосіб перероблення залежить від матеріалу комплектуючих частин вітрових установок [14].

У Європейському Союзі суворо регульовані матеріали, що потрапляють на сміттєзвалища, тому окремі лопаті спалюють у котлах теплових електростанцій і печах цементних заводів. Зважаючи на слабкий і нерівномірний енергетичний вміст лопатей, при спалюванні скловолокно залишає забруднювачі речовини [17]. У свою чергу, заклики до

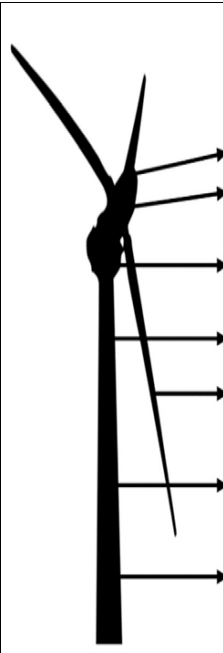
Таблиця 1

Головні характеристики вітрових турбін у Львівській області [10]

Вітрова електростанція	Місце розташування	Рік введення в експлуатацію	Кількість, тип і вага турбін	Одинична і загальна встановлені потужності, МВт	Загальна кількість лопатей	Очікувана маса відходів композитних матеріалів, т
Східницька (Трускавецька)	смт Східниця Дрогобицького р-ну	1997	сім, USW 56-100	0,75	–	–
Старий Самбір-1, перша черга	м. Старий Самбір Самбірського р-ну	2014	дві, V112-3.3, 438,0 т	$3,3 \times 2 = 6,6$	6	77,915
Старий Самбір-1, друга черга	м. Старий Самбір Самбірського р-ну	2016	дві, V112-3.3, 438,0 т	$3,3 \times 2 = 6,6$	6	77,915
Старий Самбір-2	с. Стрільбичі Самбірського р-ну	2017	шість, V126-3.45, 530,0 т	$3,45 \times 6 = 20,7$	18	246,074
Разом			17	34,65	30	401,904

заборони звалищ у ЄС прискорюють розвиток технологій рециркуляції та зростання попиту на перероблені матеріали. Наприклад, датський вітроенер-

гетичний гігант “Vestas” поставив кінцевою метою зробити лопать на 100 % придатною для вторинного перероблення [18].



Частина турбіни	Головні матеріали	Оброблення після завершення терміну служби
Маточина	Залізо	Перероблення (переплавлення)
Ковпак ротора	Скловолокно, епоксидна смола або сталь	Перероблення, спалювання чи сміттєзвалище
Гондола	Сталь, постійні магніти, блок управління процесами, батареї	Перероблення твердих частинок, спалювання чи сміттєзвалище
Платформи і сходи	Алюміній	Перероблення (переплавлення)
Лопаті	Скловолокно, епоксидна смола і коркове дерево	Перероблення твердих частинок, спалювання чи сміттєзвалище
Кабелі та шини	Пластик, мідь і алюміній	Перероблення (переплавлення)
Вежа (башта)	Сталь	Перероблення (переплавлення)
Інше	Мастило, фарба, каучук, пластик	Перероблення, спалювання чи сміттєзвалище

Рис. 2. Потенційні способи перероблення та утилізації окремих частин вітрової установки [13]

Таблиця 2

Способи перероблення матеріалів комплектуючих частин вітрових установок [14]

Матеріал комплектуючих частин	Спосіб перероблення
Сталь, залізо	Повторне перероблення, подальше використання. Збільшення частоти перероблення знижується якість сталі, а видалення домішок вимагає збільшення фінансових витрат. При демонтажі турбін приблизно 10 % сталі (заліза) залишається закопаним у землю або вивозиться на звалище разом із бетоном
Бетон	Після демонтажу 100 % відходів вивозять на звалище. Розглядається варіант, коли фундаменти залишаються у землі без демонтажу
Композиційні матеріали	Складені з вугле- і склопластику. Складно переробити, відокремити армуючі волокна і полімерні смоли, тому переважає захоронення. Розроблюють екологічні варіанти поводження з цими відходами
Мідь	Повторне перероблення, вимагає на 85 % менше енергії від виробництва первинної міді. Мідь підземних кабелів не переробляють, вона залишається закопаною. Отримують до 90–95 % продукту
Алюміній	Повторне перероблення, вимагає на 95 % менше енергії від виробництва первинного алюмінію
Пластик	Повторне перероблення можливе лише один–два рази, після підлягає утилізації. Спосіб перероблення залежить від типу пластику, має власну швидкість перероблення і специфічні властивості, які визначають термін служби. Пластик використовують в електроніці, кабелях і лопатях. Типи та обсяги пластику невідомі і відрізняються у різних конструкціях турбін

Спеціалісти Національної лабораторії з відновлюваної енергетики (США) визначили методи досягнення циркулярної економіки для вітрової енергетики [15]. Виробництво і зберігання відновлюваної енергії стає центральною віссю економіки чистої енергії. Нові матеріали і технології гарантують продовження терміну експлуатації та уникнення проблем перероблення вітрових установок.

Особливо важливим є процес перероблення лопатей вітрових установок. На сьогодні у багатьох країнах накопичено досвід їхнього перероблення. Наприклад, співробітники фірми “Carbon Rivers” і вчені Університету Теннессі (США) виведені з експлуатації лопаті вітрових турбіни механічно розбивають на невеликі шматочки, а потім за допомогою піролізу (термічного розкладання) отримують високоякісне скловолокно, яке використовують для виробництва композитів другого покоління для автомобільної, морської та аерокосмічної промисловості [16] (рис. 3а).

Стартап “Global Fiberglass Solutions” розробив метод розбиття лопатей та пресування їх у гранули і волокнисті плити, які використовують для заповнення підлоги і стін (див. рис. 3б). Запропоноване циркулярне рішення спрямоване на захоронення відходів зі скловолокна та зменшення вуглецевого

сліду у світі [19]. Вчені Орхуського університету (Данія) розробляють хімічний розчинник, який розділить композитні матеріали, виокремить окремо скло від пластикових волокон, що дозволить їх переробити [20].

У США лопаті розрізають та зберігають на спеціальних звалищах лопатей. Американська асоціація вітроенергетики стверджує, що зберігання лопатей на спеціальних звалищах є найбезпечнішим і найдешевшим виходом із ситуації (див. рис. 3в) [21].

Загалом, до проблем повторного перероблення (утилізації) лопатей відносять значну собівартість робіт, складність відокремлення скловолокна від інших компонентів у складі лопатей та відсутність технологій, які б забезпечили ефективне повторне використання. Оскільки нині відсутні технології повного перероблення, які мінімізують вплив на довкілля, деякі країни використовують обладнання вітрових електростанцій для інших цілей.

Питання перероблення та утилізації відходів непридатних вітрових установок в Україні наразі не розглядається. Проаналізуємо досвід управління відходами від вітрових електростанцій, який накопичено у Великій Британії. Частка перероблених матеріалів комплектуючих частин вітрових установок суттєво відрізняється. На сьогодні у цій країні



а) процес перероблення лопатей за допомогою піролізу



б) перероблені гранули з лопатей

в) утилізація лопатей на звалищі

Рис. 3. Способи перероблення та утилізації вітрових лопатей [16; 17; 19]

переробляють 87 % сталі і заліза, 95 % алюмінію і міді, а решта чорних і кольорових металів потрапляє на захоронення у спеціальні полігони. Бетон і композитні матеріали у повному обсязі утилізують на сміттєзвалищах. Дані щодо поводження із відходами пластику на жаль відсутні [14].

У перспективі, відповідно до Стратегії розвитку Львівської області на період 2021–2027 рр., у регіоні заплановано будівництво 16-ти вітрових електростанцій загальною встановленою потужністю понад 505 МВт (рис. 4) [11]. Загальна потужність ВЕС є співмірною із потужністю Добротвірської ТЕС. Будівництво нових вітрових електростанцій передбачено у шести із семи адміністративних районів Львівщини. Найбільші потужності планують ввести у Новояворівській і Городоцькій міських територіальних громадах Яворівського району, Трускавецькій міській територіальній громаді Дрогобицького району і Славській селищній територіальній громаді Стрийського району [22].

Згідно з нашим прогнозом, навіть за умови встановлення вітрових турбін одиничною потужністю 5,0 МВт, через 25 років утвориться понад 300 відпрацьованих лопатей, які потрібно буде переробити. Існує ймовірність, що до цього часу з'являться новітні екологічно безпечні технології, які позитивно вплинуть на довкілля та забезпечать повне перероблення лопатей.

В Львівській області на сьогодні експлуатують 10 вітрових турбін, а термін експлуатації першої черги ВЕС завершиться у найближчі 10–15 років. Оскільки кількість відпрацьованих лопатей є невеликою (30 од.), пропонуємо їхнє використання для розвитку різних громадських просторів у містах Львівщини. Приклади вдалого використання лопатей з метою будівництва мостових переходів (а), ігрових майданчиків (б) чи велосипедних станцій (в) у країнах ЄС (Данія, Нідерланди, Польща та ін.) вказують на перспективність цього напрямку (рис. 5). Це сприятиме розвитку сучасних міст і містечок Львівської області

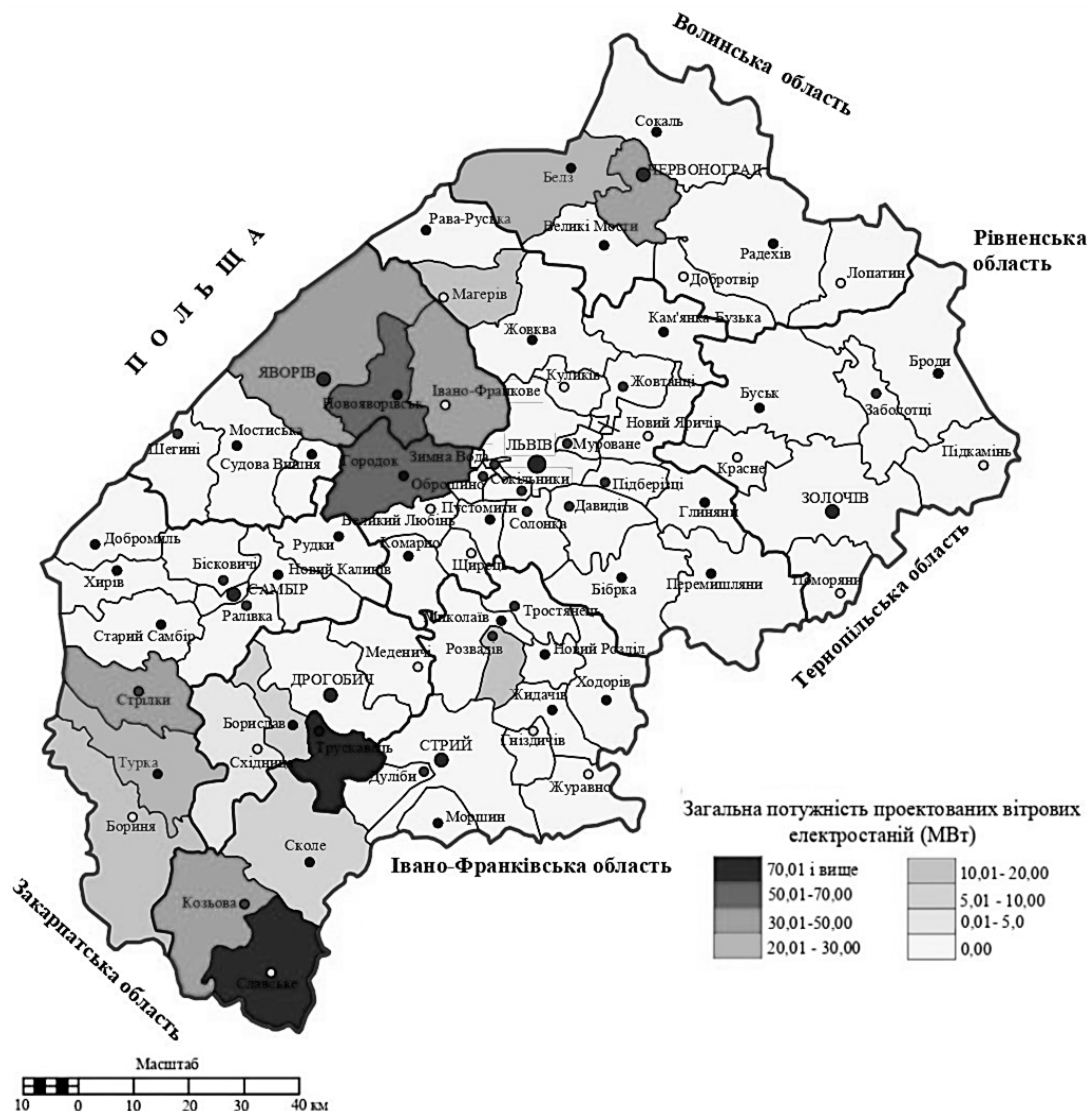


Рис. 4. Перспективні вітрові електростанції у Львівській області (за даними Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля [9])

згідно з сучасними принципами тактичного урбанізму. Організація креативних громадських просторів суттєво збільшить туристичну привабливість локацій та дасть змогу якісно використати міське середовище.

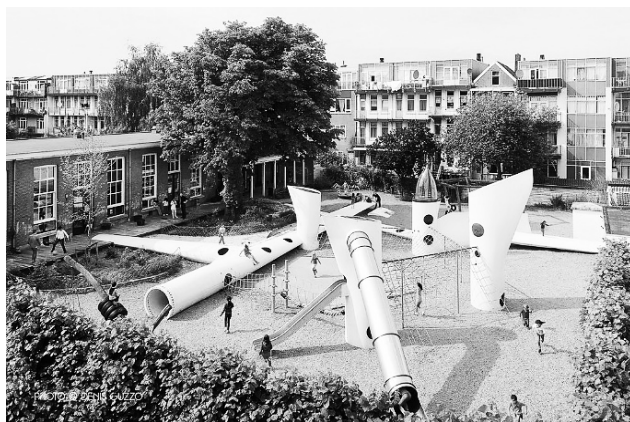
Варто зазначити, що для ефективної роботи вітрових турбін слід врахувати можливість заміни комплектуючих частин через зношення або пошкодження, які зумовлені різними внутрішніми і зовнішніми чинниками. Найчастіше із ладу виходять генератори, лопаті і ротор. Це зумовлює додаткове

утворення відходів у досліджуваному регіоні від вітрових електростанцій до завершення гарантійного терміну експлуатації [14].

Висновки. З початком процесу декарбонізації, у світі активно розвивають відновлювані джерела енергетики, зокрема й вітрову енергетику. Чимало уваги приділено вивченню питань збільшення однічної потужності вітрових турбін, забезпеченню ефективнішого використання вітрового потенціалу та збільшення виробництва електроенергії.



а) перший у світі лопатевий мостовий перехід на заході Польщі



б) ігровий майданчик і громадський простір у Роттердамі (Нідерланди)



в) велосипедна станція у Данії



Рис. 5. Приклади використання лопатей в цілях тактичного урбанізму [20; 23; 24]

Водночас, актуальним і не вирішеним залишається питання забезпечення екологічно ефективного перероблення або повторного використання комплектуючих елементів вітрових установок. Сучасні технології не спроможні повністю переробити лопаті, проте науковці працюють над їхнім удосконаленням. У передових країнах світу вже сьогодні накопичено досвід практичного використання лопатей у різних арт-проектах та в цілях тактичного урбанізму. Проаналізований досвід буде корисним для вирішення проблем утилізації вітрових установок в Україні загалом і Львівській області зокрема.

Перспективи використання результатів дослідження. Загалом розвиток вітрової енергетики є перспективним для Львівської області. Проте будівництво та експлуатація сучасних вітрових установок потребує значно більше коштів порівняно із сонячними панелями. При їхньому проектуванні важливо враховувати вплив на довкілля, на орнітофауну та хіроптерофауну прилеглих територій. Важливим аспектом є також наявність значної кількості спеціальних документів для того, щоб увести в експлуатацію вітрові електростанції.

Література

1. Будова та компоненти вітряних установок. ПКП «Техноноватор». URL: <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/wind-energy-ua/construction-wind-system-ua.html>
2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: закон України від 16 вересня 2014 р. № 1678-VII. *Відомості Верховної Ради України*. 2014. № 40. Ст. 2021. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text
3. Федорчук Я., Серветник Д. Циркулярна економіка. Організаційно-правові аспекти. Business Law Electronic Resource. URL: <https://www.businesslaw.org.ua/circle-economic-t/>
4. Cooperman A., Eberle A., Lantz E. Wind turbine blade material in the United States: Quantities, costs, and end-of-life options. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020. Vol. 168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105439>
5. Heng H., Meng F., McKechnie J. Wind turbine blade wastes and the environmental impacts in Canada. *Waste Management*. 2021. Vol. 133. P. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.032>
6. Муха Б. П., Притула І. М. Нові результати досліджень вітру в Карпатах. *Проблеми географії України* : матеріали наукової конференції (Львів, 25–27 жовтня 1994 р.). Львів, 1994. С. 198–199.
7. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <https://www.nerc.gov.ua/?id=60637>
8. Департамент паливно-енергетичного комплексу та енергозбереження Львівської ОДА: офіційний сайт. URL: https://loda.gov.ua/departament_palyvno_energetychnogo_kompleksu_ta_energozberezhennya
9. Єдиний реєстр з оцінки впливу на довкілля. URL: <http://eia.menr.gov.ua/>
10. Еко-Оптіма: офіційний сайт. URL: <http://www.ecooptima.com.ua/#projects>
11. Геоєкологія Львівської області : монографія / за заг. ред. Є. Іванова. Львів : Простір-М, 2021. 606 с.
12. Material Use. Turbines. Vestas Wind Systems. URL: https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/environment/201802_Material%20Use%20brochure.pdf
13. Jensen J. P. Evaluating the environmental impacts of recycling wind turbines *Wind Energy*. 2018. 22 (3). P. 316–326. DOI: 10.1002/we.2287
14. Tota-Maharaj K., McMahon A. Resource and waste quantification scenarios for wind turbine decommissioning in the United Kingdom. *Waste Disposal & Sustainable Energy*. 2021. Vol. 3. P. 117–144. DOI: 10.1007/s42768-020-00057-6
15. NREL Research Identifies Motivations, Methods for Achieving a Circular Economy for Wind Energy. *National Renewable Energy Laboratory (NREL) Transforming Energy*. 2021. 16 February. URL: <https://www.nrel.gov/news/program/2021/nrel-research-identifies-motivations-methods-for-achieving-a-circular-economy-for-wind-energy.html>
16. No Time To Waste: A Circular Economy Strategy for Wind Energy. *Office of Energy Efficiency & Renewable Energy*. 2021. 2 June. URL: <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/no-time-waste-circular-economy-strategy-wind-energy>
17. Martin C. Wind Turbine Blades Can't Be Recycled, So They're Piling Up in Landfills. *Bloomberg Green*. 2020. 5 February. URL: <https://www.bloomberg.com/news/features/2020-02-05/wind-turbine-blades-can-t-be-recycled-so-they-re-piling-up-in-landfills>
18. Боротьба з вітряками: чому утилізувати відпрацьовані вітряні турбіни виявилось складно. *Mind*. 2021. 26 червня. URL: <https://mind.ua/news/20227900-borotba-z-vitryakami-chomu-utilizuvati-vidpracovani-vitryani-turbini-viyavilosya-skladno>
19. Steffen A. What Happens To Old Wind Turbines? The Answer's Not So Eco-Friendly. *Intelligent Living*. 2020. 22 February. URL: <https://www.intelligentliving.co/what-happens-to-old-wind-turbines-the-answers-not-so-eco-friendly/>
20. Patowary K. The Second Life of Wind Turbine Blades. *Amusing planet*. 2017. 12 January. URL: <https://www.amusingplanet.com/2017/01/the-second-life-of-wind-turbine-blades.html>
21. Лопаті вітрових електростанцій викидають на звалища, бо їх складно переробити. Хмарочос. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2021/10/04/lopati-vitrovih-elektrostantsij-vykydayut-na-zvalyshha-bo-yih-skladno-pererobyty/>
22. Lopushanska M., Krychevska D., Ivanov E., Pylypovych O. Geography, current state and development prospects of renewable energy facilities in Western Ukraine (example of Lviv region). *Geo Decade 2020–2030* : International Geographic Conference (24–26 November 2020, Sofia, Bulgaria): Book of abstracts. Sofia, 2020. P. 41–43.
23. Denmark is repurposing discarded wind turbine blades as bike shelters. *JNews*. 2021. 27 September. URL: <https://africapearl.com/2021/09/27/denmark-is-repurposing-discarded-wind-turbine-blades-as-bike-shelters.html>
24. Stone M. Engineers are building bridges with recycled wind turbine blades. *The verge*. 2022. 11 February. URL: <https://www.theverge.com/2022/2/11/22929059/recycled-wind-turbine-blade-bridges-world-first>

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК [628.31:628.472.3](542.87+544.725.2)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.28>

КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВОД ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ КОМУНАЛЬНИХ ВІДХОДІВ

Кучерук Д.Д., Балакіна М.М.

Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А. В. Думанського

Національної академії наук України

бульв. Академіка Вернадського, 42, Київ, 03142

bantam@ukr.net

Утворення фільтраційних вод, які містять численні та в значних кількостях компоненти розпаду токсичних неорганічних і мінеральних речовин, є найважливішою проблемою, що виникає при експлуатації полігонів захоронення твердих комунальних відходів. Проникаючи в ґрунтові та поверхневі води, фільтрати негативно впливають на рослинність, тварин і людину, при цьому ґрунтові води здатні спровокувати забруднення величезної території. Особливості формування фільтратів, їх багатокомпонентний хімічний склад, який змінюється протягом життєвого циклу полігону, значна відмінність від промислових і міських стічних вод обумовлюють складність знешкодження фільтратів і необхідність розробки методологічних і концептуальних підходів вирішення цієї проблеми, проте в зв'язку з відмінностями в складі забруднень і їх концентрацій на різних полігонах, для кожного конкретного полігону необхідно проведення комплексу досліджень і розробка власної схеми знешкодження.

Проведені дослідження застосовності гальванокоагуляції, низьконапірного зворотного осмосу й електродіалізного концентрування з використанням електродіалізатора-концентратора удосконаленої конструкції дозволили створити наукові засади знешкодження та переробки багатокомпонентних токсичних фільтратів «старих» і стабілізованих полігонів захоронення твердих комунальних відходів до нормативних показників, на основі чого були запропоновані принципові блок-схеми комплексної переробки фільтраційних вод полігонів ТКВ. Схеми базуються на гнучкому блочному принципі, в основу якого покладено використання двох мембранних методів – електродіалізу та зворотного осмосу, що успішно доповнюють один одного. Цим блоком передують інші блоки, що призначені для домембранної обробки фільтратів: механічного очищення для затримання завислих речовин; гальванокоагуляції для очищення від органічних поллютантів; адсорбційного фінішного видалення низькомолекулярних органічних речовин; реагентного видалення амонію; знезараження УФ-опромінюванням; мікрофільтрації для тонкого очищення від завислих часток з метою захисту мембранних елементів перед подачею фільтрату, що підлягає очищенню, на мембранний блок.

Значна увага приділена не тільки очищенню фільтратів, але й комплексній переробці виділених при очищенні компонентів. *Ключові слова:* фільтрати полігонів твердих комунальних відходів, гальванокоагуляція, низьконапірний зворотний осмос, електродіаліз.

The complex treatment of filtration waters of solid municipal waste landfills. Kucheruk D., Balakina M.

The most important problem of operating landfills disposal of solid waste is the formation of landfill leachate that contains numerous and in significant quantities the components of decomposition of toxic inorganic and mineral substances. Landfill leachate negatively effect on vegetation, animals and people, groundwater contamination is able to trigger a vast territory by penetrating into the groundwater and surface water. Peculiar properties of landfill leachates such as multi-component chemical composition that changes throughout the life cycle of the landfill and a significant difference from industrial and municipal wastewater determine the complexity decontamination landfill leachates and the necessity to develop methodological and conceptual approaches to solve this problem. However, it is necessary to conduct complex research and develop their own decontamination schemes due to differences in the composition of contaminants and their concentrations for each landfill.

The conducted researches of the applicability of galvanic coagulation, low-pressure reverse osmosis and electrodialysis concentration with the use of an electrodialyzer-concentrator of advanced design allowed to create a scientific basis of disposal and processing of multicomponent toxic filtrates of «old» and stabilized landfills for municipal solid waste to the normative indicators, on the basis of which the circuit block schemes of complex processing of leachates for solid municipal waste landfills were proposed. Schemes are based on a flexible block principle, which are substructured on application of two membrane methods- electrodialysis and reverse osmosis successfully complement each other. These blocks are preceded by other blocks intended for pre-membrane treatment of leachate: mechanical treatment for the retention of suspended solids; galvanic coagulation for purification from organic pollutants; adsorption finishing removal of low molecular weight organic substances; reagent removal of ammonium; UV irradiation disinfection; microfiltration for delicate purification of suspended particles in order to protect the membrane elements before submitting the leachate to be purified by membrane unit.

Considerable attention has been not only landfill leachates purification but also the complex processing of components allocated by refinement. *Key words:* landfills leachates, galvanic coagulation, low-pressure reverse osmosis, electrodialysis.

Постановка проблеми. Відходи життєдіяльності людини є глобальною екологічною проблемою. Сучасна кількість створюваних відходів величезна – об'єм світових полігонів і звалищ росте зі швидкістю двох трильйонів тонн на рік. На території нашої країни щорічно утворюється близько 50 млн м³ побутових відходів. До речі, Україна відноситься до десятки країн з найбільшим об'ємом сміття на одного мешканця.

Найбільш поширеним способом поводження з комунальними відходами в світовій практиці до теперішнього часу є їх складування на полігонах захоронення твердих комунальних відходів (ТКВ). Так, в Україні захоронюють майже всі відходи – 94,4 %, і тільки 2,4 % спалюють і 3,09 % – переробляють.

Актуальність дослідження. Полігони ТКВ є об'єктами високого екологічного ризику. В процесі їх експлуатації утворюються екологічно небезпечні високонцентровані за мінеральними й органічними речовинами стічні води – фільтрати.

Проникаючи в ґрунтові та поверхневі води, фільтрати негативно впливають на рослинність, тварин і людину, при цьому ґрунтові води здатні спровокувати забруднення величезної території. Особливості формування фільтратів, їх багатокомпонентний хімічний склад, який змінюється протягом життєвого циклу полігону, значна відмінність від промислових і міських стічних вод обумовлюють складність знешкодження фільтратів і необхідність розробки методологічних і концептуальних підходів вирішення цієї проблеми, проте в зв'язку з відмінностями в складі забруднень і їх концентрацій на різних полігонах, для кожного конкретного полігону необхідно проведення комплексу досліджень і розробка власної схеми знешкодження.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконувалася у рамках проектів «Розробка технології знешкодження стічної води звалищ у с. Пирогове та с. В. Дмитровичі», «Розробка технології знешкодження фільтратів звалищ побутових відходів», «Розробка фізико-хімічних основ комплексної переробки стічних вод звалищ твердих побутових відходів», «Дослідження процесів виділення солей з концентратів, одержаних при обробці стічних вод звалищ твердих побутових відходів (ТПВ) електродіалізом. Розробка технологічної схеми утилізації концентратів стічних вод звалищ ТПВ».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом багатьох років як найбільш придатні для очищення фільтратів полігонів ТКВ розглядалися звичайні біологічні методи та класичні фізико-хімічні. Проте неорганічні домішки фільтратів не видаляються зазначеними методами. Більш того, останніми роками в зв'язку з безперервним посиленням стандартів на очищення фільтратів у більшості країн і необхідністю зменшення негативного впливу фільтратів полігонів на навколишнє середовище тради-

ційні методи їх знешкодження не дозволяють досягти потрібного результату не тільки за вмістом солей.

Альтернативним біологічним методом варіантом є використання для очищення фільтратів полігонів зворотноосмотичної технології, яка в світовій практиці вважається найбільш перспективною для полігонів, які будуються.

Вперше зворотний осмос (ЗО) при очищенні фільтратів полігонів ТКВ був застосований у 1984 році у Швейцарії [1; 2]. На даний момент зворотноосмотична технологія вже широко використовується в згаданій сфері в країнах Західної Європи, США й Японії [3; 4]. Це пояснюється тими незаперечними перевагами, які зворотний осмос має перед іншими процесами розділення. Його відрізняє простота конструкцій апаратів при малих габаритах і можливість масштабування, а також легкість поєднання з іншими технологічними процесами, нескладність експлуатації та контролю, надійність і висока ефективність, відсутність необхідності введення додаткових хімічних реагентів, якщо не враховувати невеликих витрат для коригування рН, інгібування солевідкладень і періодичної регенерації мембран. Масоперенесення крізь мембрану при ЗО, як правило, відбувається без хімічних і фазових перетворень і потребує витрат енергії тільки на прокачування розчину вздовж мембрани та продавлювання крізь неї розчинника. ЗО може застосовуватися для знесолення вод із солевмістом до 40 г/дм³, причому межі його використання постійно розширюються [5; 6].

Доцільність використання технології ЗО при знешкодженні фільтратів полігонів підтверджує широке застосування систем PALL-ROCHEM. Перша одноступенева установка PALL-ROCHEM розпочала роботу в 1986 р. на полігоні, розташованому в 40 км від м. Карлсруе. В разі невідповідності якості очищеного фільтрату вимогам на очищення стічних вод використовується двоступенева схема. Зниження хімічного споживання кисню (ХСК) при обробці фільтрату за одноступеневою схемою становить 86,5, двоступеневою – 99,45 [7].

Показником широти застосування методу ЗО слугує той факт, що установки лише компанії PALL-ROCHEM працюють більше, ніж на 350 полігонах світу [8], у тому числі в Західній Європі на найбільших полігонах Німеччини (Іленберг, Гагше-Лохау, Гамбург, Дортмунд-Ност, Хекстер, Хохзауерландкір та ін.), полігони в Австрії (Інсбрук, Рідерберг), Англії (Манчестер), Італії, Франції, Бельгії та ін. [8–11]. На Київському полігоні ТКВ № 5 єдина в Україні двоступенева установка PALL ROCHEM працює з 1998 р. [12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Основним недоліком зворотного осмосу вважається утворення при знесоленні крім очищеної води концентрату із солевмістом більш високим, ніж вихідна вода, проте недостатнім для подальшої

переробки. Крім того, майже не приділяється уваги питанню попереднього очищення фільтратів перед мембранною обробкою. Також, як правило, залишається відкритим питання переробки виділених при очищенні речовин – як правило, схеми очищення фільтратів ТКВ закінчуються стрілками з написом «на переробку», без уточнення на яку саме.

Крім того, екологічні методи знесолення води – зворотний осмос і електродіаліз перед подачею на мембрани потребують попереднього очищення вихідної води від сполук органічної природи з метою попередження забруднення мембран.

Новизна полягає у науковому обґрунтуванні та реалізації методів знешкодження висококонцентрованих токсичних фільтратів полігонів ТКВ та їх реалізації на реальному об'єкті, що дозволило запропонувати принципові блок-схеми комплексної переробки фільтраційних вод полігонів ТКВ, які базуються на гнучкому принципі, в основу якого покладено використання двох мембранних методів – електродіалізу та зворотного осмосу з попередньою домембранною обробкою фільтратів; також запропонована переробка одержаних шламів на вторинні матеріальні ресурси.

Загальнонаукове значення. Метою роботи було створення концепції розробки принципових схем комплексної переробки фільтратів полігонів ТКВ, яка базується на гнучкому блоковому принципі, що дозволяло б варіювати кількістю та порядком розташування блоків залежно від складу фільтрату. Для реалізації поставленої мети були використані попередньо виконані експериментальні дослідження, на основі яких була здійснена спроба створення наукових основ знешкодження та переробки токсичних багатокомпонентних висококонцентрованих за неорганічними й органічними складовими фільтратів полігонів ТКВ до нормативних показників на основі раціонального поєднання комплексу електрохімічних і мембранних процесів.

Викладення основного матеріалу. Попередньо проведені дослідження показали:

- що низьконапірний зворотний осмос може бути цілком успішно використаний при очищенні фільтратів полігонів ТКВ [13–16];
- доцільність застосування для домембранного очищення фільтратів полігонів ТКВ методу гальванокоагуляції в поєднанні з каталітичним окисненням [17];
- можливість зв'язування іонів амонію, що звичайно містяться в фільтратах ТКВ у значній кількості та при цьому незадовільно затримуються зворотньоосмотичними мембранами, у струв'їт [18];
- використання електродіалізатора удосконаленої конструкції дозволяє ефективно концентрувати ретентат зворотного осмосу для полегшення його подальшої переробки [19].

На основі аналізу та узагальнення отриманих результатів була запропонована концепція розробки

принципових схем комплексної переробки фільтратів ТКВ, які базуються на гнучкому блоковому принципі, що дозволяє варіювати кількістю та порядком розташування блоків залежно від складу фільтрату. Запропоновані схеми базуються на використанні двох мембранних методів – зворотного осмосу й електродіалізу. Всі інші методи і обладнання, що тим або іншим чином забезпечують вирішення поставлених завдань, можуть доповнювати зазначені блоки з урахуванням складу конкретних фільтраційних вод.

Передбачені схеми можуть включати такі блоки:

- 1. Блок механічного очищення**, призначений для затримування завислих забруднюючих домішок.
- 2. Блок гальванокоагуляції.** Дозволяє знизити на 70–80 % вміст органічних домішок (за ХСК) у фільтраті полігону, практично повністю видалити іони кольорових металів, алюмінію, свинцю, нітритів та сульфідів, зменшити вміст іонів кальцію, магнію, хлоридів, сульфатів, фосфатів і аніонних поверхнево-активних речовин, а також забезпечити глибоке знезараження.
- 3. Блок реагентного видалення амонію.** Дозволяє зменшити його вміст більше, ніж на 90 %, і одночасно на 15–17 % – вміст органічних сполук.
- 4. Адсорбційний блок.** Його необхідність викликана наявністю в фільтраті полігонів відносно низькомолекулярних органічних речовин, які не видаляються коагуляцією та зворотним осмосом.
- 5. Блок знезараження УФ-опромінуванням.**
- 6. Блок мікрофільтрації.** Призначений для тонкого механічного очищення від завислих частинок розміром $<0,05$ мкм з метою захисту мембранних елементів перед подачею очищуваного фільтрату на мембранний блок.

7. Блок низьконапірного зворотного осмосу. Призначений для знесолення попередньо очищеного від органічних і амонійних сполук фільтрату полігону.

8. Блок електродіалізу із застосуванням електродіалізатора-концентратора (ЕДК) удосконаленої конструкції. Може бути використаний як для знесолення фільтрату полігону, так і для глибокого концентрування ретентату зворотного осмосу з метою його подальшої переробки.

При концентруванні фільтрату полігону в ЕДК утворюються два типи розсолів: розсіл 1 із вмістом переважно хлориду та сульфату натрію та розсіл 2, де присутні хлориди катіонів фільтрату. Розділення хлоридів і сульфатів розсолу передбачено здійснювати кристалізацією.

9. Блок кристалізації, де у тверду фазу виділяється 90–95 % сульфату натрію, тоді як маточний розчин містить в основному хлорид натрію.

10. Блок електролізного одержання гіпохлоритів з маточного розчину.

Застосування перелічених процесів в очищенні досліджених фільтраційних вод київських полігонів № 1 і № 5 подані нижче (у схемах наведені тільки основні вузли).

Полігон ТКВ № 5 м. Києва. За результатами аналізів зразків фільтрату полігону, що виконувалися у Науково-технічному центрі випробування води (НТЦВВ) Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А. В. Думанського НАН України (ІКХХВ), загальна мінералізація становить ~ 13 г/дм³, вміст амонійних сполук 1700 мг/дм³ і більше, ХСК > 2000 мгО/дм³.

При зазначеному солемісті знесолення може бути здійснено як зворотним осмосом, так і електродіалізом. І в першому, і в другому випадках вміст амонійних сполук і значення ХСК припускають домембранне їх видалення.

Ретентат, що утворився після знесолення фільтрату на **зворотноосмотичному блоці** надходить до **електродіалізного блока**, де утворюються два концентровані розсоли – розсіл 1 із вмістом переважно солей одновалентних катіонів і розсіл 2, який містить хлориди присутніх у фільтраті катіонів. Діалізат, що утворився, подається до **зворотноосмотичного блока**, і схема очищення фільтрату полігону ТКВ № 5 із застосування зворотноосмотичного знесолення може бути представлена схемою на рис. 1-А.

У ІКХХВ була виготовлена експериментальна установка продуктивністю 0,5 м³/год, і на основі результатів її роботи рішенням спільного засідання науково-технічних рад Держжитлокомунгоспу України та Київської міської адміністрації було рекомендовано здійснити заходи по створенню першої промислової установки продуктивністю до 10 м³/год для знешкодження фільтрату, що накопичений на полігоні № 5.

Проте, при тому солемісті, який має фільтрат після гальванокоагуляції та видалення амонійних сполук, можливий також варіант його обробки **електродіалізним знесоленням**. Розсоли, що утворюються при цьому, перероблюються аналогічно першому випадку (рис. 1-Б).

Полігон ТКВ № 1 м. Києва (с. Пирогове, у 1986 р. повністю закритий). За даними НТЦВВ ІКХХВ в цьому випадку загальна мінералізація фільтрату вища, ніж фільтрату полігону № 5 (~ 13 г/дм³), доволі високий показник ХСК (~ 2000 мгО/дм³), і нижча кількість іонів NH_4^+ (370 мг/дм³). Очевидно, що в даному випадку доцільніше видалити **амонійні сполуки** не з вихідного фільтрату, а з розсолу електродіалізного концентрування (рис. 2).

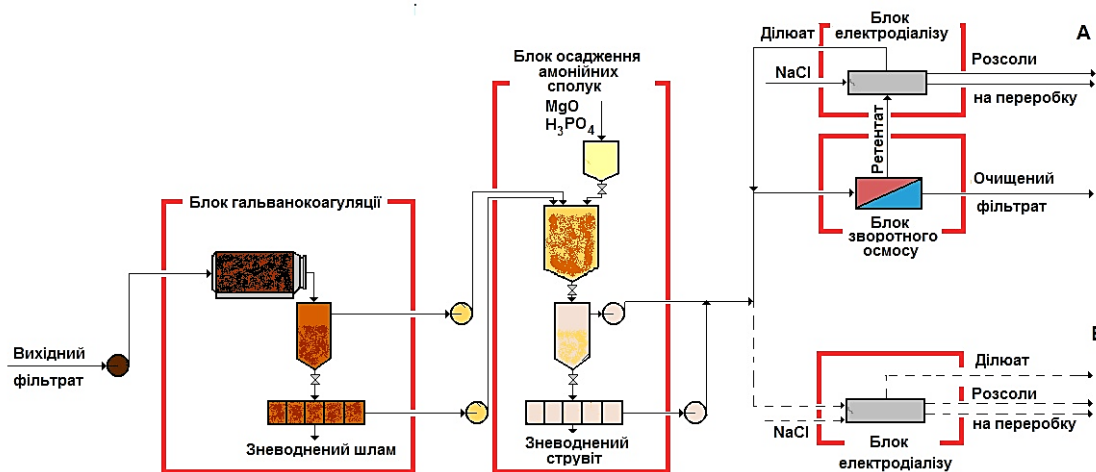


Рис. 1. Принципові блок-схеми комплексної переробки фільтрату Київського полігону ТКВ № 5

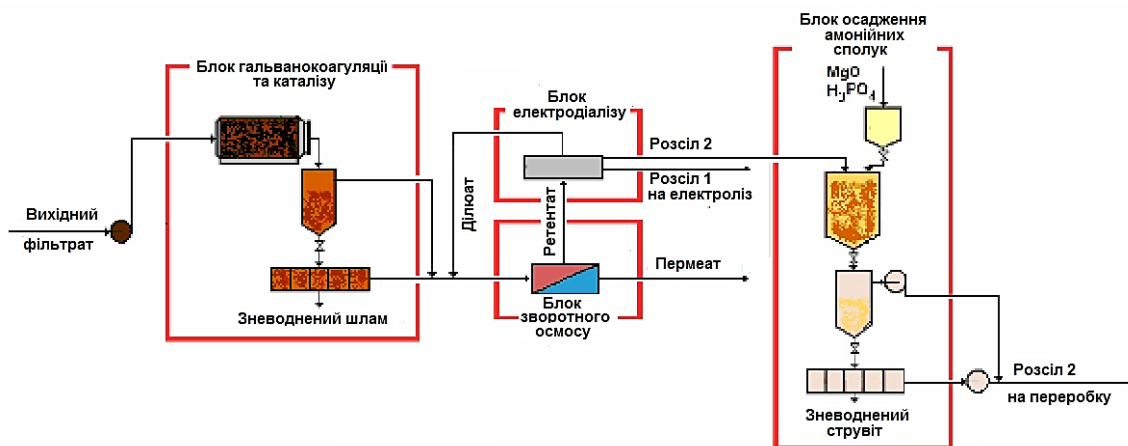


Рис. 2. Принципова блок-схема комплексної переробки фільтрату Київського полігону ТКВ № 1

Отримані дані можуть бути використані при виборі технологічних схем і прогнозуванні рівня очищення фільтраційних вод інших полігонів ТКВ. Так, для прикладу були обрані звалище м. Василькова Київської обл. і полігони ТКВ міст Львова та Сум.

Міське звалище м. Василькова. З даних, наведених у [20], випливає, що фільтрат має доволі високу загальну мінералізацію (>18 г/дм³), внаслідок чого після очищення фільтрату від органічних домішок і амонійних сполук знизити її зворотноосмотичним знесоленням до норм на скидання видається неможливим. Виходом може стати використання часткового електродіалізного знесолення фільтрату до солевмісту, який дозволить зворотним осмосом довести цей показник до регламентованих норм на скидання – електродіалізний блок все одно повинен бути наявним у схемі для концентрування зворотноосмотичного ретентату (рис. 3).

Львівський полігон ТКВ. За даними [21] солевміст фільтрату Львівського полігону ТКВ дуже близький до солевмісту фільтрату звалища м. Василькова ($18\,373$ мг/дм³). Таким чином, навантаження на зворотноосмотичну мембрану повинно бути знижено за допомогою попереднього електро-

діалізного знесолення. Відносно невеликий вміст амонійних сполук (324 мг/дм³) вказує на більшу доцільність осадження їх не з вихідного фільтрату, а з електродіалізного розсолу, і тоді варіант схеми очищення для Львівського полігону дещо зміниться (рис. 4).

Полігон ТКВ м. Суми. Фільтрат Сумського полігону відрізняється високим солевмістом ($25\,937$ г/дм³) і концентрацією амонійних сполук $2,5$ г/дм³ [22].

Для знесолення розчину такого солевмісту зворотним осмосом необхідно використовувати мембрани високого тиску [23]. Проте, згідно з розрахунками авторів роботи [24], здійснення одноступеневого знесолення на мембрані високого тиску майже в 1,4 рази дорожче двоступеневого знесолення на низьконапірних мембранах за рахунок ультратонкого бар'єрного шару останніх. Таким чином, у даному випадку доцільніше використати два ступеня низьконапірного зворотного осмосу (рис. 5).

При розробленні схем значну увагу було приділено не тільки очищенню фільтратів, але і використанню виділених з них компонентів як вторинної сировини: шлам після гальванокоагуляції може бути використаний у виробництві залізооксидного

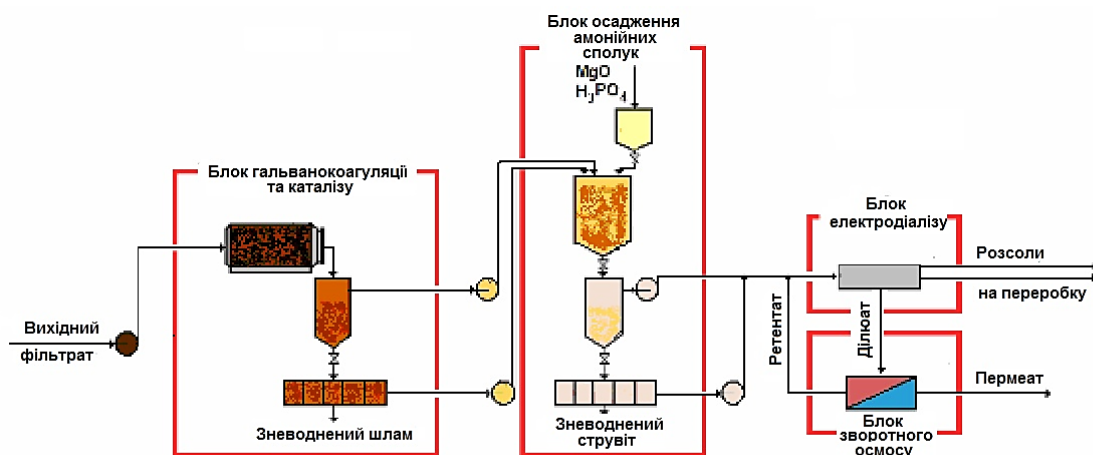


Рис. 3. Запропонована блок-схема комплексної переробки фільтрату звалища м. Василькова

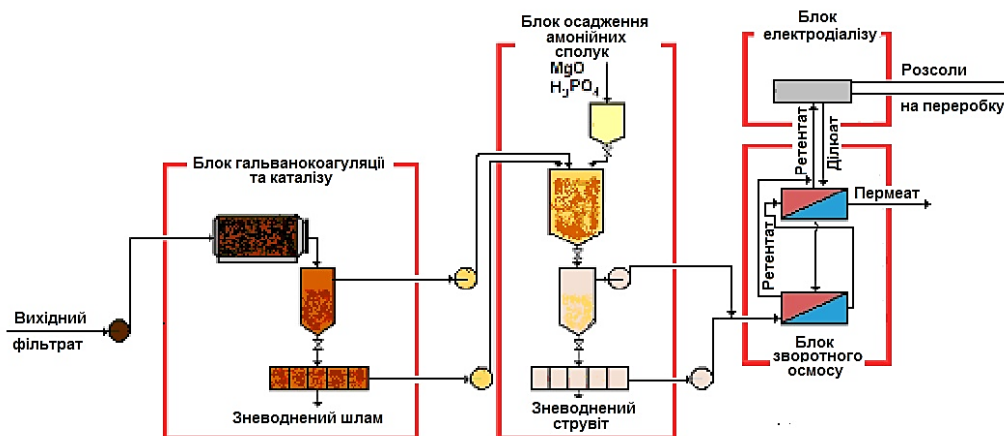


Рис. 4. Запропонована блок-схема комплексної переробки фільтрату Львівського полігону ТКВ

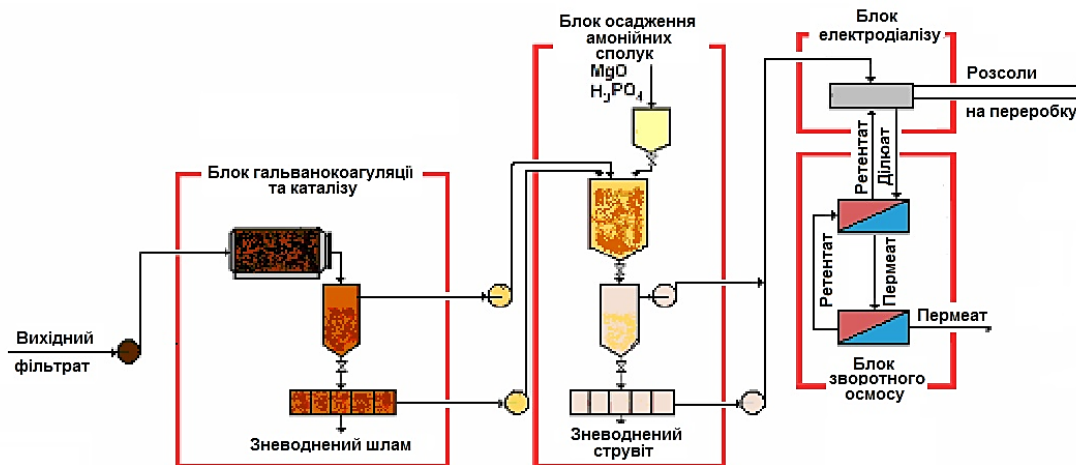


Рис. 5. Запропонована блок-схема комплексної переробки фільтрату Сумського полігону ТКВ

пігменту; продукт осадження амонію – для отримання комплексного мінерального добрива пролонгованої дії, що містить цінні поживні речовини – азот, фосфор і магній одночасно; з електродіалітичних розсолів кристалізацією може бути виділено 90–95 % сульфату натрію, який використовується, наприклад, при виробництві каустичної соди та скла; маточний розчин придатний для отримання хлору електролізом хлориду натрію. Також можлива його переробка на гіпохлорит, який може використовуватися безпосередньо на полігоні.

Головні висновки. Запропоновано концепцію створення принципових схем комплексної переробки фільтратів полігонів ТКВ, які базуються на гнучкому блочному принципі, в основу якого покладено використання двох мембранних методів – зворотного осмосу та електродіалізу, що успішно доповнюють один одного, з домембранною обробкою фільтратів методом гальванокоагуляції в поєднанні з ката-

літичним окисненням. Гнучкий блочний принцип дозволяє варіюванням кількістю та порядком розташування блоків принципової блок-схеми та прогнозувати рівень очищення фільтраційних вод полігонів ТКВ різного складу.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонований підхід може бути використаний для фільтратів будь-яких «старих» (формуються приблизно через 10 років) і стабілізованих (стабільна фаза починається через 30–40 років від початку складування та триває до 100 років) полігонів. Проте його використання для фільтратів «молодих» полігонів (утворюються протягом перших 3–10 років) лімітоване високим вмістом органічних складових і великою концентрацією амонійних сполук, довести вміст яких до норм на скидання із застосуванням запропонованих методів не уявляється можливим. У цьому випадку слід надавати перевагу біологічним методам.

Література

1. Peters T. A. Purification of landfill leachate with membrane filtration. *Filtration and Separation*. 1998. V. 35, No 1. P. 33–36.
2. Yamada M., Soojung S. Application of reverse osmosis for landfill leachate treatment. *Journal of Environmental Conservation Engineering*. 2006. V. 35, No 3. P. 182–188. Краткий обзор современных методов очистки сточных вод. URL: <http://www.Vlr53.narod.Ru/och.htm> (дата звернення: 15.12.2019).
3. Kocurek P. New trends in landfill leachate. *Acta environmentalica universitatis comenianae*. 2011. V. 19. P. 174–178.
4. Водоподготовка : справочник / под ред. С. Е. Беликова. М. : Изд-во Аква-Терм, 2007. 240 с.
5. Тверской В. А. Мембранные процессы разделения. Полимерные мембраны. М. : ИПЦ МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2008. 59 с.
6. Краткое описание технологии и систем PALL ROCHEM. URL: serviceok.com.ua/media/pdf/pdf_pall_aria/1-2%обратный%20осмос.pdf (дата звернення: 25.04.20).
7. Ведяшкин А. С., Ахметова Н. Р. Опыт защиты поверхностных и грунтовых вод от загрязнения. *Известия Калининградского ГТУ*. 2009. № 15. С. 65–68.
8. Шлее Ю., Никогулов Х. Н., Ткачев А. А. Современные технологии строительства полигонов для захоронения отходов с использованием геосинтетических материалов. *Экология и промышленность России*. 2003. № 1. С. 18–22.
9. Минчукова Е. М. Современные системы гидроизоляции источников загрязнения окружающей среды. *Популярное бетоноведение*. 2008. № 11. С. 8–14.
10. Потапов П. А., Пупырев Е. И., Потапов А. Д. Методы локализации и обработки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов: монография. М. : АСВ, 2004. 168 с.
11. Програма поводження з твердими побутовими відходами у м. Києві на період до 2011 року. URL: www/kmv.Gov.Ua/divinfo.asp?Id=214544 (дата звернення: 25.04.20).

12. Гончарук В. В. Зворотний осмос низького тиску і нанофільтрація в очищенні та знесоленні води / В. В. Гончарук, М. М. Балакіна, Д. Д. Кучерук та ін. *Доповіді НАН України*. 2005. № 2. С. 174–178.
13. Water purification of nitrates by low-pressure reverse osmosis method / V. V. Goncharuk, V. O. Osipenko, M. N. Balakina, D. D. Kucheruk. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2013. V. 35, N 2. P. 71–75.
14. Purification of waters containing fluorine by low pressure reverse osmosis for their complex treatment / V. V. Goncharuk, L. A. Deremeshko, M. N. Balakina, D. D. Kucheruk. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2013. V. 35, N 3. P. 122–127.
15. Балакіна М. М. Очищення стічних вод від амонійних сполук / М. М. Балакіна, Д. Д. Кучерук, З. М. Шкавро та ін. *Доповіді НАН України*. 2013. № 4. С. 167–171.
16. Galvanocoagulation in preliminary purification of leachate of landfills of solid household wastes / V. V. Goncharuk, M. N. Balakina, D. D. Kucheruk, I. Ya. Pishchai. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2010. V. 32, N 4. P. 235–241.
17. Balakina M. N. Reagent wastewater treatment from ammonium compounds. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2015. V. 37, N 3. P. 116–121.
18. Balakina M. N. Electrodialysis in integrated processing of leachate of solid waste landfills. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2015. V. 37, N 4. P. 179–184.
19. Шкрупська Ю. В. Проблеми техногенного впливу на геологічне середовище полігонів твердих побутових відходів. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2003. № 2/3. С. 73–75.
20. Хімічний склад Львівського полігону твердих побутових відходів / А. М. Гайдин, В. А. Дяків, В. Д. Погребенник, А. В. Пашук. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2013. № 10. С. 43–49.
21. Дослідження впливу полігонів ТПВ на навколишнє середовище URL: http://essuir.sumdu.edu.ua/bitst-tream/123456789/25370/1/polygon_TP_V_Kalashnyk.pdf (дата звернення: 19.01.2021).
22. Первов А. Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация. М. : Изд-во АСВ, 2009. 232 с.
23. Десятов А. В. Влияние температуры на процесс обратноосмотического опреснения воды Каспийского моря / А. В. Десятов, А. В. Асеев, О. А. Подымова и др. *Серия. Критические технологии. Мембраны*. 2007. № 3 (35). С. 28–40.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТАЛОГО СНІГУ СМІТТЄЗВАЛИЩ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Король К.А.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007

katikincheshi@gmail.com

У даній науковій статті проведено дослідження фізико-хімічного складу атмосферних опадів (талого снігу) зібраного на території сміттєзвалищ, які знаходяться в зоні туристично-рекреаційного комплексу південно-західної частини Львівської області Передкарпатського регіону (Стрийське, Броницьке та Бориславське сміттєзвалище). Враховуючи, що полігон твердих побутових відходів є основним методом поводження з відходами на усій території України, на основі проведених польових досліджень була здійснена розширена оцінка комплексного впливу на довкілля та гідрологічний аналіз. Техногенно-екологічний стан полігонів твердих побутових відходів та пірогенно трансформованих територій в природних екосистемах України є серйозною проблемою, оскільки безпосередньо впливає на безпеку довкілля. При цьому основна причина їх виникнення пов'язана з господарською діяльністю людей. Екологічна небезпека досліджуваних об'єктів напряму обумовлена зміною хімічного складу, температури повітря, води і ґрунту, а побічно – інших параметрів довкілля. Забруднення довкілля відбувається через потрапляння небезпечних компонентів, як у поверхневі і підземні води, так і в атмосферу. Відбір проб снігу для дослідження здійснювався в лютому 2021 року на території трьох сміттєзвалищ. Проби відбирались із усіх сторін горизонту. У даній статті розглянуто основні особливості процесу накопичення забруднюючих компонентів в антропогенних опадах на залишках твердих побутових відходів, які зосереджені на території сміттєзвалищ. Аналізували переважаючий напрямок вітрових потоків та температурний режим в період відбору досліджуваних зразків. Отримані результати показали незначне перевищення гранично допустимої концентрації по ряду аналізованих шкідливих речовин в межах, де переважають сильні вітрові пориви. Результати комп'ютерного моделювання дали змогу оцінити процес міграції токсичних компонентів, які містяться у складі атмосферних опадів у вигляді водневого показника, хімічного споживання кисню та сухого залишку.

Ключові слова: сміттєзвалище, полігон ТПВ, атмосферні опади, талий сніг, екологічна небезпека.

Physico-chemical properties of melted snow in landfills of the tourist and recreational complex of Lviv region. Korol K.

This scientific article examines the physical and chemical composition of precipitation (melted snow) collected in landfills located in the tourist and recreational complex of the southwestern part of the Lviv region of the Precarpathian region (Stryi, Bronytsia and Boryslav landfill). Given that the solid waste landfill is the main method of waste management throughout Ukraine, based on field research, an extended assessment of the integrated environmental impact and hydrological analysis was carried out. The technogenic and ecological condition of solid waste landfills and pyrogen-transformed areas in the natural ecosystems of Ukraine is a serious problem, as it directly affects environmental safety. The main reason for their occurrence is related to the economic activities of people. The ecological danger of the studied objects is directly due to changes in chemical composition, air, water and soil temperatures, and indirectly – other environmental parameters. Environmental pollution occurs due to the ingress of hazardous components, both in surface and groundwater, and in the atmosphere. Sampling of snow for the study was carried out in February 2021 on the territory of three landfills. Samples were taken from all sides of the horizon. This article considers the main features of the process of accumulation of pollutants in anthropogenic precipitation on the remnants of solid waste, which are concentrated in landfills. The predominant direction of wind flows and temperature regime during the period of sampling were analyzed. The obtained results showed a slight excess of the maximum allowable concentration of a number of analyzed harmful substances within the limits where strong wind gusts predominate. The results of computer simulations made it possible to estimate the process of migration of toxic components contained in precipitation in the form of hydrogen, chemical oxygen demand and dry residue. *Key words:* landfill, landfill, precipitation, melted snow, environmental hazard.

Вступ. Сміттєзвалища, які функціонують на території України сьогодні перетворилися на значні джерела екологічної небезпеки, як для компонентів довкілля, так і для населення регіону їх розташування. Відсутність налагодженої системи роздільного збирання та утилізації відходів, які містять у своєму складі токсичні компоненти, ще більше підвищує ризику забруднення довкілля небезпечними речовинами. Захоронення відходів ще довгий час залишатиметься найбільш поширеним методом знешкодження і утилізації відходів в Україні. Питання дослідження

сміттєзвалищ, як техногенно-небезпечних об'єктів, які здійснюють наростаючий пресинг на компоненти довкілля є надзвичайно актуальним.

Оцінка забруднення снігового покриву традиційно використовується у прикладних гігієнічних та еколого-токсикологічних дослідженнях в якості середовища, яке накопичує викиди від різних джерел в атмосферному повітрі. Проте на території сміттєзвалищ така оцінка не проводиться.

Важливу роль у прогнозуванні територіального забруднення атмосферного повітря, відводиться

вивченню переважаючих напрямків вітрів, які є природними потоками перенесення забруднюючих речовин. Аналіз даного параметру проводиться на основі моніторингу метеорологічних спостережень на метеорологічних станціях які, як правило, знаходяться за межами міст [2].

Важливим є дослідження на територіях із побутовими відходами, оскільки, їхній склад та напрямок поширення може суттєво впливати на геохімічну міграцію забруднюючих компонентів у ґрунтових горизонтах та поверхневих водоймах.

Щорічно у Львівській області утворюється більше 2 млн тонн відходів 4 класу небезпеки, переважна більшість з яких ТПВ. За даними моніторингу, станом на 01.01.2020 року нараховується 20 діючих сміттєзвалищ. Загальна площа земель, зайнята під сміттєзвалища перевищує 151 га. На об'єктах захоронення твердих побутових відходів в області, у більшості відсутня необхідна проектна документація про відведення земельної ділянки, документи, що засвідчують право на землю, за винятком рішень органів місцевого самоврядування [3].

На сміттєзвалищах Львівщини частково або повністю відсутні системи захисту ґрунтових вод, огорожі, вилучення та знешкодження фільтрату, фіксуються численні спалювання та самозаймання відходів, недостатнє перешарування відходів інертними матеріалами [3].

Основним впливом на довкілля, пов'язаним з опадами, є забруднення підземних вод, оскільки багато з тисяч сміттєзвалищ, активних або занедбаних, експлуатувалися, не звертаючи уваги на забруднення підземних вод. Основна причина полягає в тому, що історично вибір місця сміттєзвалища рідко ґрунтувався на геологічних критеріях придатності. Забруднення підземних вод стає неминучим, особливо коли дно сміттєзвалища знаходиться нижче рівня ґрунтових вод, або якщо матеріал, який відокремлює відвал від водоносного горизонту, є проникним. Таке забруднення підземних вод може тривати десятиліттями, що створює серйозну загрозу безпеці підземних вод. Забрудненні поверхневі та підземні води в околицях сміттєзвалищ становить небезпеку не тільки для питного водопостачання, а й для технічного водопостачання в сільському господарстві.

На даний час в Львівській області відсутні діючі сміттєпереробні та сміттєспалювальні заводи. На більшість сміттєзвалищ відсутня проектна документація про відведення земельної ділянки, документи, що засвідчують право на землю, за винятком рішень органів місцевого самоврядування. Розв'язання проблеми безпечного поводження з ТПВ в області можливе через створення сучасних сміттєсортувальних ліній, полігонів та спеціалізованих підприємств зі збору ТПВ.

Метеорологічні фактори визначають умови вимивання та перетворення шкідливих речовин в атмосферних опадах. Аналіз метеорологічних чинників

дасть змогу краще зрозуміти причини формування ареалів забруднення й особливості їх розподілення.

Характеристики вітрового режиму належать до метеорологічних чинників, що найбільше впливають на концентрацію домішок в приземному шарі атмосфери і визначають умови їх приземного вимивання атмосферними опадами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує велика необхідність отримання моніторингу довгострокових хімічних даних, щоб зрозуміти вплив ТПВ на довкілля. Дослідженням територій на яких розташовані полігони твердих побутових відходів займаються багато відомих вчених, зокрема це Попович В. В., Шмандій В. М., Гуменюк Г. Д., Войтюк Г. В., Жилинська Я. А., Кулинич Ю. В., Мальований М. С., Клименко В. Г., Макрей Дж., Абігіга Д., Клемпе Х., Донг П., Москвяк В. І. та інші [7–12].

На даний час, у державній системі моніторингу довкілля функції і задачі спостережень та інформаційного забезпечення виконують 8 суб'єктів системи моніторингу: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державна служба з надзвичайних ситуацій України, Міністерство охорони здоров'я України, Міністерство аграрної політики та продовольства України, Міністерство розвитку громад та територій України, Державне агентство водних ресурсів України, Державне агентство лісових ресурсів України, Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру [6]. Також, вивченням та покращенням займаються обласні та міські ради, які запроваджують для виконання спеціальні екологічні програми (Програма охорони навколишнього природного середовища на 2016–2020 роки, Регіональна програма стабілізації екологічної рівноваги внаслідок діяльності гірничо-хімічних підприємств Львівщини на 2015–2019 роки, Регіональна програма розвитку заповідної справи у Львівській області на 2009–2020 роки, Регіональна програма «Питна вода України» у Львівській області на 2012–2020 роки, Обласна програма забезпечення діяльності регіональних ландшафтних парків Львівщини на 2017–2021 роки). Вивченням найбільш оптимальних шляхів вирішення проблеми пов'язаної з висвітленими в цій статті, займалися ряд вчених проте саме вивченням територій ТПВ та впливу через атмосферні опади знайти доволі складно. Також відзначаю, що переважна більшість опрацьованої літератури походить з неглибоких горизонтів, наприклад, Васн і Грінстед у Данії, Банісвельд в Нідерландах та інші. Залишаються ще далекими від розв'язання проблеми поводження з відходами та їх складуванням у межах сміттєзвалищ Львівської області. Наявні дані свідчать про значну екологічну небезпеку таких відходів, що накопичуються зараз у зонах об'єктів туристично-рекреаційного комплексу, про потребу їх складування, видалення та надійної утилізації,

з метою охорони здоров'я населення і запобігання забрудненню довкілля, збереження рекреаційного потенціалу територій [6].

Мета дослідження: проведення досліджень фізико-хімічного складу атмосферних опадів у вигляді снігового покриву територій сміттєзвалищ, розташованих у Львівській області, і встановлення їх особливостей.

Об'єкт дослідження: властивості атмосферних опадів сміттєзвалищ, розташованих в Передкарпатському окрузі – Броницького, Бориславського та Стрийського.

Предмет дослідження: фізико-хімічні властивості атмосферних опадів у вигляді снігового покриву на поверхні сміттєзвалищ.

Методи та матеріали досліджень. Для рекогносцирувальних досліджень було обрано три сміттєзвалища, розташовані у двох районах Львівської області України, де налагоджений напрямок туристично-рекреаційної діяльності та знаходяться численні інфраструктурні об'єкти галузі, а саме Стрийське, Броницьке та Бориславське.

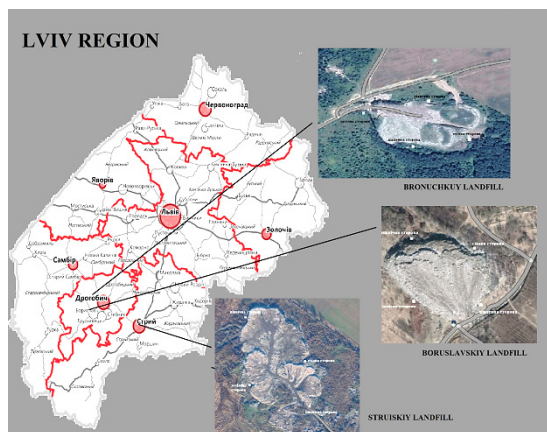


Рис. 1. Карта Львівської області з зображеннями досліджуваними сміттєзвалищами

У лютому 2021 року було відібрано чотири проби з кожного із перелічених сміттєзвалищ. Відбір проб був обумовлений геометричною конфігурацією звалищ. Забір снігу здійснювався біля підніжжя з усіх сторін горизонту. Об'єм кожної проби снігу у талому вигляді складав 1 дм³ рідини. Після танення снігу воду фільтрували.

Концентрація хімічних елементів у талому сніговому покриві характеризує чистоту снігу, але не дозволяє повною мірою охарактеризувати динаміку забруднення сміттєзвалищ та оцінити ступінь їхньої небезпеки для екосистем. Динаміку у сніговому покриві відтворили з використання програми «Surfer 13», яка успішно використовується науковцями та представляє собою нову версію багатофункціонального пакету 3D візуалізації і картобудування.

Surfer широко використовується для ґридінга, моделювання місцевості, батиметричних побудов,

візуалізації ландшафту, аналізу поверхонь, відтворення контурних карт, відображення тривимірних поверхонь. Серед спеціалізованих можливостей також відзначимо побудову векторних карт, карт водозбірних площ і карт видимості. Для здійснення цифрового моделювання обрано програму «Surfer 13» яка застосовується у США та Європі [5].

Аналітичні дослідження проведені в лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Лабораторія атестована на право виконання відповідних вимірювань у системі «Держстандарт метрологія» (св. ат. № РЛ 127/17 від 14.11.2017 р.). Вміст хлоридів, гідрокарбонатів, кальцію та магнію визначався методом титрування. Сульфати визначалися ваговим методом згідно з КНД 211.1.4.026-95. Вміст натрію і калію розраховували за балансом еквівалентів. Інші аніони та нітроти визначались фото- колориметричним методом, а саме: вміст нітратів – взаємодією з розчином саліцилату натрію у сірчаноокислому середовищі; нітритів – з реактивом Грісса. Визначено також розчинні форми іонів. У дослідженнях використовувались фотоколориметр КФК-2 та аналітичні ваги у відповідності до загальноприйнятих методик.

Проведений аналіз температурного режиму та напрямку поширення вітрів за допомогою даних з гідрометеорологічних джерел (Український гідрометеорологічний центр) [2].

Результати досліджень. За результатами порівняльного аналізу вмісту хімічних елементів у об'ємах води, які утворились з талого снігу зібраного на території сміттєзвалищ, було виявлено перевищення гранично-допустимих концентрацій лише деяких досліджуваних показників. Серед проаналізованих хімічних елементів виявлено хлориди, сульфати, нітроти, нітрати, фосфати, кальцій, магній, залізо та амоній, які можна вважати пріоритетними забруднювачами.

Розглянемо детальніше показники лабораторного аналізу талого снігу кожного із досліджуваних сміттєзвалищ.

БРОНИЦЬКЕ СМІТТЄЗВАЛИЩЕ

Броницьке сміттєзвалище розташоване у Дрогобицькому районі Львівської області, неподалік селища Брониця. Географічні координати 49.429954, 23.435612. Його площа дорівнює 3,48 га. Під'їзд облаштований дорогою, частково проведений обвідний рів для фільтрату, відсутня огорожа і система збирання та відведення фільтрату. З 2018 року закрите. Нагромадження відходів не відбувається. Рекреаційні роботи не проводяться (рис. 2).

В даній місцевості переважаючими є південно-східні напрямки вітрів, дещо рідшими є північно-західні.

Температурний розподіл свідчить про переважання плюсових денних температур (+10...+15), які чергувались у певні дні із нічними заморозками та випаданням снігових опадів.



Рис. 2. Броницьке сміттєзвалище Львівської області з відмітками відбору проб (Google maps)

Напрямок переважаючих вітрів та щоденний розподіл температурного режиму у період проведення досліджень наведено на рисунках 3 і 4.

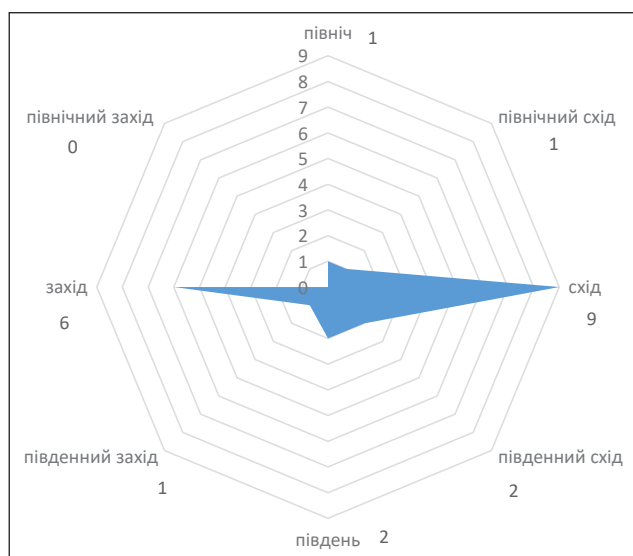


Рис. 3. Поширення вітру на поверхні Броницького сміттєзвалища Львівської області (лютий 2021)

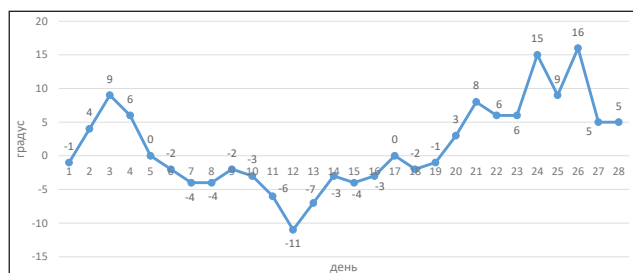


Рис. 4. Температура повітря в зоні впливу Броницького сміттєзвалища Львівської області (лютий 2021)

В результаті проведених досліджень снігових проб у лабораторії кафедри екологічної безпеки, отримано ряд фізико-хімічних показників, наведених у порівнянні з накопиченням усіх досліджуваних елементів у товщі снігу з різних сторін сміттєзвалища представлений нижче (рис. 5).

Зауважимо, що низка показників є найвищою із південного боку сміттєзвалища, яка межує з сільськогосподарськими угіддями. Зокрема Cl^- – 16,3 мг/кг; SO_4^{2-} – 18,4 мг/кг; $\text{Na} + \text{K}$ – 18,5 мг/дм³.

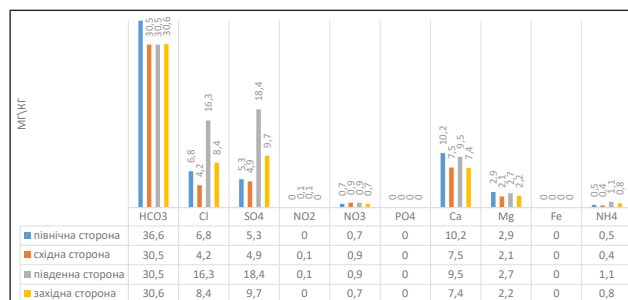


Рис. 5. Фізико-хімічні показники талого снігу на Броницькому сміттєзвалищі Львівської області

Поширення вітру більш зосереджене у східній стороні, яке розносило залишки речовин в оточуючий лісовий масив. Тут вищими були концентрації HCO_3^- – 36,6 мг/кг; Ca – 10,2 мг/кг і Mg – 2,9 мг/кг.

Також були проведені дослідження з визначення рН, сухого залишку та хімічного споживання кисню в досліджуваних атмосферних опадах. Отримані результати ми змоделювали та отримали такий вигляд поширення у довкіллі (рис. 6, 7 і 8).

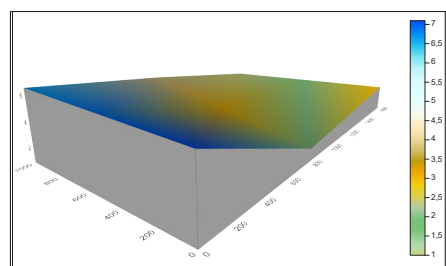


Рис. 6. 3 D модель рН (водневого показника) у сніговому покриві на Броницькому сміттєзвалищі

З отриманих результатів рН водневого показника провели моделювання та можемо бачити, що рівень коливається в межах 6,9–7,6. При ГДК від 6,5–9 водневий показник не перевищується.

Моделювання вмісту сухих залишків показало переважання з південного боку в кількості 125,6 мг/дм³, а з північної 23,8 мг/дм³. При ГДК який має не перевищувати 380 мг/дм³, що свідчить про сприятливі умови.

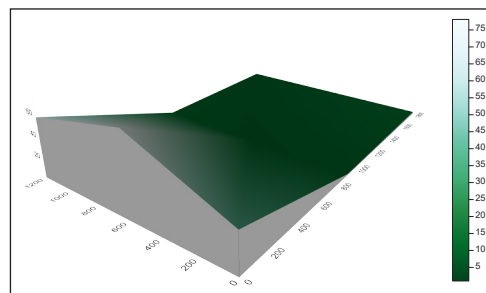


Рис. 7. 3 D модель сухого залишок у сніговому покриві на Броницькому сміттєзвалищі (мг/дм³)

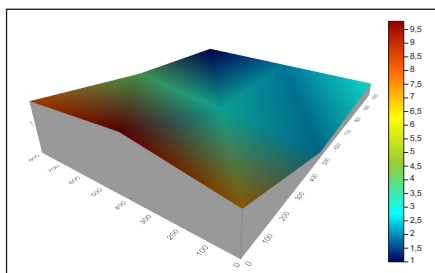


Рис. 8. 3 D модель ХСК (хімічне споживання кисню) у сніговому покриві на Броницькому сміттєзвалищі

З отриманих результатів, щодо ХСК (хімічне споживання кисню) вміст переважає на південній стороні в кількості 18,4 мг/дм³, а з північної 6,2 мг/дм³. Згідно ГДК має не перевищувати 810 мг/дм³, що свідчить про низьку наявність ХСК.

Бориславське сміттєзвалище

Бориславське сміттєзвалище розташоване в Дрогобицькому районі Львівської області, неподалік міста Борислав. Географічні координати 49.308329, 23.424374. Його площа становить 3 га. Під'їзд ускладнений, дорога ґрунтова, огорожі не встановлено, відсутня наявність контрольно-пропускного пункту та ваг при в'їзді. Потребує встановлення системи збирання та вилучення біогазу і відведення відходів. Не зважаючи на свої не великі масштаби, тверді побутові відходи завозяться з сусідніх міст та туристичних комплексів (м. Дрогобич, м. Борислав, м. Трускавець, смт Східниця, смт Меденичі та інші). Відповідно до Стратегії управління відходами у Львівській області 2030 року дане сміттєзвалище до 2024 року підлягає рекультивaciji. Це єдине функціонуюче сміттєзвалище на території Дрогобицького району (рис. 9).



Рис. 9. Бориславське сміттєзвалище Львівської області з відмітками відбору проб (Google maps)

Напрямок переважаючих вітрів та щоденний розподіл температурного режиму у період проведення досліджень тут подібний із попереднім об'єктом, у зв'язку із незначною відстанню між ними – 25 км. Розподіл даних метеорологічних показників показано на рисунках 10 та 11.

Температурний розподіл свідчить про переважання плюсових денних температур (+1...+15), які чергувались у певні дні із нічними заморозками (–1...–15) та випаданням снігових осадків.

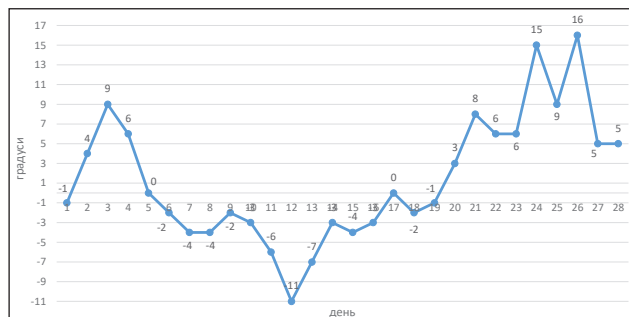


Рис. 10. Температура повітря в межах Бориславського сміттєзвалища Львівської області (лютий 2021)

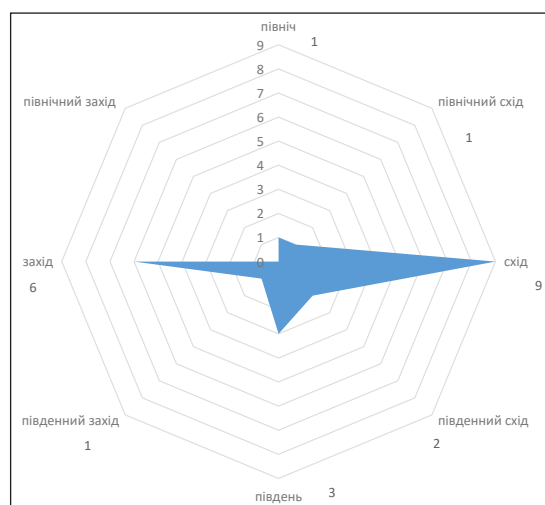


Рис. 11. Роза вітрів Бориславського сміттєзвалища Львівської області (лютий 2021)

У відповідності, до вищенаведених рисунків наглядної карти, в даній місцевості переважаючими є південно-східні напрямки вітрів, дещо рідшими є північно-західні, які відповідно впливають на геоморфологічний рельєф полігону.

Порівняльний рівень накопичення усіх досліджуваних елементів у товщі снігу з різних сторін сміттєзвалища представлений нижче (рис. 12).

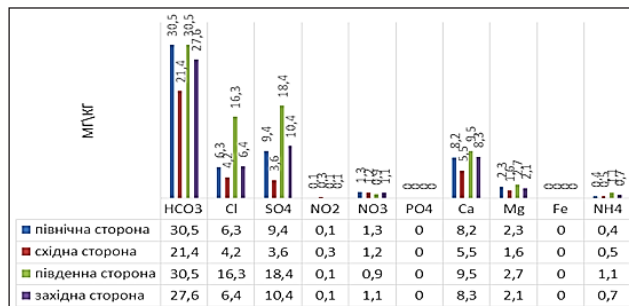


Рис. 12. Фізико-хімічні показники талого снігу на Бориславському сміттєзвалищі Львівської області

Відповідно до показників, які отримали при дослідженні, стверджуємо, що найбільший вміст концентрації сполук зосереджений у снігу із північного боку сміттєзвалища: HCO_3^- – 30,5 мг/кг; Cl^- – 16,3 мг/кг; SO_4^{2-} – 18,4 мг/кг; NH_4^+ – 1,1 мг/кг; Ca^{2+} – 9,5 мг/кг; Mg^{2+} – 2,7 мг/кг; $\text{Na} + \text{K}$ – 18,5 мг/дм³.

Дещо менше зі східного боку сміттєзвалища, яке межує із лісовими насадженнями. Тут виявлені високі концентрації HCO_3^- – 30,5 мг/кг; NO_3^- – 1,3 мг/кг.

Дослідження з визначення рН, сухого залишку та хімічного споживання кисню в досліджуваних атмосферних опадах були проведені та змодельовані у вигляді поширення у довкіллі.

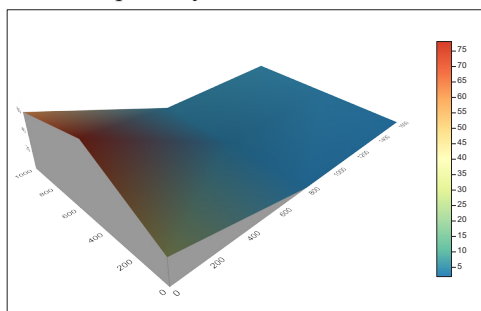


Рис. 13. 3 D модель сухого залишок у сніговому покриві на Бориславському сміттєзвалищі

Вміст сухих залишків переважає південного боку в кількості 78,1 мг/дм³, а з північного 49,2 мг/дм³. При ГДК який має не перевищувати 380 мг/дм³, що свідчить про незначне забруднення твердими домішками та солями.

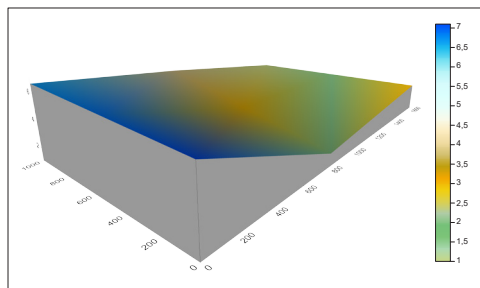


Рис. 14. 3 D модель рН (водневого показника) у сніговому покриві на Бориславському сміттєзвалищі (мг/дм³)

Згідно з отриманими результатами РН (водневого показника) провели моделювання, відповідно якого видно, що рівень коливається в межах 6,2–7,1. З південної сторони сміттєзвалища зареєстрований показник 6,2, що є дещо нижчим від 6,5–9 водневого показника ГДК атмосферних опадів.

З отриманих результатів, щодо хімічне споживання кисню переважає на північній стороні в кількості 12,4 мг/дм³, а з південної 9,8 мг/дм³. Згідно ГДК 810 мг/дм³ дані свідчать про низький вміст ХСК, в атмосферних опадах, які були зібрані з цього сміттєзвалища.

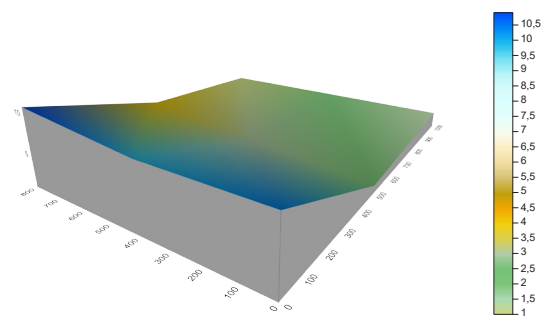


Рис. 15. 3 D модель ХСК (хімічне споживання кисню) у сніговому покриві на Бориславському сміттєзвалищі (мг/дм³)

СТРИЙСЬКЕ СМІТТЄЗВАЛИЩЕ

Стрийське сміттєзвалище розташоване в південно-західній стороні від міста Стрий Львівської області. Привозять сюди побутові відходи з району відповідно із міст Стрий, Моршин, Сколе, смт Славське. Географічні координати 49.276430, 23.826540. Площа сміттєзвалища становить 22,5 га. Під'їзд облаштований ґрунтовою дорогою, функціонує контрольно пропускний пункт, ваги для зважування автомобілів та контрольно дезінфікуюча зона, також є наявна гідротехнічна споруда, утворена від затоплення, частково проведений обвідний рів для фільтрату. Проблемою є відсутність стаціонарного огороження, відсутність системи збору та відведення фільтрату, вилучення біогазу. Проблему та відповідно зростаючу небезпеку, становить наявність місць постійного перебування та проживання численних безхатченків, які стихійно перебувають на даному сміттєзвалищі. Розташування даного об'єкту дослідження подано нижче (рис. 16) [4].

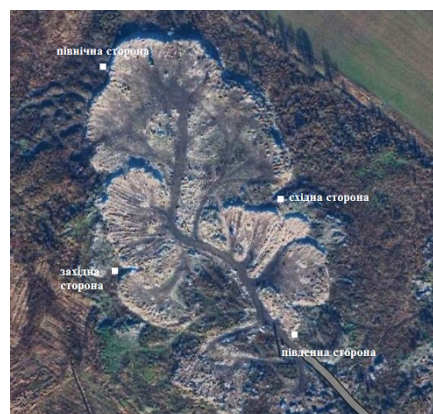


Рис. 16. Стрийське сміттєзвалище Львівської області з відмітками відбору проб (Google maps)

Напрямок переважаючих вітрів та поденний розподіл температурного режиму у період проведення досліджень показано на рисунках 17 і 18.

Як можна побачити на даній ділянці, розташованій на рівнинному техногенному ландшафті, переважають південно-східні вітри, що й віддзеркалилось у накопиченні забрудників у сніговому покриві.

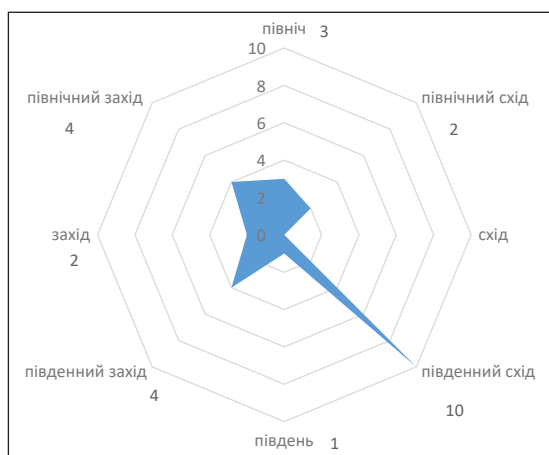


Рис. 17. Роза вітрів Бориславського сміттєзвалища Львівської області (лютий 2021)

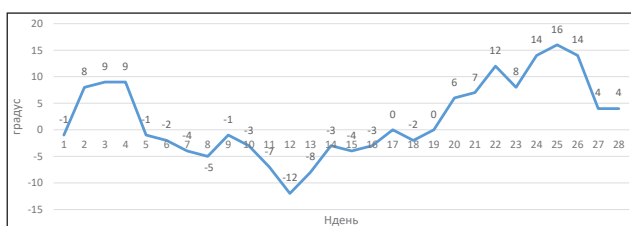


Рис. 18. Температура повітря в межах Стрийського сміттєзвалища Львівської області (лютий 2021)

Температурний режим свідчить про наявність більш теплого циклону зі сторони даного полігону (+1...+16), та подекуди зниження (до -12) температури з частковими осадками.

Отримані фізико-хімічні показники із Стрийського сміттєзвалища наведено в порівнянні накопичення в усіх досліджуваних елементів у товщі снігу з різних сторін сміттєзвалища представлений нижче (рис. 19).

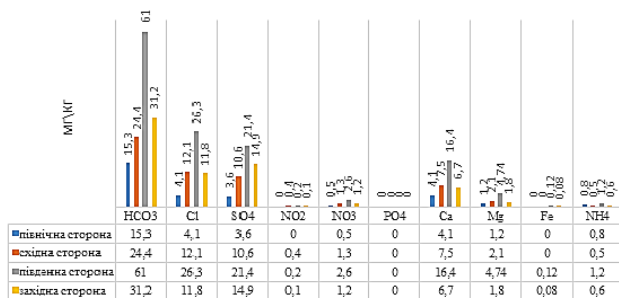


Рис. 19. Фізико-хімічні показники талого снігу на Бориславському сміттєзвалищі Львівської області

Відповідно до показників, які ми отримали при дослідженні, можемо стверджувати, що найбільший вміст концентрації сполук зосереджений у снігу із південного боку сміттєзвалища, яке межує із полем та залізничним сполученням: Cl – 26,3 мг/кг; SO₄ – 21,4 мг/кг; NO₃ – 2,6 мг/кг; Ca – 16,4 мг/кг; Mg – 4,74 мг/кг; Fe – 0,12 мг/кг; NH₄ – 1,2 мг/кг.

У пробах снігу із західного боку сміттєзвалища виявлені високі концентрації HCO₃ – 31,2 мг/кг, який можна пов'язати з інтенсивним рухом транспорту на відповідних ділянках.

Моніторинг забруднення снігового покриву показав, що великого нагромадження шкідливих речовин не має, проте він є актуальним для кожного із досліджуваних сміттєзвалищ.

Отримані результати щодо визначення рН, сухого залишку та хімічного споживання кисню в досліджуваних атмосферних опадах були проведені та змодельовані у вигляді поширення у довкіллі.

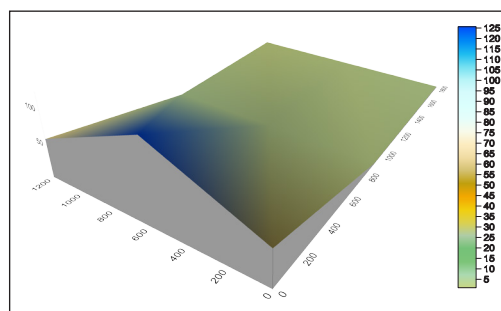


Рис. 20. 3D модель сухого залишок у сніговому покриві на Стрийському сміттєзвалищі

З отриманих результатів вміст сухих залишків переважає на південній стороні в кількості 78,1 мг/дм³, а з північної 46,4 мг/дм³, зі сходу 38,4 мг/дм³ та з заходу 57,6 мг/дм³. При ГДК який має не перевищувати 380 мг/дм³, вміст сухих залишків в сніговому покриві є незначним.

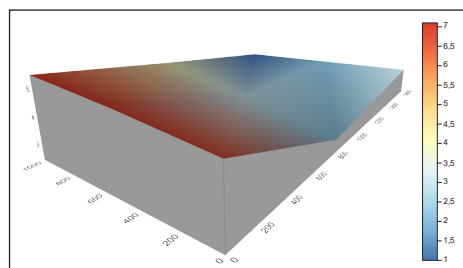


Рис. 21. 3D модель рН (водневого показника) у сніговому покриві на Стрийському сміттєзвалищі (мг/дм³)

З отриманих результатів рН водневого показника провели моделювання та виявлено, що рівень коливається в межах 6,7–7,4. При ГДК від 6,5–9 водневий показник не перевищується.

ХСК найбільше виявлено в снігу з південної сторони в кількості 9,8 мг/дм³, а з східної 7,4 мг/дм³. Згідно ГДК має не перевищувати 810 мг/дм³, що свідчить про низьке ХСК в сніговому покриві, який знаходився на поверхні сміттєзвалища.

Таким чином, можемо констатувати, що сніговий покрив сміттєзвалищ детонує небезпечної речовини та сполуки, які надходять на його поверхню з довколишніх об'єктів та автомобільних доріг.

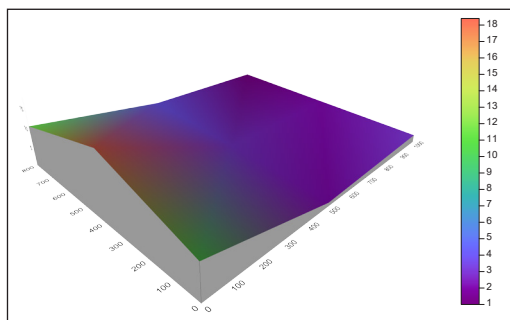


Рис. 22. 3 D модель ХСК (хімічне споживання кисню) у сніговому покриві на Бориславському сміттєзвалищі

Висновок. Моніторинг фізико-хімічного складу антропогенних опадів, які були опрацьовані з території сміттєзвалищ туристично-рекреаційного комплексу Львівської області показав, що забруднюючі речовини накопичуються з сторонніх об'єктів і не несуть глобальну загрозу для довкілля. Проте, нагромадження відходів на території збільшує ймо-

вірність забруднення та нанесенню нищівної дії для довкілля і людства в цілому, зважаючи на те, що це є території де зосередженні місця для відпочинку та оздоровлення.

Метеорологічні чинники у вигляді поширення вітру свідчать про переважаючі південно-східні на кожному, так як сміттєзвалища розташовані відносно не далеко одне від одного. Тому фізико хімічні дослідження показали найвищі показники з південної та східної сторін сміттєзвалищ.

Відповідно до отриманих результатів було проведене цифрове моделювання показників сухого залишку, водневого показнику та ХСК.

Щоб виправити ситуацію, що склалася з розповсюдженням та накопиченням компонентів, слід створити систему організації збору і сортування відходів, а також розробити найбільш ефективні способи переробки вторинної сировини. Серйозним кроком до вирішення проблеми утилізації і переробки ТПВ, виявляється зменшення його об'ємів.

Література

1. Попович В. В. Еколого-техногенна небезпека сміттєзвалищ та наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Львів, 2017. 530 с.
2. Український гідрометеорологічний центр. URL: <https://meteo.gov.ua/>
3. Інформаційно-аналітичного огляду про стан довкілля Львівщини за II квартал 2021 року. Департамент екології та природних ресурсів. Львів, 2021.
4. Звіт з оцінки впливу на довкілля «Реконструкція полігонів твердих побутових відходів в м. Стрий Львівської області». Госпрозрахунковий відділ капітального будівництва при Стрийському міськвиконкомі. Львів, 2021.
5. Мусієнко А. В., Островський А. В. Перспективи використання цифрової моделі рельєфу «SURFER 13» з врахуванням впливу місцевості на змив ґрунту у прогнозуванні паводку на річці Стрий. Міжнародний електронний науково-практичний журнал «WayScience». № 1 (1). Дніпро, 2018. 317 с.
6. Екологічний моніторинг довкілля. URL: <https://mepr.gov.ua/content/ekologichniy-monitoring-dovkillya.html>
7. Мокляк В. И. Формулы для расчетов максимальных расходов от талых вод. Гидротехническое строительство. - 1949. - № 12. - 12–15 с.
8. Мокляк В. И. Формирование максимальных расходов от талых вод и их расчеты (результаты исследований за 1949–1963 гг.): диссертация в форме научного доклада на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.14.09 Государственный гидрологический институт. Киев, 1965. - 37 с.
9. Клименко В. Г. Гідрологія України. Харків : ХНУ, 2010. 124 с.
10. Клименко В. Г. Загальна гідрологія. Харків : ХНУ, 2008. 144 с.
11. Dong P. Estimating glacier volume loss used remotely sensed images, digital elevation data, and GIS modelling / P. Dong, C. Wang, J. Ding's. // International Journal of Remote Sensing. 2013. № 34. Pp. 8881–8892.
12. John Mc.Murray Uses Surfer For Meterology & Hydrology. URL: <http://www.goldensoftware.com/blog/customer-spotlight-john-mcmurray-uses-surferfor-meterology-hydrology>

ІННОВАЦІЙНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ»: FOR SEAFARERS

Тірон-Воробйова Н.Б., Капацина І.І.

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

вул. Фанагорійська, 8, 68607, м. Ізмаїл

natasha.vorobyova051982@gmail.com; df.sv18.kapatsyna.ii@dinuoma.com.ua

У сучасних умовах, під впливом багатьох різноманітних факторів, людина повинна пристосовуватись до будь-чого, використовуючи увесь свій потенціал, набуті навички, досвід і компетентності. Цей пласт запитань не є вузьким, навпаки, досить багатогранний і не оминає майбутніх фахівців морської галузі. Вони повинні бути «стійкими» до будь-яких обставин, як у соціальній, так і психологічній сферах. Адже, морська професія є однією з найбільш значущих і найнебезпечніших у світі. Безпосередньо, у вищих навчальних закладах, морського спрямування досить вагому роль приділяють вивченню «безпекових» дисциплін, «охорона праці та цивільний захист» тому приклад. А це й навички особистого виживання, особистої безпеки, знання громадських обов'язків на судах річкового і морського флоту.

Предмет «Охорони праці та цивільний захист» достатньо цікавий, базується на комплексі фундаментальних наук, є соціально-технічною дисципліною і включає в себе основи трудового законодавства, питання організації охорони праці, основи гігієни праці і виробничої санітарії, техніку безпеки і пожежний захист; зокрема питання цивільної оборони на морському транспорті, планування підготовки командного складу суден з питань цивільного захисту.

Майбутні інженери плавскладу, покликані після закінчення морських навчальних закладів обіймати керівні посади на морських судах, повинні вільно орієнтуватися в різноманітності нормативних і правових документів з охорони праці.

Курс «Основи охорони праці та цивільний захист» орієнтований на допомогу курсантам, які виходять в перше морське плавання, самостійно розбиратися у питаннях охорони праці/цивільного захисту та у способах особистого виживання, забезпеченні особистої безпеки, зокрема, у питаннях пожежної безпеки.

Володіння на інформативному, доступному для широкої спільноти здобувачів вищої освіти мовному інтерфейсі з різноманітними сучасними впровадженнями, сприяє багатогранному розвитку особистості, її зросту, прояву високоякісних знань, миттєвому оволодінню наданим матеріалом, методиками, виключаючи, у більшості випадків монотонність очної рутинної праці.

Ключові слова: основи охорони праці та цивільний захист, інноваційність, seafarers, інформаційний бум, інтернет-ресурс.

Innovativeness of the process of teaching the discipline «Occupational health and civil protection»: for seafarers. Tiron-Vorobiova N., Kapatsyna I.

In modern conditions, under the influence of many different factors, a person must adapt to anything, using all their potential, acquired skills, experience, and competencies. This layer of questions is not narrow, on the contrary, it is quite multifaceted and does not bypass future maritime professionals. They must be «resilient» to all circumstances, both social and psychological. After all, the maritime profession is one of the most important and dangerous in the world. Directly, in higher educational institutions, the maritime direction is given a very important role in the study of «security» disciplines, «labor protection and civil protection» is an example. These include personal survival skills, personal safety, and civic and naval skills.

The subject «Occupational Safety and Civil Protection» is quite interesting, based on a complex of basic sciences, is a socio-technical discipline, and includes the basics of labor law, labor protection, basics of occupational health and sanitation, safety, and fire protection; in particular, issues of civil defense in maritime transport, planning the training of command staff of ships on civil protection.

Future naval engineers, who are called to hold managerial positions on ships after graduating from maritime schools, should be free to navigate the variety of normative and legal documents on labor protection.

The course «Fundamentals of labor protection and civil protection» is aimed at helping cadets who go on their first voyage to independently understand the issues of labor protection / civil protection and ways of personal survival, personal safety, in particular, fire safety. Possession of an informative, accessible to a wide community of higher education language interface with a variety of modern implementations, contributes to the multifaceted development of personality, its growth, a manifestation of high-quality knowledge, instant mastery of the material, techniques, excluding, in most cases, monotony. *Key words:* basics of labor protection and civil protection, innovation, seafarers, information boom, Internet resource.

Постановка проблеми. На тлі сучасності застосування різноманітних інформаційних методологій, методів, технологій викладання, курсанти повинні бути досить «інформаційно-вмотивованими», нав-

ченими. Це є основоположним фактом донесення до здобувачів освіти щодо цифровізації суспільства у цілому. Адже, у найближчі роки ми зовсім «не ми», не зможемо рухатись вперед, без викликів

сучасної цифрової трансформації. До цього вже потрібно «звикнути».

Ці виклики потребуватимуть у найближчому майбутньому моряків із зовсім іншими навичками, уміннями та знаннями, досвідом, що необхідні в умовах сучасності, належного інформаційного суспільства й простору. Професійна діяльність моряків завдяки потрібним технічним і цифровим інноваціям буде трансформуватися, і майбутнім морякам будуть потрібні компетентності для вирішення завдань цифрової трансформації.

Такий приклад повинні надавати «інформаційно-вмотивовані» науково-педагогічні працівники, використовуючи увесь набутий досвід, користуючись новітніми методами, «віртуальними можливостями»: технікою, обладнанням, технічними засобами. Це досвід візуалізації, сприймання інформації «крізь призму» цифровізації. Досвід пристосування до сучасних реалій. Вміння слухати, доводити, відповідати «цифровою мовою». Це сучасне професійне навчання.

Це вміння користуватись всім, без обмежень, якісно аналізувати результативність процесів – «інформаційно».

Актуальність дослідження. Інноваційність процесу викладання й сприйняття саме й полягає у вбиранні тільки якісного, вибіркового, нового, професійного. І саме все це й повинно бути набути моряками. Адже, безпека є істотним резервом підвищення ефективності, набутих навичок і здібностей на тлі невичерпних інформативних джерел.

Звичайно, навчання і сприйняття студентом тієї чи іншої дисципліни є персональним і суб'єктивним, проте існують загальні фактори, які будуть розглядати нижче.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Студент/курсант не відчуває нагальної потреби використовувати отримувані знання, тому він не прагне їх отримувати. Наприклад, студенти зазвичай не розуміють, навіщо їм «охорона праці», якщо вони використовують знання лише на заняттях для відповідей. У них з'являється відчуття марно витраченого часу, тому на пари деякі із них приходять просто «відсидіти», щоб не отримати «н»-ку за пропущене заняття. Шляхом вирішення цієї проблеми є гуманізація навчального процесу, тобто, співпраця викладачів, злиття домашніх завдань із певних дисциплін, наприклад, студент, у вигляді домашнього завдання, може отримати завдання прочитати частину кодексу англійською мовою. Також необхідно розроблювати рольові ігри та кейси, які показують студенту/курсанту, що предмет «охорона праці» є актуальним для їх професійної сфери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ще однією опцією є використання інтернет-ресурсів. Наприклад, студенти можуть спілкуватись, розбирати випадки порушення безпеки на форумах та сай-

тах, брати участь у дискусії, залишати коментарі. Це сприятиме і підвищенню зацікавленості у професійній сфері, і потребі у використанні знань для особистих та професійних цілей.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Студент не бачить себе у процесі навчання, тобто, йому здається, що він не здатний брати активну участь у вивченні дисципліни під час заняття, а також «опирається» будь-яким спробам залучити його до групової чи самостійної діяльності. Такі студенти найчастіше «відмовчуються», тому що їм здається, що краще мовчати, ніж бути осміяним одногрупниками через зроблені помилки. Зазвичай, це студенти, які при перших труднощах припиняють свої спроби, і будь-яке зауваження або низька оцінка підтверджує їх зневіру у себе.

Для стимулювання активнішої роботи студентів, викладачу слід використовувати інтерактивні методи навчання, тобто, залучати студентів до різноманітної творчої та групової роботи, використовувати інформаційні технології, а саме комп'ютерне тестування, презентації PowerPoint, автентичні аудіо та відео матеріали, різноманітні інтернет-ресурси, щоб студент був зацікавленим у предметі і не відчував одноманітності та рутини виконуваних завдань. Ця рекомендація стосується усіх аспектів подолання невмотивованості студентів та їх опірності навчанню.

Новизна. Отже, використання інформаційних технологій у навчальному процесі створює умови для:

- 1) використання електронних «лекторів», тренажерів, підручників, енциклопедій;
- 2) розробки та застосування ситуаційно-рольових та інтелектуальних ігор з використанням штучного інтелекту;
- 3) моделювання та створення процесів і явищ, навчальних середовищ, які забезпечують уявне перебування у певних соціальних і виробничих ситуаціях;
- 4) забезпечення дистанційної форми навчання;
- 5) проведення інтерактивних освітніх телеконференцій;
- 6) побудови систем контролю й перевірки знань і умінь студентів (використання контролюючих програм-тестів);
- 7) здійснення проектної та дослідницької діяльності студентів тощо;
- 8) урізноманітнення форм подання інформації (текст, графіка, аудіо, відео, анімація тощо) та типів навчальних завдань;
- 9) забезпечення миттєвого зворотного зв'язку, з використанням широких можливостей діалогізації навчального процесу;
- 10) індивідуалізації процесу навчання, використання основних і допоміжних навчальних впливів;
- 11) відтворення фрагментів навчальної діяльності (предметно-змістовної, предметно-операційної і рефлексивної);

12) активізації навчальної роботи студентів, посилення їх ролі як суб'єкта навчальної діяльності (можливість обирати послідовність вивчення матеріалу, визначення міри і характеру допомоги);

13) підвищення мотивації до навчання;

14) впровадження особистісно-орієнтованого навчання;

15) організації самостійної роботи студентів;

16) впровадження діяльнісного підходу в навчанні;

17) неперервного обліку результатів діяльності студентів та об'єктивного оцінювання їх знань.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Основним завданням курсу з дисципліни «Охорона праці та цивільний захист» є надання курсантам спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт» методичної допомоги у вивченні дисципліни, опанування навичками особистого виживання, забезпечення особистої безпеки та знання громадських обов'язків на суднах. Наголошення – «створення мужніх осіб», колективізму, дружньої підтримки одне одного на тлі сучасності, витримки, із використанням «інформаційного буму»; не спотворення отриманих безпосередніх первинних навичок, компетентностей й умінь.

Виклад основного матеріалу. Зокрема, не можна виключати навчання за допомогою мобільних додатків. Зараз безліч інформації з медицини, безпеки мореплавання зібрані в мобільних додатках, які можуть бути використані моряками в рейсі.

Великий внесок у розробку подібних інформаційних програм зробила ITF, серед них такі:

ITF Seafarers – допомога моряку.

Міжнародна федерація транспортних робітників (ITF) розробила безкоштовну програму ITF Seafarers, яка дозволяє морякам отримати інформацію про будь-яке судно, контактні дані інспекторів ITF та профспілкових організацій, а також зв'язатися з ними безпосередньо через свій гаджет. Інформація відвантажується безпосередньо із системи ITF і оновлюється в міру можливості.

ITF Shore Leave – інфраструктура портів світу.

Додаток містить контактні дані морських центрів (до них відносяться клуби для моряків, благодійні організації тощо), розташовані в портах по всьому світу. Крім того, за допомогою програми можна дізнатися про години роботи, послуги, що надаються в таких центрах. Основним плюсом є можливість роботи ITF Shore Leave у режимі off-line (що не потребує підключення до інтернету).

ITF Wellbeing – здоров'я моряків.

Завдяки цьому додатку моряки можуть отримати швидкий доступ до рекомендацій та актуальної інформації про СНІД та ВІЛ-інфекцію. Програма містить у собі базові знання про захворювання: способи його передачі, симптоми, методи профілактики та лікування. Поряд із цим, додаток руйнує 12 міфів, що стосуються поширення та лікування вірусу: так, наприклад, багато моряків досі впевнені, що вірус може передаватися через слину чи укуси комарів. Крім цього «ITF Wellbeing» надає інформацію про працівників флоту, які борються зі стигматизацією ВІЛ-інфікованих моряків, і розповідає, які міжнародні та національні права мають носії цього захворювання.

Студенти можуть вивчати дисципліну через подібні мобільні додатки, та використовувати їх у реальному житті під час праці на морі.

Головні висновки. Seafarers – вмотивовані інформаційно.

Використані вміло інформаційні ресурси дозволять майбутнім фахівцям морської галузі розвиватися, зростати в інтелектуально-особистісному просторі.

Моделювати побудову відповідних задіяних технологічних процесів у просторі «інформаційного буму».

Спростування задіяних первинно методів навчання викладачем сприятиме підвищенню професійних навичок seafarers на інформаційному рівні.

Перспективи використання результатів дослідження. Отже, впровадження безпечних технічних засобів праці та наукова організація праці є основними факторами підвищення культури виробництва. Поліпшення умов праці і її безпека є істотним резервом підвищення ефективності виробництва. Завдяки безпеці праці відбувається зниження травматизму, що сприяє збереженню здоров'я трудящих (студентів/курсантів; згідно безпосередньо отриманій ними спеціалізації) і зниженню витрат на оплату компенсацій за можливі випадки травматизму і профзахворювань, викликаних несприятливими умовами праці.

Поліпшення умов праці, міцне здоров'я і висока працездатність людей сприяють збереженню творчого ентузіазму, оптимізму, зміцненню трудової дисципліни, розвитку сумлінного відношення до праці.

Тим паче, крок за кроком суспільство «міцніє інформаційно», витрачаючи достатньо налаштованого ентузіазму; зростають «інформаційно-стійкі» особистості; майбутні фахівці морської галузі не уявлятимуть своє «працьовите» життя (професію) без «інформаційного буму».

Література

1. Brookfield S. D. The Skillful Teacher: On Technique, Trust, and Responsiveness in the Classroom, Second Edition. San Francisco : Jossey-Bass. Chapter 12, 2006.
2. Аспіцька О. Ф. Використання інформаційно-комунікаційних технологій під час навчання хімії : методичний посібник / О. Ф. Аспіцька, Л. В. Кірсберг. М. : БІНОС. Лабораторія знань, 2009. 356 с.
3. Захарова І. Г. Інформаційні технології в освіті : навч. посіб. для студ. вищ. пед. навч. завід. / І. Г. Захарова. М. : Академія, 2003. 192 с.
4. Козяр М. М. Віртуальний університет : навч.-метод. посіб. / [М. М. Козяр, О. Б. Зачко, Т. Є. Рак]. Львів : Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2009. 168 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Балабак Алла Василівна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва, старший науковий співробітник відділу дендрології та паркобудівництва, Національний дендрологічний парк «Софіївка» Національної академії наук України;

Балабак Олександр Анатолійович (Умань) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач відділу генетики, селекції та репродуктивної біології рослин, Національний дендрологічний парк «Софіївка» Національної академії наук України;

Балакіна Маргарита Миколаївна (Київ) – доктор хімічних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу хімії, фізики та біології води, Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А. В. Думанського Національної академії наук України;

Баштовенко Оксана Анатоліївна (Ізмаїл) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри фізичної культури, біології та основ здоров'я, Ізмаїльський державний гуманітарний університет;

Биць Олена Володимирівна (Київ) – магістр кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Бойко Наталія Сергіївна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, директор, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України;

Бондар Олександр Богданович (Кременець) – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки і техніки України, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Брошак Іван Станіславович (Тернопіль) – кандидат сільськогосподарських наук, директор, Тернопільська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»;

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Василенко Ольга Володимирівна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Волошин Олексій Григорович (Чернігів) – аспірант кафедри екології та охорони природи природничо-математичного факультету, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка;

Волошина Наталія Олексіївна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Врадій Оксана Ігорівна (Вінниця) – асистент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Гавриленко Ніна Олександрівна (Асканія-Нова) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувачка лабораторією дендрологічного парку, Біосферний заповідник «Асканія-Нова» імені Ф. Е. Фальц-Фейна Національної академії аграрних наук України;

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Герц Андрій Іванович (Тернопіль) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної біології та методики її навчання, заступник декана хіміко-біологічного факультету, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Гільов Володимир Володимирович (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Глібовицька Наталія Ігорівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Голобородько Кирило Костянтинівич (Дніпро) – доктор біологічних наук, доцент, головний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії наземної екології, лісового ґрунтознавства та рекультивації земель, Науково-дослідний інститут біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Гулько Світлана Олександрівна (Кам'янське) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпровський державний технічний університет;

Дойко Наталія Михайлівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувачка відділу збагачення дендрофлори, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України;

Драган Ніна Вікторівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, завідувачка лабораторії насінництва та первинного випробування інтродукованих рослин, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України;

Дубінський Денис Валерійович – аспірант кафедри екології факультету природничо-географічної освіти та екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Єна Марина Сергіївна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри фізіології, медичної біології та біологічної фізики, ПВНЗ «Київський медичний університет»;

Житкевич Ярослава Ярославівна (Одеса) – магістрант кафедри з екології екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Зелена Любов Борисівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу фізіології промислових мікроорганізмів, Інститут мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного Національної академії наук України;

Іваненко Ірина Миколаївна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Іванець Олег Романович (Львів) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри зоології, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Іванов Євген Анатолійович (Львів) – доктор географічних наук, доцент, завідувач кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Капацина Ілля Іванович (Ізмаїл) – курсант IV курсу спеціалізації «Навігація і управління морськими суднами», Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»;

Козак Любомир Юрійович (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Конончук Олександр Борисович (Тернопіль) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки та зоології, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Король Катерина Анатоліївна (Львів) – ад'юнкт кафедри екологічної безпеки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;

Кравчук Анна Анатоліївна (Житомир) – студентка I курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

Кулик Михайло Павлович (Львів) – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник, Товариство з обмеженою відповідальністю «Єврокоскоп»;

Кунах Ольга Миколаївна (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри зоології та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Кучерук Дмитро Дмитрович (Київ) – доктор хімічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу хімії, фізики та біології води, Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А. В. Думанського Національної академії наук України;

Ловинська Вікторія Миколаївна (Дніпро) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Лопушанська Марія Романівна (Львів) – аспірантка кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Любинський Олександр Іванович (Кам'янець-Подільський) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Мордатенко Ігор Леонідович (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу збагачення дендрофлори, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України;

Нікітіна Ольга Володимирівна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Орловський Олексій Володимирович (Полтава) – аспірант кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології природничого факультету, Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка;

Павлюк Людмила Іванівна (Івано-Франківськ) – здобувач кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Пида Світлана Василівна (Тернопіль) – докторка сільськогосподарських наук, професорка, завідувачка кафедри ботаніки та зоології, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Плескач Любов Якимівна (Біла Церква) – науковий співробітник відділу збагачення дендрофлори, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України;

Полетаєва Лариса Миколаївна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Полторацька Вікторія Миколаївна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Риженко Наталія Олександрівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувачка кафедри екології та екологічного контролю, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Романенко Олександр Вікторович (Київ) – академік Національної академії наук України, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця;

Рудницька Жанна Олександрівна (Київ) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри загальної та прикладної фізики, Національний авіаційний університет;

Саньков Петро Миколайович (Дніпро) – кандидат технічних наук, професор кафедри архітектури, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Сафранов Тамерлан Абісалович (Одеса) – доктор геолого-мінералогічних наук, професор кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Семерня Анастасія Олегівна (Київ) – студентка III курсу історичного факультету, Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

Семерня Оксана Миколаївна (Кам'янець-Подільський) – доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Ситник Світлана Анатоліївна (Дніпро) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Степанова Анна Віталіївна (Київ) – магістр кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Суслова Олена Петрівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Сушко Дмитро Юрійович (Київ) – аспірант кафедри екології факультету природничо-географічної освіти та екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Тірон-Воробйова Наталія Борисівна (Ізмаїл) – кандидат технічних наук, доцент, секретар кафедри загальнонаукових дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»;

Ткач Наталія Олексіївна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Ткачук Наталія Василівна (Чернігів) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка;

Ткачук Олександр Петрович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Тригуба Олена Василівна (Кременець) – кандидатка сільськогосподарських наук, доцентка кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

Феденко Юрій Миколайович (Київ) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Федорчук Іван Вікторович (Кам'янець-Подільський) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Федько Роман Миколайович (Березоточа) – кандидат біологічних наук, завідувач відділу екології та фармакогнозії, Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Фінін Георгій Семенович (Київ) – доктор фізико-математичних наук, професор, перший проректор з науково-педагогічної роботи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Черняк Таїсія Василівна (Хорол, Полтава) – завідувач сектору дендрології, розмноження рослин та еколого-освітньої діяльності, науковий співробітник, Хорольський ботанічний сад; аспірант кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології природничого факультету, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Шелудченко Леся Сергіївна (Кам'янець-Подільський) – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій та засобів АПК, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет».

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(41)

- *Екологія і виробництво*
- *Екологія водних ресурсів*
- *Екологічний моніторинг*
- *Теоретична екологія*
- *Загальні питання екологічної безпеки*
- *Біологічна безпека*
- *Поводження з відходами*
- *Зміна клімату*
- *Розвиток природно-заповідного фонду України*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Питання сталого розвитку*
- *Освіта для сталого розвитку*

Адреса редакції:

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел. +380 99 428 67 00;
www.ecoj.dea.kiev.ua
e-mail: info@ecoj.dea.kiev.ua

Видавничий дім «Гельветика»

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6424 від 04.10.2018
Україна, 65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua

Підписано до друку 14.02.2022. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 21,86. Тираж 100. Замовлення № 0522/178.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета