

Міністерство освіти і науки України
Львівська обласна державна адміністрація
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут сталого розвитку ім. В'ячеслава Чорновола
Західний науковий центр НАН України і МОН України
Всеукраїнська екологічна ліга

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

«Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»

За науковою редакцією
доктора технічних наук, професора
Мальованого Мирослава Степановича

Опублікована за результатами 6-го Міжнародного конгресу
«Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність.
Збалансоване природокористування»

Львів
ТзОВ "ЗУКЦ"
2020

УДК 502.17

C759

ISBN 978-617-655-205-5

book doi: [10.23939/book.ecocongress.2020](https://doi.org/10.23939/book.ecocongress.2020)

Рецензенти:

Пляцук Л.Д., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету

Шмандій В.М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та організації природокористування Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського

Адаменко Я.О., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Масікевич Ю.Г., доктор біологічних наук, професор, професор кафедри гігієни та екології Вищого державного начального закладу України «Буковинський державний медичний університет»

Відповідальна за випуск:

Вронська Н.Ю., кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка»

Рекомендувала

- Наукова рада Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління (протокол № 14 від 25 листопада 2020 р.)
- Наукова рада Всеукраїнської екологічної ліги (протокол № 7 від 18 листопада 2020 р.)

Монографія присвячена освітленню результатів наукових доповідей, оголошених на 6-му Міжнародному конгресі «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», за тематикою:

- екологічні аспекти, збереження біорізноманіття, моніторинг, аудит, системний аналіз та оцінка ризику;
- відновлювані та нетрадиційні джерела енергії;
- інноваційні природоохоронні технології. Технології підвищення ефективності використання матеріалів, води та енергії;
- освіта та виховання для сталого розвитку;
- економіко-управлінський супровід розроблення, впровадження і комерціалізації екоінновацій у системі сталого розвитку;
- розвиток екологічного туризму в аспекті сталого розвитку;
- цивільна безпека в аспекті сталого розвитку.

Для науковців, викладачів, аспірантів, докторантів тощо.

ЗМІСТ

стор.

Руденко Л.Г., Вишня М.М., Тимочко Т.В. Регіональні відмінності в нагромадженні відходів життєдіяльності людини і їх загрози для життя.....	7
РОЗДІЛ 1 «ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ, МОНІТОРИНГ, АУДИТ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ»	
1.1. Машков О.А., Сав'юк Л.М., Андросюк Ю.Е. Технологія проведення екологічного моніторингу навколишнього середовища з використанням аерокосмічних технологій.....	12
1.2. Бондар О.І., Машков О.А., Сав'юк Л.М., Андросюк Ю.Е. Аналіз можливості використання космічних апаратів для проведення екологічного моніторингу.....	28
1.3. Бондар О.І., Жукаускас С.В., Нігородова С.А. Оцінка ефективності застосування системи екологічного моніторингу з використанням методів дистанційного зондування землі для контролю екологічного та технічного стану водних техноекосистем.....	47
1.4. Morhun O.V., Trehub N.E., Bondarenko V.V., Bosiy I.M. Ecological and economic aspects of the fabrication of wooden design-objects on CNC milling machines.....	68
1.5. Одноріг З.С., Манько Р.В., Мальований М.С., Соловій Х.М. Екологічний моніторинг поверхневих вод басейну річки Західний Буг у створах Львівської області (2018-2019 рр.).....	80
1.6. Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. Сейсмічна небезпека територій в умовах видобутку корисних копалин як фактор екологічного ризику (на прикладі Українського Передкарпаття).....	97
1.7. Русин І.Б., Дячок В.В. Перспективи використання природних лісових екосистем для отримання рослинно-мікробної біоелектрики.....	124
1.8. Міліневський Г.П., Ліптуга А.І., Кислий В.П., Синявський І.І., Сосонкін М.Г., Симон А.О., Данилевський В.О., Юхимчук Ю.Ю., Серьожкін Ю.Г., Турос О.І., Чолій В.Я., Маремуха Т.П., Петросян А.А. Розширена мережа моніторингу аерозолів AirVisual у місті Києві.....	140

- 1.9. **Кислий В.П., Ліптуга А.І., Міліневський Г.П.,
Симон А.О., Чолій В.Я., Серьожкін Ю.Г.**
Малогабаритний прилад для моніторингу аерозольного забруднення повітря..... 167
- 1.10. **Безсонов Є.М.**
Еколого-економічні наслідки від руслових водосховищ: вітчизняний та міжнародний досвід..... 184
- 1.11. **Pohrebennyk V., Shybanova A.**
Assessment of the ecological state of surface water bodies of Lviv city (Ukraine)..... 215
- 1.12. **Васютинська К.А., Барбашев С.В.**
Індикаторна оцінка впливу урбанізаційного процесу на стан природної та техногенної безпеки в регіонах України..... 232
- 1.13. **Yeremeyev I., Dychko A.**
Reliability and robustness of environmental monitoring complex geoengineering systems..... 255
- 1.14. **Дунаєвська Н.І., Нехамін М.М., Бондзик Д.Л.,
Щудло Т.С.**
Впровадження технологій заміщення викопних палив в енергетиці твердою біомасою..... 269
- 1.15. **Тимчук І.С., Мальований М.С., Бота О.А.,
Шквірко О.М.**
Моніторинг стану накопиченого мулу на території очисних споруд ЛМКП “Львівводоканал”..... 288
- 1.16. **Bernatska N.L., Falyk T.S., Starchevskyy V.L., Samsin I.L.**
Ecological and legal problems of craft brewery in Ukraine and the methods of their solution..... 300
- 1.17. **Попович О.Р., Гавришко М.І., Вронська Н.Ю.**
Екологічні проблеми харчової галузі..... 319

РОЗДІЛ 2 «ІННОВАЦІЙНІ ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ. ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ, ВОДИ ТА ЕНЕРГІЇ. ЕКОІНОВАЦІЇ В АРХІТЕКТУРІ»

- 2.1. **Петрушка І.М, Петрушка К.І.**
Моделювання концентраційної залежності електропровідності смоли КУ-2 в розчинах електролітів різної природи..... 332
- 2.2. **Ляшок Я.О., Подкопаєв С.В., Повзун О.І.,
Калиниченко В.В.**
Ніздрюватий бетон з використанням доменного гранульованого шлаку..... 345

- 2.3. **Сакалова Г.В., Василінич Т.М., Петрук Г.Д., Трач І.А.**
Оцінка ефективності використання відпрацьованого глинистого сорбенту..... 364
- 2.4. **Мацуська О.В., Сабадаш В.В., Гумницький Я.М., Параняк Р.П., Сухорська О.П.**
Проблема очищення стічних вод АПК від йонів амонію..... 376
- 2.5. **Voloshkina O., Telyma S., Zhukova O.**
Availabel water supply as s major factor of the urban territories stable development..... 391
- 2.6. **Проценко С.Б., Кізеєв М.Д., Новицька О.С.**
Вибір вихідних даних для розрахунку та проектування реконструкції очисних споруд водовідведення..... 406
- 2.7. **Сабадаш В.В., Гумницький Я.М., Гивлюд А.М., Люта О.В.**
Експериментальні дослідження адсорбційного очищення стічних вод від α -оксіпропіонової кислоти..... 422
- 2.8. **Дячок В.В., Мандрик С.Т., Гуглич С.І.**
Застосування одноклітинних хлорофілсинтезуючих мікроводоростей Chlorella в природоохоронних технологіях.... 436
- 2.9. **Мальований М.С., Жук В.М., Тимчук І.С., Соловій Х.М., Вронська Н.Ю., Копій М.Л., Стокалюк О.В., Середа А.С.**
Застосування концепції розімкнутого біологічного конвеєра для очищення забруднених водних середовищ на прикладі фільтратів сміттєзвалищ..... 451
- 2.10. **Сторощук У.З., Мальований М.С., Тимчук І.С.**
Переробка органічної складової твердих побутових відходів методом компостування..... 470

РОЗДІЛ 3 «ЕКОНОМІКО-УПРАВЛІНСЬКИЙ, ТУРИСТИЧНИЙ ТА ОСВІТНІ АСПЕКТИ У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ»

- 3.1. **Петрушка І.М., Ємельянов О.Ю., Петрушка К.І., Гавриляк А.С., Петрушка Т. О.**
Моделювання впливу ресурсозбереження на еколого-економічний розвиток підприємств..... 485
- 3.2. **Мороз Л.І.**
Проблеми та оцінка економічної безпеки життєдіяльності людини в умовах корона вірусу..... 501
- 3.3. **Ільницька-Гикавчук Г.Я.**
Екологічні інновації в готельному господарстві..... 515
- 3.4. **Паньків Н.Є.**
Перспективи використання туристично-рекреаційних ресурсів для розвитку екологічного та зеленого (сільського) туризму в Чернівецькій області..... 529

3.5.	Теодорович Л.В. Зелені шляхи (Greenways) – як еколого-пізнавальні маршрути (зарубіжний досвід).....	551
3.6.	Schultheiß, J., Senkiv M., Reiss M. Cultural landscapes of Ukraine in the context of sustainable development.....	580
3.7.	Mitryasova O., Mats A. European measurements in the practice of implementing education for sustainable development.....	601
3.8.	Олексієнко А.М. Успадкування народних мотивів у сучасному ландшафтному дизайні.....	613

РЕГІОНАЛЬНІ ВІДМІННОСТІ В НАГРОМАДЖЕННІ ВІДХОДІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ І ЇХ ЗАГРОЗИ ДЛЯ ЖИТТЯ

Руденко Л.Г., Інституту географії НАН України, доктор географічних наук,
академік НАН України, професор, Київ, Україна

Вишня М.М., Інституту географії НАН України, молодший науковий
співробітник, Київ, Україна

Тимочко Т.В., голова Всеукраїнської екологічної ліги

Природне середовище давно відчуває зміни які відбуваються в кожному із його компонентів: ґрунтах, рослинному і тваринному світі, стані поверхневих і підземних вод, зміні кліматичних параметрів тощо. Активним учасником цих змін є непродумана діяльність людини в процесі її життєдіяльності. Ця діяльність призвела до створення багатьох загроз для життя людини. Найбільш відчутними і небезпечними в Україні є загрози екологічній безпеці, які сформовані протягом багатьох років: висока концентрація промислового виробництва із використанням застарілих технологій, нагромадження великої кількості відходів виробництва. Значною мірою це обумовлено майже 100% зношеністю основних фондів у всіх сферах економіки держави.

Під впливом такої непродуманої і не раціональної діяльності людини порушуються природні механізми стабілізації біотичної регуляції природного середовища, що створює загрозу існування життя. У цьому контексті Україну слід розглядати як класичний приклад неусталеного збалансованого регіонального розвитку з нераціональною організацією господарства та порушенням певних принципів моралі. І тут слід згадати останню доповідь Римського клубу, особливо щодо її назви «Come on» [von Weizsaecker, E., Wijkman, A. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. – Springer, 2018. – 220 p.; Come on! Капіталізм, недалекоглядність, населення і руйнування планети. Доповідь Римського клубу. / Ернст Ульріх фон Вайцекер, Андерс Війкман та ін. – К. : Саміт-книга, 2019. – 276 с.] Автори

доповіді піл цим розуміють «не намагайся обдурити мене». Чому ми наголошуємо увагу на цій тезі, тому що уже багато років приймаються різні рішення про призупинення деградації природного середовища. Наше Суспільство ніби втішається, заспокоює людей, а насправді все йде як і було донині: нагромадження різних відходів життєдіяльності людини і її не продуманого поводження в природному середовищі.

Кількість відходів в усіх державах світу, на жаль, зростає. Невпинно вони зростають і в Україні. Для призупинення процесу нагромадження відходів, приведення у відповідність з європейськими нормами системи управління і регулювання відходами, проведення необхідних упорядкувальних заходів потрібно мати чітке уявлення про їх просторове розповсюдження та характеристики наявної середовища захисної інфраструктури (площадки для захоронення відходів, біотермічні ями, полігони, шламосховища, хвостосховища, спеціальні площадки, тощо). Це сприятиме розробці цільових регіональних програм.

Серед відходів, особливе місце займають токсичні промислові відходи які завжди можна розглядати як потенційні для прояву надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру. В Україні, за даними ДСНС нагромаджено величезну кількість токсичних відходів різних класів небезпеки.

Оперативному оцінюванню об'ємів, специфіки і класів небезпеки токсичних відходів та їх просторового розташування сприяє інтерактивна карта «Україна. Токсичні промислові відходи», що створена в Інституті географії НАН України за цільовою програмою Національної академії наук України «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень». Карта відображає насиченість території регіонів держави об'єктами в яких нагромаджені відходи. Кожний об'єкт має геодезичні координати, адресу і конкретні характеристики.

Особливістю розробленого програмного забезпечення функціонування інтерактивної карти є можливість її використання в автономному режимі роботи, без підключення до мережі Інтернет, за умови завантаження або копіювання карти на комп'ютер, планшет або мобільний пристрій.

Створення карти здійснювалося у чотири етапи:

1. Збір інформації та формування бази даних за паспортами ризику виникнення НС (2018 р.);
2. Здійснення геокодування (визначенні географічної прив'язки – координат) об'єктів нагромадження токсичних промислових відходів;
3. Інтерполяція отриманих результатів та їх відображення із застосування картографічних програм;
4. Програмування інтерактивної карти.

Виконані роботи дозволили здійснити локалізацію точного розміщення об'єктів, що містять уже сьогодні потенційно небезпечні токсичні відходи, а також здійснено районування території за щільністю накопичення токсичної речовини.

Головне «вікно» інтерактивної карти забезпечує різні види інтерфейсів для кінцевого користувача: навігація по картах і їх шарах, візуалізацію змісту на карті, представлення даних про кожен із об'єктів карти у табличному вигляді.

Програмне забезпечення дозволяє збільшення і зменшення масштабу карти, вимірювання відстаней між об'єктами, пошуки тематичних шарів та табличні дані про об'єкти. В якості базових карт використано карти популярних геопорталів (Google Hybrid, Google Satellite, Open Street Map, карта ISGEO). Користувач має можливість використовувати (поєднувати) поточне відображення карти, маніпулювання різними шарами інформації та отримувати додаткову табличну інформацію про насиченість області об'єктами з нагромадженими відходами.

Детальну інформацію можна отримати по кожному об'єкту (область, точна адреса розміщення об'єкту, кількість на ньому сховищ, назва нагромадженої речовини та її кількість). Крім цього, користувач може отримати детальну табличну інформацію про об'єкти зберігання токсичних відходів, про назву небезпечної речовини за класами небезпеки, про кількість населення що може постраждати при виникненні НС, про можливу площу забруднення території та перелік проблемних питань на об'єкті нагромадження речовини.

По кожному об'єкту відмічені зауваження, які фіксують відступ від існуючих законодавчих актів (не ведуться спостереження за якістю ґрунтів, станом підземних вод, якістю атмосферного повітря, не встановлено власника об'єкту та інше).

Візуально оцінюючи регіональні відміни в нагромадженні токсичних відходів і їх щільності (т на кв. км) можна відмітити найбільшу щільність відходів у Полтавській обл., Донецькій обл. (2736,7 т на кв. км), Київській та Харківській обл. (1335,3 т на кв. км і 1352,2 т на кв. км відповідно), Івано-Франківській обл. (1087,7 т на кв. км), Миколаївській обл. (1722,6 т на кв. км) та Львівській обл. (211,4 т на кв. км) Інші області мають значно нижчі показники.

На жаль, різні трансформації в державі не сприяють реальним позитивним змінам як в економіці, так і в збереженні природного середовища. Це стосується і не вирішення питання із впорядкуванням нагромадження відходів. Прикладів позитивних змін із відходами у державах бувшого СРСР багато. Особливо вражають заходи прибалтійських держав. Там корінним чином вдосконалена система складування відходів і їх переробки.

Крім регіональних програм поводження з відходами, вбачається необхідність значного поліпшення другого принципу Природного Капіталізму: «це переробити спосіб яким ми поставляємо енергію, харчуємось, виробляємо та надаємо послуги, які бажаємо, використовуючи такі підходи, як біомікрія та циркуляція економіки» (розділ 3.1.3 «Come on! Капіталізм, короткостроковість, населення та руйнування планети. Доповідь Римського клубу», 2018 р.).

У згаданій доповіді Римського клубу значна увага приділена *новому просвітництву*. На нашу думку, на сьогодні його потрібно не тільки вдосконалювати, а і корінним чином опрацювати нову схему просвітництва щодо поводження з відходами (починаючи із схем співпраці із дошкільнятами і завершуючи пенсіонерами). Ця нова схема просвітництва заслуговує уваги Міністерства освіти та науки і Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

РОЗДІЛ 1

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ, МОНІТОРИНГ, АУДИТ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Машков О.А., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, проректор з наукової роботи, м. Київ, Україна

Сав'юк Л.М., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, кандидат наук державного управління, докторант, м. Київ, Україна

Андросюк Ю.Е., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, аспірант, м. Київ, Україна

Abstract

The technology of carrying out aerospace ecological monitoring is offered. Peculiarities of application of the ground information complex in the system of ecological monitoring are determined. The technology of ecological monitoring of the Earth 's atmosphere is offered. Monitoring of pollution of the Earth's atmosphere involves the determination of the following substances in the Earth's atmosphere: ozone, methane, formaldehyde, aerosols, carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide.

The application of remote methods of ecological monitoring of the Earth's surface from space is based on the thematic analysis of images obtained by target devices (radars, radiometers and optoelectronic equipment) of the onboard special complex installed on spacecraft. Special software (NetCDF data format) is required to process and geographically bind data from the Sentinel-5P spacecraft. Data from the Sentinel-5P spacecraft have a low resolution of 5.5-7 km, so the monitoring of air pollution is most relevant at the regional level (region, country), or global (continent, world). Possible daily monitoring, as well as averaging over time, makes it possible

to reduce the impact of atmospheric conditions on measurements. It is possible to monitor large emergencies and build animation with a time step of 1 day to study the dynamics of the spread of pollution.

The analysis shows that the main anthropogenic sources of air pollution, which are proposed to be controlled using aerospace technologies, include emissions of high-temperature combustion products, such as exhaust gases from vehicles, aviation, emissions from industrial, chemical plants and thermal power plants. The spread of air pollutants, in turn, is influenced by atmospheric conditions (air pressure, wind speed and direction, vertical temperature distribution).

Вступ

Одним з основних напрямів підвищення екологічної безпеки є контроль параметрів навколишнього природного середовища, пошук та локалізація антропогенних впливів на стан довкілля, визначення епіцентру та зон впливу, а також характеру забруднення (Іванюта та Качинський, 2012). В останні роки спостерігається розширення великомасштабної діяльності людини, пов'язаної з розвитком небезпечних високотехнологічних процесів (фізико-хімічних, теплових, радіаційних та ін.), що призводить до значної зміни стану природних умов. При цьому ступінь впливу і масштаби наслідків залежать від інтенсивності та характеру самого забруднення і стійкості навколишнього середовища до антропогенного навантаження (Клименко, Бондар та Пилипенко, 2010).

Для контролю за параметрами довкілля і визначення ступеня впливу техногенного забруднення застосовують екологічний моніторинг, який включає спостереження за подіями, процесами, явищами, а також здійснює оцінювання і прогнозування змін стану природного середовища на основі різних методів (Бондар, Корінько, Ткач та Федоренко, 2005).

На сьогодні класичні методи контролю (контактні і біологічні), за допомогою яких оцінюють стан навколишнього природного середовища, не

дають змоги виконати поставлені завдання в повному обсязі та в заданий час, через розширення масштабів техногенного впливу і збільшення часу обробки отриманих результатів. Саме тому світові тенденції свідчать, що на перший план виходять дистанційні методи моніторингу, пов'язані в передусім із використанням можливостей космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у видимому та радіолокаційному діапазонах спектру. Застосування космічних систем спостереження для проведення екологічного моніторингу є одним з основних джерел застосування дистанційних методів для визначення стану і характеру навколишнього середовища. Це дає змогу виявляти стан розвитку та антропогенний вплив на навколишнє середовище, зокрема визначати його характер (наприклад, викиди в атмосферу) та його зони з необхідною оперативною і просторовою повнотою спостереження, а також комплексно оцінювати: властивості впливу, розміри, концентрацію, прогнозування наслідків впливу, зміст взаємодії і спостерігати за антропогенною зоною.

Забезпечення своєчасного отримання інформації та її повнота під час проведення екологічного моніторингу є актуальним і важливим напрямком досліджень, пов'язаним із розробленням рубрикатора екологічних завдань щодо своєчасного комплексного виявлення і визначення характеру техногенного впливу на основі обробки космічних знімків (КЗ) для забезпечення екологічної безпеки з використанням космічних систем ДЗЗ. Крім цього, космічні системи ДЗЗ можуть здійснювати безперервний моніторинг території, що дає змогу вирішувати деякі екологічні завдання на основі контролю та оцінювання раптових впливів, пов'язаних з викидами в навколишнє середовище (атмосферне повітря природних зон та територій, промислових підприємств, у разі виникнення надзвичайних ситуацій та інших випадків) (Лялько, Попов, Федоровський та Костюченко, 2006).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні системи управління екологічною безпекою як наукове підґрунтя підвищення

достовірності та інформаційних можливостей систем екологічного моніторингу для визначення зон екологічного ризику із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій.

Мета дослідження полягає в розкритті особливостей застосування аерокосмічних технологій в системі екологічного моніторингу атмосфери Землі, а також підвищення достовірності та інформаційних можливостей систем екологічного моніторингу для визначення зон екологічного ризику на основі використання мобільних комплексів оцінки екологічного стану регіону із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій.

Основна частина

1.1. Технологія проведення аерокосмічного екологічного моніторингу

Відомо, що «для ефективного дешифрування космічних зображень на сучасному етапі активно розвиваються підходи, пов'язані із обробкою отриманих даних в різних спектральних діапазонах під час проведення екологічного моніторингу дистанційними методами» (Бондар, Машков, Пашков, Ващенко та Шевченко, 2018). При цьому із кожного датчика можна отримати цифрові зображення підстильної поверхні в різних спектрах електромагнітного випромінювання. Інформація про зміни поверхні сцени може міститися у зміні геометричних характеристик, просторових розподілів рівнів яскравостей, а також у спектральних сигнатурах. Результати дослідження (Богом'я, Дурняк, Козелков, Машков та Моргун, 2008) «щоб отримати максимальну кількість інформації про зміну і стан процесів природних змін та антропогенного впливу, які відбуваються в районі спостереження, можна вдатися до процедури комплексування отриманих даних від різних методів обробки космічних знімків». В роботі показані діапазони випромінювань для якісної обробки радіометричних, геометричних та багатоспектральних складових на етапі дешифрування космічних зображень.

Зважаючи на випадковість природних процесів та антропогенних впливів на природні умови, для підвищення достовірності оцінки стану довкілля під час виконання завдань екологічного моніторингу дистанційними методами, а також можливості розширення інформаційних властивостей космічних систем спостереження за техногенним забрудненням довкілля виникає необхідність розробки рубрикатора екологічних завдань для своєчасного проведення моніторингу та оцінювання на основі використання КЗ для побудови екологічних карт, що і визначило основні напрями наукових досліджень (Машков, Жукаускас та Нігородова, 2019).

Обробка даних ДЗЗ – це багаторівневий процес, спрямований на отримання достовірного інформаційного продукту в результаті усунення спотворень і обліку додаткових даних і вимог користувачів. На цих рівнях виконуються наступні операції обробки космоснимку (відповідно до ДСТУ 4758 : 2007 «Дистанційне зондування Землі з космосу. Обробка даних. Терміни і визначення понять»)

Проведення екологічного моніторингу здійснюється на основі конкретної постановки завдання, а так само з пріоритетних напрямів екологічної обстановки з урахуванням аналізу поточних проблемних і конфліктних ситуацій, масштабів зміни і впливу на екосистему. З урахуванням розвинених інформаційних технологій система екологічного моніторингу вирішують три типи завдань:

- 1) Первинний збір параметрів довкілля, їх накопичення і формування бази даних.
- 2) Обробка, представлення і прогнозування даних в сприйманому виді (таблиць, графіків, карт та ін.).
- 3) Оперативна оцінка і забезпечення інформацією, необхідною і достатньою для виявлення і ухвалення рішення для управління ситуацією.

При цьому необхідно здійснити вибір критеріїв для отримання поточної оцінки в системі екологічного моніторингу, визначення об'єктів і їх меж впливу

(зон екологічного ризику, зон надзвичайних екологічних ситуацій), умов функціонування, параметри які необхідно контролювати, формування спостережливої мережі, засобів і методів спостереження. Це дозволить досягти поставленої мети. Проте при формуванні критеріїв необхідно враховувати компроміс між повнотою (точністю) опису процесів (об'єктів) і кількістю вибраних параметрів. Це пов'язано в першу чергу з вибором тих або інших методів і засобів моніторингу і контролю параметрів довкілля. При цьому, вибір критеріїв оптимальності при проведенні екологічного моніторингу залежить від еколого-економічної ефективності, тобто при мінімумі витрат на його організацію і проведення моніторинг повинен забезпечувати отримання максимуму корисної інформації про чинники дії, стан довкілля і зміни, що відбуваються в природно-техногенних системах, в періоді реального часу. Таким чином, ставиться завдання аналітичного вибору методів моніторингу, які дозволять оцінити стани довкілля в найкоротший період часу.

На сьогодні найбільш поширені контактні методи контролю стани довкілля, які представляються як класичні методи аналізу (хімічних, фізичних, фізико-хімічних) властивостей об'єкту (території) моніторингу з подальшим використанням сучасних методів інструментального аналізу. Класифікація контактних методів контролю. Найбільш вживаними методами є: спектральні, електрохімічні і хроматографічні методи аналізу об'єктів довкілля.

На ряду з достатньою достовірністю і простотою вживаних методів, можна відмітити недолік, який пов'язаний з відбором проб, їх якісною обробкою і аналізом результатів. При цьому, для узяття проб необхідно знаходитися безпосередньо в зоні екологічного ризику або бути схильним до впливу антропогенної дії.

Тому, необхідно розглянути особливості побудови космічних систем спостереження, проаналізувати особливості різних етапів обробки і дешифрування космічних зображень, і визначити необхідні напрями їх вдосконалення.

1.2. Особливості застосування наземного інформаційного комплексу в системі екологічного моніторингу

Безпосереднє вирішення завдань приймання космічних знімків з космічного апарата пов'язане з формуванням наземного інформаційного комплексу (НІК) на основі наявних технічних засобів у вигляді територіально рознесених радіотехнічних систем, центру обробки спеціальної інформації (ЦОСІ) і мережі зв'язку (Мосов, Машков, Кравченко та Савченко, 2004). Наземний інформаційний комплекс, як складова частина космічної системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), призначений для систематичного, згідно з поданими заявками, забезпечення споживачами цільовою інформацією для розв'язання соціально-економічних і наукових завдань. Тому вважаємо доцільним розглянути умови функціонування технічних засобів НІК. Слід зауважити, що побудова НІК принципово відрізняються способом обміну інформацією між бортовим спеціальним комплексом (БСК) космічного апарату (КА) й радіотехнічної системи НІК. В Україні використовують, переважно, персональні НІК.

Персональні НІК: геоінформаційні реєстратори, цифрові тахеометри та лазерні сканери, GPS-станції працюють в системі (рис.1) і вирішують завдання передачі інформації протягом одного сеансу. При цьому виникає необхідність побудови уніфікованих технічних засобів і апаратно-програмних комплексів.

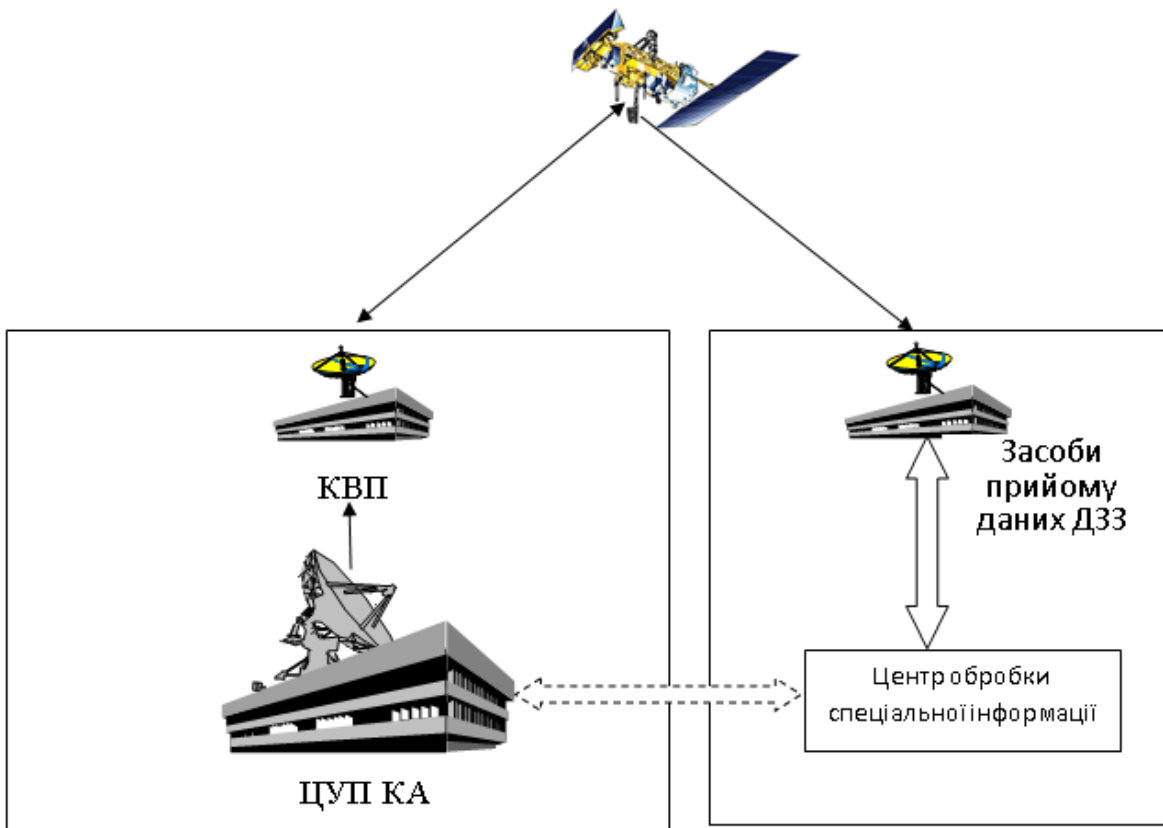


Рис. 1. Приймання цільової інформації персональним НІК

Основними недоліками персональних НІК вважають:

- підвищення вимог до виконання завдань передачі цільової інформації з БСК КА у зв'язку з обмеженістю часу прольоту його в зоні радіовидимості;
- прийняття ряду окремих рішень на виконання завдань передачі цільової інформації з БСК КА відбувається на основі великої апріорної невизначеності бортового комплексу;
- обмеженість можливості перерозподілу використання технічних засобів НІК у разі виходу з ладу радіотехнічних систем, що призводить до зниження надійності передачі цільової інформації. Разом з тим, для висот орбіт більш 500 км вся територія України є зоною видимості одного НІК, що зумовлює використання тільки однієї радіотехнічної системи.

Враховуючи можливості обмеженого приймання радіосистемами в зоні радіовидимості, виникає необхідність досліджувати фактори, що впливають на якість функціонування радіоканалу та стійкість роботи наземної радіотехнічної

станції при побудові наземного інформаційного комплексу однопунктної технології. При цьому, спочатку необхідно розглянути особливості побудови оптико-електронних систем спостереження, а також формування зображення в бортовому спеціальному комплексі КА.

Застосування дистанційних методів екологічного моніторингу поверхні Землі з космосу базується на тематичному аналізі зображень, отриманих цільовими приладами (радіолокаторами, радіометрами та оптико-електронною технікою) бортового спеціального комплексу, встановленими на космічних апаратах. Цілий ряд супутників, обладнаних приладами дистанційного зондування, виведені на орбіту спеціально для отримання різнобічної геофізичної інформації, необхідної для оцінки стану навколишнього середовища і для природно-ресурсних досліджень. Зображення із супутників передаються на станцію приймання спеціальної інформації НІК для первинної обробки, і служить основою для повсякденного контролю за станом навколишнього середовища (схема проходження інформації представлена на рис. 2). Після приймання і первинної обробки космічної інформації, на станції прийому спеціальної інформації НІК проводиться дешифрування знімка. Метою обробки даних дистанційного зондування, є отримання знімків або зображень з необхідними спектральними, радіометричними і геометричними характеристиками. При цьому обробка даних космічного зображення, відповідно до типової процедури, відбувається на декількох рівнях. У загальному випадку вона передбачає такі етапи: попередню обробку; первинну обробку.

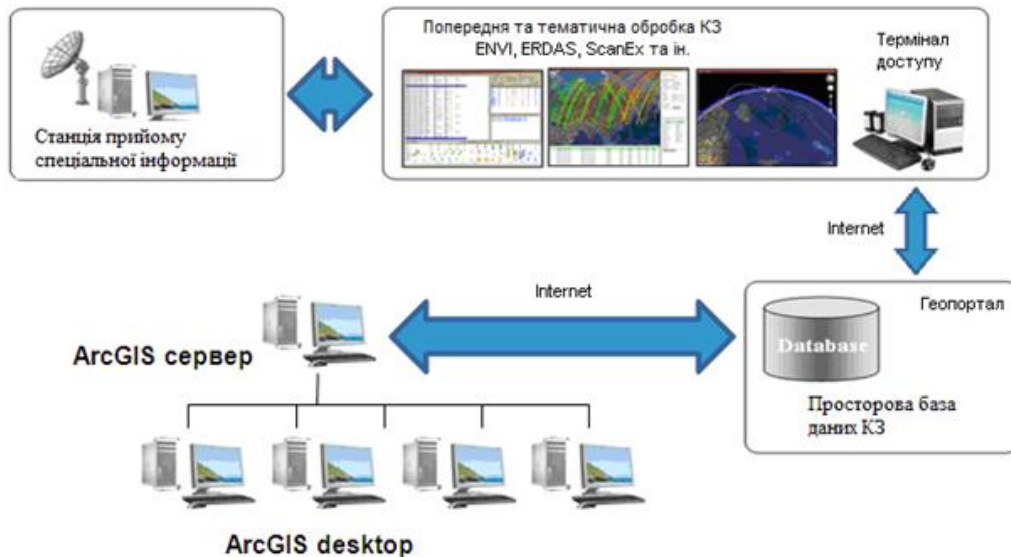


Рис. 2. Структурна схема спеціального каналу космічного моніторингу

1.3. Особливості екологічного моніторингу атмосфери Землі

У процесі життєдіяльності людина постійно стикається з великою кількістю шкідливих речовин, які можуть викликати різні види захворювання, розлади здоров'я, а також травматизм як у процесі контакту, так і через певний проміжок часу. На сьогодні відомо близько 7 млн. хімічних речовин та сполук, із яких 60 тис. використовуються у діяльності людини. На міжнародному ринку кожного року з'являється від 500 до 1 000 нових хімічних сполук та сумішей.

Забруднення атмосферного повітря вважається одним із провідних елементів середовища проживання людини, що спричиняє шкідливий вплив на її здоров'я. Сьогодні в Україні, незважаючи на певний спад виробництва, стабільно високим залишається забруднення повітряного середовища великих міст і промислових центрів. У результаті практично дві третини населення країни проживає на територіях, де стан атмосфери не відповідає гігієнічним нормативам. Проте, питання щодо ступеня ризику за умов постійної тривалої дії шкідливих чинників повітряного середовища, якому піддається населення великих міст з різним профілем промисловості, залишаються відкритими.

Зростання надходжень токсичних речовин у навколишнє середовище, перш за все, впливає на здоров'я населення, погіршується якість продуктів

сільського господарства, відбувається вплив на клімат окремих регіонів і стан озонового шару Землі, загибель флори і фауни. Оксиди вуглецю, сірки, азоту, вуглеводні, з'єднання свинцю, пил, що поступають в атмосферу, впливають на організм людини.

Sentinel-5P – це перша місія системи Copernicus, присвячена моніторингу повітря. Ця місія з 2017 р. забезпечує щоденний глобальний моніторинг забруднювачів та парникових газів у атмосфері (концентрація і розповсюдження). З 01.12.2019 р. в Україні (Державне космічне агентство) створено Регіональний дзеркальний сайт «Copernicus», що отримує від Європейського Космічного Агентства і надає у вільний доступ дані по Україні і прикордонним територіям. На 2020-2021 роки запланована агрегація даних з космічного апарату Sentinel-5P: метан (CH₄); монооксид вуглецю (CO); діоксид сірки (SO₂); формальдегід (HCHO); озон (O₃).

У якості корисного навантаження використовується спектрометр TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument). Розрізненість сенсора 5,7-7 км.

Характеристики сенсора TROPOMI наведені в таблиці.

Орбіта космічного апарата приполярна, сонячно-синхронна (висота H=824 км; нахил орбіти i=98,7°; смуга огляду 2600 км; орбітальний цикл 16 діб, 227 орбіт/цикл).

Моніторинг забруднення атмосфери Землі передбачає визначення а атмосфері Землі наступних речовин: озон, метан, формальдегід, аерозолі, чадний газ, діоксид азоту, двоокис сірки.

Метан (CH₄) – парниковий газ, що впливає на тепловий баланс атмосфери на рівні із вуглекислим газом і водяною парою. Природні джерела метану - болота, водні угіддя, де відбувається анаеробне розкладання, діяльність метаногенних бактерій тощо. Антропогенні джерела - рисові поля, тваринництво, витоки газу при видобутку і транспортуванні, полігони твердих побутових відходів, підприємства хімічної промисловості. Sentinel-5P вимірює вміст метану в атмосфері (за безхмарної погоди). Значення CH₄ від Sentinel-5P

узгоджене з еталонними вимірюваннями глобальних наземних мереж TCCON і NDACC та супутниковими даними GOSAT. Середнє відхилення складає близько 1,5%.

Таблиця 1

Характеристики сенсора TROPOMI

Канал №	Спектр	Діапазони	Спектральний діапазон, нм
1	UV1	ультрафіолетовий	270–300
2	UV2		300–320
3	UVIS	видимий	310–405
4	VIS		405–500
5	NIR1	ближній інфрачервоний	675–725
6	NIR2		725–775
7	SWIR	середній інфрачервоний	2305–2385

Діоксид азоту (NO_2) - хімічна сполука, що потрапляє у атмосферу внаслідок спалюванням викопного палива (виробничі промислові процеси, автотранспорт). За даними Sentinel-5P є можливість картографувати забруднення атмосфери NO_2 , який також є індикатором вмісту монооксиду азоту (NO). Щоденні дані дозволяють відстежувати шлейф забруднення та порівнювати концентрацію NO_2 в районах з фоновим значенням та в джерелі. Виміри Sentinel-5P тропосферного NO_2 узгоджуються з наземними даними MAX-DOAS на 14 станціях (проект NIDFORVAL S5PVT AO 28607) та еталонними вимірюваннями, отриманими мережею NDACC. Узгодженість між наборами даних TROPOMI та MAX-DOAS NO_2 становить 0,84 (коефіцієнт кореляції).

Монооксид вуглецю (CO) або чадний газ утворюється внаслідок пожеж та неповного згоряння а автомобільних двигунах і опалюваних приладах, що працюють на природному паливі. Величезна кількість CO потрапляє в атмосферу підчас лісових пожеж. Sentinel-5P дозволяє картографувати

забруднення атмосфери CO. Виміри узгоджуються з еталонними наземними вимірюваннями. Середнє відхилення - близько 10%. Антропогенні джерела - автотранспорт, металургійні підприємства, ТЕЦ, хімічні виробництва. Природні джерела монооксиду вуглецю - виверження вулканів, пожежі, розкладання біоти в результаті життєдіяльності організмів.

Діоксид сірки (SO_2) – один з основних та небезпечних забруднювачів атмосфери, що потрапляє в атмосферу як природним чином, так і в результаті діяльності людини. Природні джерела – виверження вулканів, мікробіологічні процеси окислення сірки, лісові, торфові, вугільні пожежі. Антропогенні джерела – металургійні підприємства, ТЕС, хімічні підприємства, спалювання вугілля та нафти. Основними районами викидів діоксиду сірки є великі промислові центри. При взаємодії з водою та киснем SO_2 утворює сірчану кислоту, яка випадає на Землю з опадами і завдає шкоди навколишньому середовищу. Дані КА Sentinel-5P щодо SO_2 узгоджуються з еталонними вимірюваннями з глобальних наземних мереж та продуктами супутникових даних космічних апаратів OMI та OMPS. Середнє відхилення складає близько 30-50%.

Формальдегід (HCHO) - токсична і канцерогенна хімічна сполука, що забруднює атмосферу. Природні джерела - лісові пожежі, виверження вулканів. Антропогенні джерела - целюлозно-паперові фабрики, автотранспорт, ТЕС, хімічні підприємства. Найчастіше формальдегід утворюється в атмосфері з інших вуглеводнів, наприклад з метану. Sentinel-5P дозволяє картографувати забруднення атмосфери HCHO . Виміри узгоджуються з еталонними наземними вимірюваннями. Середнє відхилення складає близько 40-80%.

Озон (O_3) - газ, алотропна модифікація кисню. В стратосфері, на висоті 20-25 км, озон необхідний для підтримки життя на Землі, оскільки поглинає до 99% небезпечного ультрафіолетового випромінювання Сонця. В тропосфері O_3 є парниковим газом та небезпечним забруднювачем через сильні окислювальні властивості. Дані космічного апарата Sentinel-5P щодо O_3 узгоджуються з

еталонними вимірюваннями глобальних наземних мереж та супутниковими даними GOME-2 та OMP. Систематичне відхилення між даними O_3 з космічного апарату Sentinel-5P та базовими наземними даними не перевищує 2%.

Можливості аерокосмічних технологій для екологічного моніторингу атмосфери Землі наступні.

1. Надання даних від Sentinel-5P трьох рівнів обробки: Level 1B, Level 2, Level 3.

Level 1B - значення спектральної яскравості по восьми каналам, по два в кожному з діапазонів UV, VIS, NIR та SWIR. Окремо поставляються агреговані дані по діапазонах UV-VIS-NIR (UVN) та SWIR.

Level 2 - концентрація основних забруднювачів та парникових газів:

- загальна концентрація O_3 в атмосфері (L2__O3);
- концентрація NO_2 в тропосфері та загальна (L2__NO2);
- загальна концентрація CO (L2__CO);
- загальна концентрація HCHO (L2__HCHO);
- концентрація O_3 в тропосфері (L2__O3_TCL);
- загальна концентрація SO_2 (L2__SO2);
- загальна концентрація CH_4 (L2__CH4);
- індекс аерозольного забруднення (L2__AER_AI).

Level 3 – тематичні карти на основі супутникових даних.

2. Визначення концентрації основних забруднювачів в продуктах (в моль/кв.м) вертикального стовпа тропосфери/атмосфери та ppm.

Висновки

Запропонована технологія проведення аерокосмічного екологічного моніторингу. Визначено особливості застосування наземного інформаційного комплексу в системі екологічного моніторингу. Запропонована технологія екологічного моніторингу атмосфери Землі. Моніторинг забруднення

атмосфери Землі передбачає визначення а атмосфері Землі наступних речовин: озон, метан, формальдегід, аерозолі, чадний газ, діоксид азоту, двоокис сірки.

Застосування дистанційних методів екологічного моніторингу поверхні Землі з космосу базується на тематичному аналізі зображень, отриманих цільовими приладами (радіолокаторами, радіометрами та оптико-електронною технікою) бортового спеціального комплексу, встановленими на космічних апаратах. Для обробки та географічної прив'язки даних з космічного апарату Sentinel-5P необхідне спеціальне програмне забезпечення (формат даних NetCDF). Дані з космічного апарату Sentinel-5P мають низьку розрізненість 5,5-7 км, тому моніторинг забруднення атмосфери є найбільш актуальним на регіональному рівні (область, країна), або глобальному (континент, світ). Можливий щоденний моніторинг, а також усереднення за часом, дає можливість знизити вплив атмосферних умов на виміри. При цьому можливий моніторинг великих надзвичайних ситуацій та побудова анімації з часовим кроком в 1 добу для вивчення динаміки поширення забруднень.

Проведений аналіз свідчить, що до основних антропогенних джерел забруднення атмосфери, які пропонується контролювати з використанням аерокосмічних технологій, відносять викиди продуктів високотемпературного згоряння палива, такі, як вихлопні гази автотранспорту, авіації, викиди промислових, хімічних підприємств та теплових електростанцій. На поширення забруднювачів атмосфери, в свою чергу, впливають атмосферні умови (тиск повітря, швидкість та напрямок вітру, вертикальний розподіл температури).

Список літератури

Богомья, В. І., Дурняк, Б. В., Козелков, С. В., Машков, О. А., & Моргун, О. А. (2008). Наукові проблеми навігації та управління при створенні перспективної космічної інфраструктури України. *Збірник наукових праць: Інститут проблем моделювання в енергетиці, НАН України*, 4, (pp.75-93).

- Бондар, О. І., Корінько, І. В., Ткач, В. М., & Федоренко, О. І. (2005). *Моніторинг навколишнього середовища*. К. Х.:ДЕІ-ГТІ.
- Бондар, О. І., Машков, О. А., Пашков, Д. П., Ващенко, В. М., & Шевченко, Р. Ю. (2018). *Моніторинг стану навколишнього середовища засобами ГІС*. К.: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Мінприроди України.
- Іванюта, С. П., & Качинський, А. В. (2012). *Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків*. К.: НІСД.
- Клименко, М. О., Бондар, О.І., & Пилипенко, Ю. В. (2010). *Моніторинг довкілля*. Херсон: Олді-плюс.
- Лялько, В. І., Попов, М. І., Федоровський, О. Д., & Костюченко, Ю. В. (2006). *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування*. К.: Наукова думка.
- Машков, О. А., Жукаускас, С. В., Нігородова, С. А. (2019). Прогнозування надзвичайних ситуацій щодо зменшення екологічних загроз та оцінювання ризиків з використанням аерокосмічних технологій. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, 4(27). К.: ДЕА. 201-206.
- Мосов, С. П., Машков, О. А., Кравченко, Ю. В., & Савченко, В. А. (2004). *Деклараційний патент на винахід України 68960А, 20031110538*. Київ: МОН України, Департамент інтелектуальної власності.

АНАЛІЗ МОЖЛИВІСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Бондар О.І., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, доктор біологічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кор. НААН України, ректор, м. Київ, Україна

Машков О.А., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, проректор з наукової роботи, м. Київ, Україна

Сав'юк Л.М., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, кандидат наук державного управління, докторант, м. Київ, Україна

Андросюк Ю.Е., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, аспірант, м. Київ, Україна

Abstract

The problem of ecological monitoring with the use of aerospace technologies is considered in the work. Aerospace environmental monitoring facilities have been identified. The analysis of features of the equipment of aerospace ecological monitoring is carried out. The purpose of the rubricator of tasks in the field of ecological monitoring is formulated.

On the basis of the analysis of the literature and theoretical scientific researches the distribution of the ecological problems which are solved by means of space systems of supervision and reception of directions of ecological distribution of control of parameters of environment is carried out. As a result of these researches the list of ecological problems which can be solved in the course of ecological

monitoring by means of space systems of remote sensing of the Earth and display of the received data in geoinformation systems is defined.

Studies using the results of observations based on Earth's remote sensing systems provide a space image of various objects (by spatial, radiometric, spectral and temporal properties) and can determine their transformation and changes over time.

The use of the developed scientific and practical results makes it possible to: improve the quality of environmental monitoring with the help of space observation systems; to improve the monitoring system of continuous data acquisition to assess the risks of man-made environmental pollution; to use space images in the system of ecological monitoring of space observation systems for modeling and forecasting of the state of the environment.

The urgency of creating a convenient and complete classifier of thematic tasks is also increasing due to the expansion of the number of users due to numerous commercial and public organizations, which often do not have sufficient knowledge, experience and resources to independently process remote sensing data.

Вступ

Результати дослідження (Бондар, Корінько, Ткач та Федоренко, 2005) підтверджують, що «одним із основних напрямів підвищення екологічної безпеки є контроль параметрів навколишнього природного середовища, пошук та локалізація антропогенних впливів на стан довкілля, визначення епіцентру та зон впливу, а також характеру забруднення». У останні роки спостерігається розширення великомасштабної діяльності людини, пов'язаної з розвитком небезпечних високотехнологічних процесів (фізико-хімічних, теплових, радіаційних та ін.), що призводить до значної зміни стану природних умов довкілля. При цьому ступінь впливу і масштаби наслідків залежать від інтенсивності та характеру самого забруднення і стійкості навколишнього середовища до антропогенного навантаження.

Для контролю за параметрами довкілля і визначення ступеня впливу техногенного забруднення застосовують екологічний моніторинг, який включає спостереження за подіями, процесами, явищами, а також здійснює оцінювання і прогнозування змін стану природного середовища на основі різних методів. На сьогодні класичні методи контролю (контактні і біологічні), за допомогою яких оцінюють стан навколишнього природного середовища, не дають змоги виконати поставлені завдання в повному обсязі та в заданий час, через розширення масштабів техногенного впливу і збільшення часу обробки отриманих результатів. Згідно з останніми дослідженнями що на перший план виходять дистанційні методи моніторингу, пов'язані насамперед із використанням можливостей космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у оптичному та радіо діапазонах спектру (Лялько, Попов, Федоровський та Костюченко, 2006). Застосування космічних систем спостереження для проведення екологічного моніторингу є одним з основних напрямів застосування дистанційних методів для визначення стану і характеру навколишнього середовища. Це дає змогу виявляти стан розвитку та антропогенний вплив на навколишнє середовище, зокрема визначати його характер (наприклад, викиди в атмосферу) та його просторові характеристики з необхідною оперативною і просторовою повнотою спостереження, а також комплексно оцінювати: властивості впливу, розміри, концентрацію, прогнозування наслідків впливу, зміст взаємодії і спостерігати за антропогенною зоною.

Результати дослідження (Пашков та ін., 2018) підтверджують, що «забезпечення своєчасного отримання інформації та її повноти під час проведення екологічного моніторингу є актуальним і важливим напрямком досліджень, пов'язаним із розробленням рубрикатору екологічних завдань щодо своєчасного комплексного виявлення і визначення характеру техногенного впливу на основі обробки космічних знімків (КЗ) для забезпечення екологічної безпеки з використанням космічних систем ДЗЗ».

Крім цього, космічні системи ДЗЗ можуть здійснювати безперервний моніторинг території, що дає змогу вирішувати деякі важливі екологічні завдання контролю та оцінювання раптових впливів, пов'язаних із викидами в навколишнє середовище (атмосферне повітря природних зон та територій, промислових підприємств, у разі виникнення надзвичайних ситуацій та інших випадків).

На сучасному етапі розвитку розвинутих країн світу вже створені та активно використовуються різні Програми збору та обробки геоданих (GEOSS (Global Earth Observation System of Systems), GMES (Global Monitoring for Environment and Security), INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) в межах яких розкриваються класифікатори (рубрикатори) завдань, в яких висвітлюються можливості космічного спостереження за різними об'єктами, на основі дешифрування космічних знімків.

Згідно з проведеними дослідженнями для ефективного дешифрування космічних зображень на сьогоднішній день активно розвиваються підходи, пов'язані із обробкою отриманих даних у різних спектральних діапазонах під час проведення екологічного моніторингу дистанційними методами (Машков, Іщенко, Пекарев та Омельчук, 2004). При цьому із кожного датчика можна отримати цифрові зображення підстильної поверхні в різних спектрах електромагнітного випромінювання. Інформація про зміни поверхні сцени може міститися у зміні геометричних характеристик, просторових розподілів рівнів яскравостей, а також у спектральних сигнатурах. Щоб отримати максимальну кількість інформації про зміну і стан процесів природних змін та антропогенного впливу, які відбуваються в районі спостереження, можна вдаватися до процедури комплексування отриманих даних від різних методів обробки космічних знімків. В роботі показані діапазони випромінювань для якісної обробки радіометричних, геометричних та багатоспектральних складових на етапі дешифрування космічних зображень.

Згідно з оцінкою багатоспектральних методів дистанційного зондування Землі в задачах природокористування «зважаючи на випадковість природних процесів та антропогенних впливів на природні умови, для підвищення достовірності оцінки стану довкілля під час виконання завдань екологічного моніторингу дистанційними методами, а також можливості розширення інформаційних властивостей космічних систем ДЗЗ за техногенним забрудненням довкілля виникає необхідність розробки рубрикатору екологічних завдань для своєчасного проведення моніторингу та оцінювання на основі використання КЗ для побудови екологічних карт, що і визначило основні напрями наукових досліджень» (Лялько та ін., 2006).

Робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання дослідження, пов'язаного з розробленням рубрикатору екологічних завдань для проведення екологічного моніторингу стану довкілля та оцінювання техногенного забруднення територій на основі застосування космічних знімків та обробки космічних зображень. Тому метою роботи є створення науково-методичного та організаційно-планового підґрунтя (розробка рубрикатору завдань у сфері екологічного моніторингу що вирішуються з використанням космічних систем ДЗЗ та ГІС) для виконання завдань Національного центру управління та випробувань космічних засобів робіт з екологічного моніторингу за даними ДЗЗ відповідно до потреб органів державної влади України, а також виконання науково-прикладних досліджень у рамках загальнодержавних науково-технічних програм та міжнародних проектів.

Основний текст

1. Завдання екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій

Одним з основних завдань Національної цільової науково-технічної космічної програми України до 2030 року, є розвиток, в першу чергу, Національної системи дослідження Землі з космосу. Результати дослідження

(Машков, Жукаускас та Нігородова, 2019) підтверджують, що «використання космічних систем (КС) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) на основі застосування бортових оптико-електронних систем (ОЕС) космічних апаратів (КА), дозволяє вирішувати, в першу чергу, завдання пов'язані із спостереженням об'єктів та екологічним моніторингом земної поверхні». Згідно з останніми дослідженнями завдяки космічним знімкам можна здійснювати екологічний контроль об'єктів та стежити за процесами, які відбуваються на земній поверхні, і за результатами їх дешифрування можна проводити аналіз геохімічної інформації та робити висновки відносно поточної екологічної ситуації, а також контролювати стан окремих небезпечних об'єктів (Машков, Жукаускас та Нігородова, 2020).

Результати дослідження (Клименко, Бондар та Пилипенко, 2010) підтверджують, що «Система екологічного моніторингу повинна накопичувати, систематизувати і аналізувати наступну інформацію: про стан навколишнього середовища; про причини спостережуваних і вірогідних змін стану (тобто про джерела і чинники впливу); про допустимість змін і навантажень на середовище в цілому; про існуючі резерви біосфери».

Таким чином, в систему екологічного моніторингу входять системи спостереження за станом елементів біосфери і спостереження за джерелами і чинниками антропогенного впливу. Тому, необхідно провести аналіз технічних можливостей бортового спеціального комплексу для використання космічних систем ДЗЗ при проведенні екологічного моніторингу.

Відповідно до приведених визначень і покладених на систему функцій, моніторинг включає три основні напрями діяльності: спостереження за чинниками впливу і станом середовища; оцінювання фактичного стану середовища; прогнозування стану навколишнього природного середовища і оцінювання прогнозованого стану. Слід взяти до уваги те, що сама система моніторингу не передбачає діяльності щодо управління якістю середовища, але є джерелом інформації необхідної для ухвалення екологічно значущих рішень.

Згідно з останніми дослідженнями основні завдання екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій: спостереження за джерелами антропогенного впливу; спостереження за чинниками антропогенного впливу; спостереження за станом природного середовища і процесами, що відбуваються в ньому під впливом антропогенних чинників; оцінювання фактичного стану природного середовища; прогнозування зміни стану природного середовища під впливом антропогенних чинників та оцінка прогнозованого стану природного середовища (Бондар, Машков, Пашков та Ващенко, 2018).

Екологічний моніторинг навколишнього середовища може проводитися на різних рівнях просторової організації: на рівні промислового об'єкту, міста, області, краю, регіону, а також на національному рівні.

Відповідно до приведених визначень і покладених на систему функцій, моніторинг включає декілька основних процедур (Клименко та ін., 2010): виділення (визначення) об'єкту спостереження; обстеження виділеного об'єкту спостереження; створення інформаційної моделі об'єкту спостереження; планування вимірювань; оцінювання стану об'єкту спостереження та ідентифікація його інформаційної моделі; прогнозування зміни стану об'єкту спостереження; представлення інформації в зручній для користувача формі і доведення її до споживача.

Таким чином, в систему екологічного моніторингу входять спостереження за станом елементів біосфери і спостереження за джерелами і чинниками антропогенного впливу. Характер і механізм узагальнення інформації про екологічну обстановку під час її переміщенні по ієрархічних рівнях системи екологічного моніторингу визначають за допомогою поняття інформаційного портрета екологічної обстановки. Розпізнавальна здатність інформаційного портрета залежить від масштабу використовуваної картооснови.

2. Об'єкти аерокосмічного екологічного моніторингу

Згідно з проведеними дослідженнями при розробці проектів екологічного моніторингу необхідна така інформація (Клименко та ін., 2010):

1. Джерела надходження забруднюючих речовин в навколишнє природне середовище – викиди забруднюючих речовин в атмосферу промисловими, енергетичними, транспортними та іншими об'єктами; скидання стічних вод у водні об'єкти; поверхневі змиви забруднюючих і біогенних речовин в поверхневі води суші і моря; внесення на земну поверхню та (або) в ґрунтовий шар забруднюючих і біогенних речовин разом з добривами і отрутохімікатами під час сільськогосподарської діяльності; місця поховання і складування промислових і комунальних відходів; техногенні аварії, що приводять до викиду в атмосферу небезпечних речовин та (або) розливу рідких забруднюючих і небезпечних речовин тощо.

2. Перенесення забруднюючих речовин – процеси атмосферного перенесення; процеси перенесення і міграції у водному середовищі.

3. Процеси ландшафтно-геохімічного перерозподілу забруднюючих речовин – міграція забруднюючих речовин за ґрунтовим профілем до рівня ґрунтових вод; міграція забруднюючих речовин по ландшафтно-геохімічному сполученню з урахуванням геохімічних бар'єрів і біохімічних кругообігів; біохімічний кругообіг тощо.

4. Дані про стан антропогенних джерел емісії – потужність джерела емісії і місцезнаходження його, гідродинамічні умови емісії забруднювачів у навколишнє середовище.

У зоні впливу джерел забруднення організовують систематичне спостереження за наступними об'єктами і параметрами навколишнього природного середовища:

- атмосфера: хімічний і радіонуклідний склад газової і аерозольної фази повітряної сфери; тверді і рідкі опади (сніг, дощ) та їх хімічний і радіонуклідний склад; теплове забруднення і вологість атмосфери;

- гідросфера: хімічний і радіонуклідний склад поверхневих вод (річки, озера, водосховища і т. д.), ґрунтових вод, суспензій і донних відкладів в природних водостоках і водоймах; теплове забруднення поверхневих і ґрунтових вод;

- ґрунт: хімічний і радіонуклідний склад родючого шару ґрунту;

- біота: хімічне і радіоактивне забруднення сільськогосподарських угідь, рослинного покриву, ґрунтових зооценозів, наземних співтовариств, домашніх і диких тварин, птахів, комах, водних рослин, планктону, риб;

- урбанізоване середовище: хімічний і радіаційний фон повітряного середовища населених пунктів; хімічний і радіонуклідний склад продуктів харчування, питної води тощо;

- населення: характерні демографічні параметри (чисельність і щільність населення, народжуваність і смертність, віковий склад, захворюваність, рівень уродженої потворності і аномалій); соціально економічні чинники.

Системи моніторингу природних середовищ і екосистем включають засоби спостереження екологічної якості повітряного середовища, екологічного стану поверхневих вод і водних екосистем, екологічного стану геологічного середовища і наземних екосистем. Для вирішення поставлених завдань екологічного моніторингу приземного шару можна використовувати космічні апарати дистанційного зондування Землі, які зв'язують в єдину мережу інформаційного простору, що може бути сформований на основі використання сучасних геоінформаційних технологій.

3. Особливості апаратури аерокосмічного екологічного моніторингу

Продовжуючи аналізувати джерела (Богом'я, Дурняк, Козелков, Машков та Моргун, 2008), можна зробити висновок що ефективність функціонування космічної системи спостереження залежить від можливостей розпізнавання оптико-електронними системами процесів та об'єктів у просторі. На сьогоднішній день з'явилися нові підходи, які не потребують високого

просторового розрізнення, а саме – застосовують методи поліпшення якості обробки багатоспектральних (гіперспектральних) космічних знімків, отриманих в результаті використання спектрометричних камер. При аналізі сучасних технологій побудови оптико-електронних систем (Машков, 2004) встановлено, що особливістю використання видимого діапазону ϵ , в першу чергу, здатність відбиття об'єктом сонячної енергії, яка характеризує хімічний склад його поверхні. Це дає можливість при проведенні відеоспектральної зйомки отримувати зображення в різних зонах спектру. При цьому, з декількох спектральних зон можна синтезувати не один, а безліч варіантів зображення що відображають екологічну обстановку. Кожен варіант такого багатоспектрального зображення містить свою окрему інформацію про стан земної поверхні. При цьому, основна увага приділяється не просторовій здатності розподілу оптико-електронних камер, а виявленню або висвітленню змін спектрального складу отримуваного електромагнітного випромінювання. Так на одному краще виділяються дороги і споруди, на іншому - водні поверхні та їх вміст, а на третьому краще видно деталі рослинності за допомогою вегетаційного індексу.

Згідно з останніми дослідженнями побудова орбітального угруповання космічних апаратів оптико-електронного спостереження надвисокої розпізнавальної здатності відбувається на сонячно-синхронних орбітах (табл. 1) (Лялько, 2006). Це дає можливість, щоб супутник завжди пролітав над однією і тією ж територією на заданій широті в один і той же місцевий сонячний час. Таким чином, для заданих зображень отримуваних з КА, може бути досягнуте однакове сонячне освітлення (за винятком сезонних змін). Постійність освітленості і взаємного розташування супутника і Сонця відносно спостережуваної території створюють сприятливі умови фотометричної обробки космічних знімків. При такому створенню космічних систем спостереження за поверхнею Землі застосовують комплексне використання приладів, що працюють в різних спектральних діапазонах. При цьому

відповідно до спектральної щільності енергетичної яскравості характеристик об'єкту можна визначити спектральні діапазони для проведення екологічного моніторингу за допомогою використання оптико-електронних систем спостереження в космічних системах ДЗЗ.

Таблиця 1

Відповідність завдань щодо проведення екологічного моніторингу до вибору спектральних діапазонів оптико-електронними системами

№ з/п	Завдання щодо проведення екологічного моніторингу		Спектральний діапазон	Тип багатоспектрального пристрою (сенсор)
	Загальне	Спеціальне		
1	2	3	4	5
1.	Кордон між земною поверхнею і хмарами	Хлорофіл рослин	620-670 нм	MSS, HSI, HRVIR, ШМСА, ГСА
		Хмарність і рослинність	840-780 нм	
2.	Властивість земної поверхні і хмар	Відмінності в ґрунтах та рослинності	460-480 нм	RBV, TM, MODIS, HRVIR, ШМСА, ГСА
		Зелена рослинність	545-568 нм	
		Властивості листового покриву	1230-1250 нм	
		Відмінності снігового покриву (хмарності)	1630-1653 нм	
		Параметри земного покриву та хмарності	2100-2155 нм	
3.	Колір океану	Спостереження за хлорофілом	405-420 нм, 437-450 нм, 405-420 нм, 405-420 нм	TM, MSS, HRV, HRVIR
		Опади	546-556 нм	
		Опади, атмосфера	660-673 нм	
		Флюоресценція хлорофілу	673-683 нм	
		Властивості аерозолів	743-753 нм	
		Властивості аерозолів та параметри атмосфери	860-880 нм	
4.	Атмосфера і хмари	Параметри хмарності та атмосфери	890-920 нм, 915-965 нм	MSS, ETM, HRG
		Пір'яні хмари	1,36-1,39 мкм	
		Вологість в середній частині тропосфери	6,53-6,9 мкм	
		Вологість у верхній частині тропосфери	7,17-7,48 мкм	
		Температура поверхні Землі	8,4-8,7 мкм	

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
5.	Теплові властивості	Температура морської поверхні	3,66-3,8 мкм	MTI, TIMS
		Лісові пожежі, вулкани	3,92-3,98 мкм	
		Температура хмар та земної поверхні	3,92-3,98 мкм, 4,02-4,08 мкм, 10,78-11,3 мкм, 11,76-12,3 мкм	
		Температура в тропосфері, склад хмар	4,43-4,55 мкм	
		Аналіз загального вмісту озону	9,58-9,88 мкм	
		Висота і склад хмар	13,18-13,49 мкм, 13,48-13,79 мкм, 13,78-14,09 мкм, 14,08-14,39 мкм	

В табл. 2 представлені основні завдання щодо проведення екологічного контролю та моніторингу на основі застосування космічних систем ДЗЗ з використанням сучасних оптико-електронних засобів спостереження. При цьому необхідна цільова поетапна обробка багатоспектральних космічних знімків в наземних програмно-апаратних комплексах екологічного спостереження. Одним із можливих програмних продуктів є геоінформаційні системи (ГІС), які мають інтеграційні властивості і дають можливість створити на їх основі потужний інструмент для збирання, зберігання, систематизації, аналізу і представлення інформації. Геоінформаційні системи мають такі характеристики, які забезпечують необхідне відображення, прогнозування та управління моніторинговою інформацією. Тільки з появою ГІС повною мірою реалізується можливість цілісного, узагальненого погляду на комплексні екологічні проблеми навколишнього середовища. ГІС стає основним елементом систем моніторингу.

Рекомендовані сфери застосування оптико-електронних систем ДЗЗ
надвисокої роздільної здатності (< 1 м)

Найменування видів робіт	Найменування космічних апаратів				
	GeoEye - 1	WorldView - 1	QuickBird	Ресурс-ДК1	IKONOS
Створення і оновлення топографічних планів масштабів :					
1:2000	•	•			
1:5000	•	•	•		•
Створення і оновлення топографічних і спеціальних тематичних карт масштабу :					
1:10 000	•	•	•	•	•
1:25 000			•	•	•
1:50 000				•	
Створення висотної основи					
Цифрові моделі місцевості, цифрові моделі рельєфу	•	•			•
Інвентаризація і моніторинг стану об'єктів інфраструктури видобування і транспортування нафти і газу					
Планування і контроль розвитку інфраструктури	•	•	•	•	•
Оперативне виявлення несанкціонованих врізань в магістральні трубопроводи і моніторинг появи об'єктів в охоронних зонах	•	•	•	•	•
Моніторинг екологічного стану територій видобування, переробки і транспортування нафти і газу	•	•	•	•	•
Моніторинг аварійних розливів нафти	•	•	•	•	•
Інвентаризація і моніторинг стану і об'єму кар'єрів і штабелів гідронамивання піску	•	•			•
Пошук і прогнозування родовищ корисних копалин					
Вибір напрямів і обґрунтування перспективних площ під пошукові роботи, прогнозування і виявлення пасток нафти і газу	•		•		•
Оцінка загроз тектонічного і сейсмологічного характеру	•	•			
Сільське господарство					
Виявлення і прогнозування несприятливих екологічних явищ, пов'язаних з сільськогосподарським природокористуванням	•	•	•	•	•
Лісове господарство					
Визначення породного складу, стану лісового масиву	•	•	•	•	•
Визначення висоти лісових масивів	•	•			•
Виявлення і моніторинг вирубувань, гару і вітровалу		•	•	•	•
Контроль лісовідновлювальних робіт					
	•	•	•	•	•

Найменування видів робіт	Найменування космічних апаратів				
	GeoEye - 1	WorldView - 1	QuickBird	Ресурс-ДКІ	IKONOS
Водне господарство і ресурси					
Моделювання процесів затоплення території під час повеней	•	•			•
Визначення біологічної продуктивності і стану водойм	•		•		•
Моніторинг водного і льодового режимів водойм	•	•			
Моніторинг стану водозахисних зон	•	•	•	•	•
Вивчення ландшафтної структури, природних ресурсів і типів природокористування					
Побудова ландшафтних карт, дистанційне вивчення ландшафтів	•		•		•
Дослідження і моніторинг регіональної структури природокористування	•	•	•	•	•
Екологічні дослідження					
Оцінка масштабів прояву і темпів розвитку ерозійних процесів	•	•	•	•	•
Спостереження за швидкозмінними екосистемами	•	•			
Виявлення локальних джерел забруднення	•	•	•	•	•
Транспорт, комунікації, зв'язок					
Оперативне картографування доріг, що з'явилися, вивчення транспортної доступності	•	•	•	•	•
Моніторинг будівництва і реконструкції об'єктів	•	•	•	•	•
Виявлення зон видимості радіосигналу по ЦММ	•	•			•
Муніципальне управління					
Моніторинг фактичного використання земель	•	•	•	•	•
Моніторинг транспортної мережі міста	•	•	•	•	•
Інвентаризація зелених насаджень	•	•	•	•	•
Рекреація, спорт і туризм					
Створення реалістичних тривимірних моделей об'єктів туризму і спортивних споруд	•	•	•		•
Моніторинг будівництва і стану об'єктів туризму, відпочинку і спорту	•	•	•	•	•

Найменування видів робіт	Найменування космічних апаратів				
	GeoEye - 1	WorldView - 1	QuickBird	Ресурс-ДКІ	IKONOS
Право і дотримання законності					
Виявлення незаконних посівів наркотичних культур	•		•		•
Вирішення судових суперечок, пов'язаних із землекористуванням	•	•	•		•
Визначення зон несанкціонованих будівельних робіт і самовільного зайняття земельних ділянок	•	•	•	•	•

4. Призначення рубрикатора задач у сфері екологічного моніторингу

Незважаючи на те що різні типи даних ДДЗ створюються переважно з урахуванням актуальних і потенційних потреб кінцевих користувачів, існує базова проблема обмеженості вимірювальних властивостей отримуваних інформаційних продуктів. Тому в умовах природної різноманітності спостережуваних об'єктів і явищ на земній поверхні для повноцінного вирішення конкретного тематичного завдання часто-густо потребує використання результатів різнотипних дистанційних вимірів разом з залученням додаткових джерел даних. В цьому відношенні використання класифікаторів інформаційних продуктів, на основі яких функціонують у тому числі сервіси розповсюдження продуктів ДЗЗ (наприклад, портал Earthdata EOS DIS, <https://earthdata.nasa.gov>), дозволяє споживачеві отримати лише обмежене рішення проблеми. В той же час активний розвиток засобів ДЗЗ, спостережуваний останніми роками (створення супутникових угруповань компаній Planet, DigitalGlobe, UrtheCast та ін.), де можливе реалізацію нових технологій тематичної обробки з урахуванням оптимального використання усіх доступних алгоритмів, програмного забезпечення і різних типів знімальної апаратури.

Вказані обставини роблять пріоритетним проблемно-орієнтований підхід до використання даних ДЗЗ. Таким чином, разом з систематизацією тематичних продуктів ДЗЗ зростає актуальність розробки класифікатора тематичних завдань, при розв'язанні яких використання початкових даних і продуктів ДЗЗ виправдане і ефективне з позиції отримання повноцінного рішення. При цьому класифікація тематичних завдань з акцентом на потребі кінцевих тематичних користувачів повинна враховувати різнотипні, мультимасштабні, високорозмірні, високоперіодичні, ізомерні і нелінійні характеристики сучасних так званих великих даних ДЗЗ.

Серед зарубіжних реалізацій окремо варто виділити класифікатор тематичних задач UN-SPIDER(un-spider.org/space-application-matrix). Він не описує всього комплексу тематичних завдань, оскільки розроблений спеціально для завдань попередження і ліквідації наслідків надзвичайних подій, проте інтерес представляє його організація у вигляді матриці. Такий підхід дозволяє розширити можливості по систематизації і відображенню існуючого різноманіття тематичних завдань, що вирішуються з використанням ДЗЗ.

Дуже перспективною є онтологічна форма представлення усієї сукупності різнорідній інформації про сфери застосування даних ДЗЗ. Гнучка структура у вигляді логічно пов'язаних між собою класів дозволяє збудувати семантичну мережу знань будь-якої складності. Як приклад практичній реалізації можна привести онтологію SWEET (Semantic Web for Earth and Environmental Terminology, <https://sweet.jpl.nasa.gov/>) лабораторії реактивного руху NASA.

Класифікація тематичних завдань (детально сформульованих і обґрунтованих потреб тематичних споживачів), по суті, базується на класифікації технологій отримання, верифікації і застосування інформаційних продуктів, що створюються дані ДЗЗ. Ключову роль грають аналіз і оцінка споживчих властивостей.

Висновки

В роботі розглянуто завдання екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій. Визначено об'єкти аерокосмічного екологічного моніторингу. Здійснено аналіз особливостей апаратури аерокосмічного екологічного моніторингу. Сформульовано призначення рубрикатора задач у сфері екологічного моніторингу.

На основі аналізу літератури та теоретичних наукових досліджень здійснено розподіл екологічних завдань що вирішуються за допомогою космічних систем спостереження та отримання напрямків екологічного розподілу контролю параметрів навколишнього природного середовища. У результаті цих досліджень визначено перелік екологічних завдань, що можуть бути вирішені в процесі екологічного моніторингу за допомогою космічних систем дистанційного зондування Землі та відображення отриманих даних в геоінформаційних системах.

Проведені дослідження за допомогою використання результатів спостереження на основі космічних систем дистанційного зондування Землі дають представлення у вигляді космічного знімка відображення різних об'єктів спостереження (за просторовими, радіометричними, спектральними та часовими властивостями) та можуть визначити їх трансформацію та зміни за певний період часу.

Використання розроблених науково-практичних результатів дає змогу: підвищити якість проведення екологічного моніторингу за допомогою космічних систем спостереження; удосконалити моніторингову систему постійного отримання даних для оцінювання ризиків впливу техногенного забруднення довкілля; використовувати в системі екологічного моніторингу космічних систем спостереження космічні знімки для моделювання та прогнозування стану навколишнього природного середовища.

Актуальність створення зручного і повного класифікатора тематичних завдань підвищується також у зв'язку з розширенням числа користувачів за

рахунок численних комерційних і громадських організацій, які частенько не мають достатніх знань, досвіду і ресурсів для самостійної обробки даних дистанційного зондування Землі.

Список літератури

- Богом'я, В. І., Дурняк, Б. В., Козелков, С. В., Машков, О. А., & Моргун, О. А. (2008). Наукові проблеми навігації та управління при створенні перспективної космічної інфраструктури України. *Збірник наукових праць: Інститут проблем моделювання в енергетиці, НАН України*, 46, (pp. 75-93).
- Бондар, О. І., Корінько, І. В., Ткач, В. М., & Федоренко, О. І. (2005). *Моніторинг навколишнього середовища*. К. Х.:ДЕІ-ГТІ.
- Бондар, О. І., Машков, О. А., Пашков, Д. П., & Ващенко, В. М. (2018). *Моніторинг стану навколишнього середовища засобами ГІС*. К.: ДЕА.
- Клименко, М. О., Бондар, О. І., & Пилипенко, Ю. В. (2010). *Моніторинг довкілля*. Херсон: Олді-плюс.
- Лялько, В. І., Попов, М. О., Федоровський, О. Д., & Костюченко, Ю. В. (2006). *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування*. К.: Наукова думка.
- Машков, О. А., Жукаускас, С. В., & Нігородова, С. А. (2019). Прогнозування надзвичайних ситуацій щодо зменшення екологічних загроз та оцінювання ризиків з використанням аерокосмічних технологій. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 4(27). 201-206.
- Машков, О. А., Жукаускас, С. В., & Нігородова, С. А. (2020). Прогнозування надзвичайних ситуацій щодо зменшення екологічних загроз та оцінювання ризиків з використанням аерокосмічних технологій. *Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки»*, Україна, Кременчук: КНУ ім. М. Остроградського.

- Машков, О. А., Іщенко, Д. А., Пекарев, Д. В., & Омельчук, О. В. (2004). Прогностичний аналіз тенденцій використання космічних систем дистанційного зондування Землі для глобального моніторингу в інтересах національної безпеки. *Вісник ЖДТУ*, 3(30), 62-67.
- Пашков, Д. П., Бондар, О. І., Машков, О. А., Шевченко, Р. Ю., Патлашенко, Ж. І., & Тимошенко, М. М. (2018). *Рубрикатор завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем ДЗЗ та ГІС (нормативно-методичний документ)*. К.: ДЕА.

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ
ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ КОНТРОЛЮ
ЕКОЛОГІЧНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ
ТЕХНОЕКОСИСТЕМ**

Бондар О.І., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, доктор біологічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кор. НААН України, ректор, м. Київ, Україна

Жукаускас С.В., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, здобувач, м. Київ, Україна

Нігородова С.А., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, здобувач, Київ, Україна і.

Abstract

The paper considers the features of determining the concentrations of suspensions and suspended solids in water by spectral reflection. Suggestions for evaluating the effectiveness of the method of satellite monitoring of intensive algae blooms (monitoring of planktonic algae clusters) are given. The technology of flood and flood risk assessment using satellite observation data is proposed.

Studies of the interaction between terrestrial and aquatic ecosystems have shown that the NDVI vegetation index can be used as an ecological indicator for both coastal (NDVIL) and 50-70 km of coastal zone (NDVIW). The distribution for the land can be judged on the parameters of the ecological state. Spatial distributions for the aqueous medium correlate with such optical-biological parameters as the concentration of chlorophyll-a and mineral suspension, water transparency and related characteristics.

To convert raster data of thermal radiation into temperature distribution, it is proposed to use the inverse Planck equation for thermal radiation of "gray body". This transformation allows, taking into account the coefficient of thermal radiation, to reflect the ability of different surfaces to radiate heat. The obtained thermal maps allow to study the heterogeneity of temperature fields of techno-ecosystems and show the efficiency of new structures for regulating the thermal regime in cooling reservoirs.

Creation of an automated system of ecological monitoring of aquatic ecosystems involves formalization of classes of water quality monitoring data processing system due to formation and refinement of typical UML-models of classes of various aspects of system functioning and purpose: object models, subject models, methodological (metrological) monitoring models. water quality, models of technical support, models of information support. Algorithmic and software for the application of the proposed methods of automated synthesis of software code of information systems for water quality monitoring provides the ability to automatically synthesize the relevant tables, forms and relationships between data in accordance with user requirements for the system being designed. Calculations that accompany sampling are carried out using separate subroutines, which allows you to use the GIS module to visualize the results of processing control data on discharges and water status and databases of the automated environmental monitoring system on the GIS map of Ukraine as a whole large city.

Вступ

Результати дослідження Барановської, Бокова, Бондаря та Рудьк (2004) підтверджують, що «Проблема антропогенного забруднення природних вод завжди була і буде актуальною». Для контролю цього процесу в Україні функціонує мережа підрозділів Держекоінспекції України (ДЕІ). В результаті здійснення контролю накопичується велика кількість даних, які підлягають обробці та узагальненню. Увесь процес реєстрації даних досить трудомісткий,

тривалий і не виключає можливість помилок та описок. Для підвищення надійності ведення, обробки та представлення даних про стан забруднення довкілля є необхідним створення спеціальної інформаційної системи.

Згідно з останніми дослідженнями для підвищення якості, оперативності, комплексності та ефективності системи моніторингу довкілля необхідно поєднувати сучасні інноваційні засоби і технології: автоматизовані та автоматичні вимірювальні системи; аерокосмічні дослідження з використанням як супутників, так і літаків та безпілотних літальних апаратів; системи автоматизованої обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ); геоінформаційні аналітичні системи для обробки інформації, з урахуванням закономірностей її зміни і у часі, і у просторі; комплексні багаторівневі системи моніторингу і контролю стану довкілля, які забезпечуватимуть інтегрування та комплексний аналіз даних про стан усіх складових довкілля як окремих регіонів, так і усієї країни в цілому з можливістю обміну даними з аналогічними міжнародними системами моніторингу; методи та технології аналізу даних моніторингу довкілля та визначення рівня техногенної та екологічної безпеки та ін. (Биченок, Іванюта та Яковлєв, 2008).

Результати дослідження Машкова, Фролова, Жукаускаса та Нігородової (2019) підтверджують, що «у теперішній час проблема інтенсивного «цвітіння» води дуже гостро стоїть для самих різних акваторій». Відомо, що інтенсивне цвітіння, характерно, перш за все, для водойм зі слабкими течіями зокрема таких, як каскад Дніпровських водосховищ. В останній час цей фактор є характерний й для інших водних техноекосистем. «Цвітіння» води є наслідком масового розвитку мікроскопічних водоростей (зазвичай синьо-зелених), що супроводжуються значним погіршенням якості води. Причиною цього явища є цілий комплекс факторів, таких як зміна клімату, надходження в воду великої кількості різних мінеральних і органічних речовин та пов'язане з інтенсифікацією господарської діяльності людини, а самі - надходженням у водойми забруднених біогенними речовинами комунальних чи

сільськогосподарських стоків, мінеральних добрив, синтетичних миючих засобів, тощо.

Так сталося, що водойми-охолоджувачі атомних (АЕС) та теплових (ТЕС) електростанцій є дуже важливими об'єктами водокористування. Тому контроль за допомогою систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є актуальним у двох аспектах. По-перше, це контроль гідротермічного режиму, розробка пропозицій щодо покращення здатності до охолодження циркуляційних вод. По-друге, це контроль екологічного стану, а саме рівня цвітіння та заростання вищими водними рослинами. Окремою проблемою є контроль за допомогою ДЗЗ динаміки формування ветленд-екосистеми на місці існування водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС. Також контроль термічного режиму є важливим також на об'єктах гідроенергетики на р. Дністер, з огляду на особливості конструкції та режиму експлуатації ГЕС.

Мета дослідження полягає у створенні передумов попередження негативного впливу на довкілля та підвищення екологічної безпеки регіонів України шляхом застосування методики оцінювання екологічних загроз та ризиків з використання аерокосмічних технологій та експертних оцінок. Дослідження спрямовані на попередження негативного впливу на довкілля та підвищення екологічної безпеки регіонів України з використанням технології здійснювання екологічного оцінювання загроз та ризиків в регіонах України які пов'язані з водними техноекосистемами.

Основний текст

1. Особливості визначення концентрацій суспензій і зважених речовин в воді за спектральними показниками відбиття

Результати дослідження Мокіна В.Б. та Мокіна Б.І. (2007) підтверджують, що « визначення концентрацій суспензій і зважених речовин в воді можливе за спектральними показниками відбиття». Дослідження взаємодії екосистем суходолу і водних об'єктів показали, що індекс вегетації *NDVI* може

використовуватися як екологічний індикатор як для берегової ($NDVI_L$), так і для 50-70 км прибережної зони ($NDVI_W$). По розподілу для суходолу можна судити про параметри екологічного стану. Просторові розподіли для водного середовища корелюють з такими оптико-біологічними параметрами як концентрація хлорофілу-а і мінеральної суспензії, прозорість води і пов'язані з ними характеристики. Взаємозв'язок значень $NDVI_L$ і $NDVI_W$ проявляється в загальній тенденції збільшення $NDVI_W$ і, отже, концентрації домішок у водному середовищі при збільшенні $NDVI_L$ для суходолу.

За даними вимірів $NDVI_W$ оптичними супутниковими сенсорами і відбору проб на концентрацію суспензії у воді була отримана залежність концентрації сумарної суспензії C_S від величини $NDVI_W$ (рис. 1).

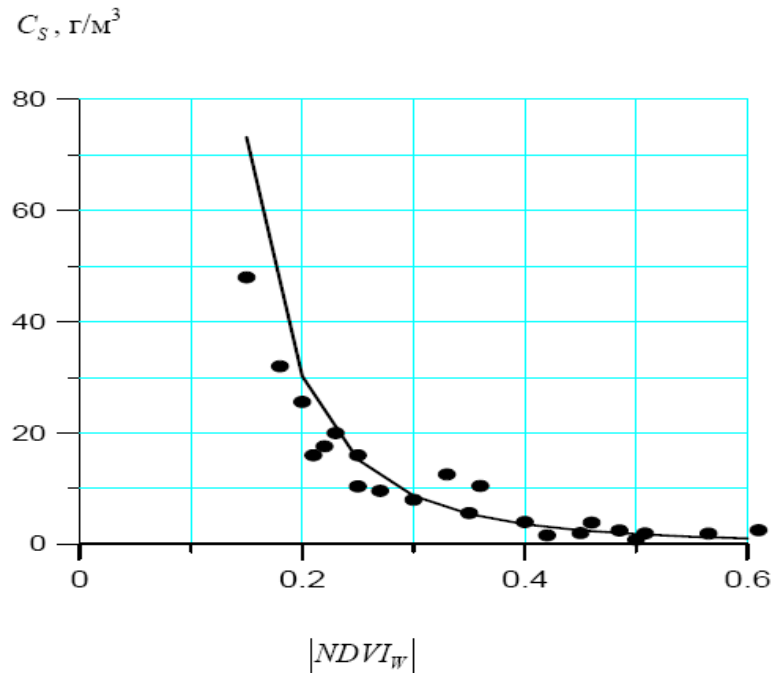


Рис. 1. Залежність сумарної концентрації суспензії від величини $NDVI_W$ (емпірична

залежність за даними супутникових вимірювань: $C_S = 0,214|NDVI_W|^{-3,07}$)

В даному випадку $NDVI_W$ розраховано як:

$$NDVI_W = \frac{L_w(0,8585) - L_w(0,645) + L_A(0,8585) - L_A(0,645)}{L_w(0,8585) + L_w(0,645) + L_A(0,8585) + L_A(0,645)},$$

де $L_{W,A}$ відповідно яскравість висхідного випромінювання від поверхні води на довжині хвилі λ і яскравість молекулярного і аерозольного розсіювання на цій же довжині хвилі.

Це, в свою чергу, може бути переписано з урахуванням компоненти молекулярного розсіювання:

$$\text{NDVI}_w = \frac{L_A(0,8585) - L_A(0,645)}{L_A(0,8585) + L_A(0,645)} = \frac{L_{AZ}(0,8585) + L_M(0,8585) - L_{AZ}(0,645) - L_M(0,645)}{L_{AZ}(0,8585) + L_M(0,8585) + L_{AZ}(0,645) + L_M(0,645)},$$

де L_{AZ} – яскравість аерозольного розсіювання, L_M - яскравість молекулярного розсіювання, яку можна обчислити, відповідно до:

$$L_M(\lambda) = \tau_R(\lambda) F_0'(\lambda) R(\alpha_S, \alpha_V, \varphi_S, \varphi_V) / 4\pi,$$

де $\tau_R(\lambda)$ – оптична товщина шару молекулярного розсіювання; τ_{OZ} – оптична товщина озонового шару; $F_0^* = F_0 \exp[-\tau_{OZ}(1/\cos\alpha_S + 1/\cos\alpha_V)]$ – опроміненість на водній поверхні; F_0 – опроміненість на верхній межі атмосфери; $\alpha_S, \alpha_V, \varphi_S, \varphi_V$ – відповідно zenitні і азимутні кути Сонця і фотометра супутника.

Емпіричні коефіцієнти розрахункових рівнянь розсіювання наведено в таблиці.

Таблиця 1

Емпіричні коефіцієнти розрахункових рівнянь розсіювання

λ , мкм	F_0 , Вт/(м ² ·мкм·ср)	τ_R	T_{OZ}
0,645	162,7	0,0504	0,0214
0,8585	104	0,0162	0,00154

Зіставлення вимірних величин концентрації суспензії наведено на рис. 2.

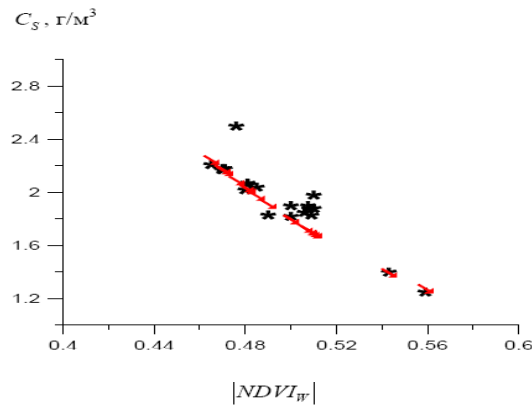


Рис. 2. Зіставлення вимірних величин концентрації суспензії

Інша складова розсіяння на аерозолях в загальному вигляді обчислюється за співвідношенням:

$$L_{AZ}(\lambda) = F'_0(\lambda) \cdot C_{AZ} \cdot \lambda^{-n}$$

Вважаючи в першому наближенні $L_M = 0$, знаходимо:

$$NDVIW = \frac{F'_0(0,8585) \cdot C_{AZ} \cdot 0,8585^{-n} - F'_0(0,645) \cdot C_{AZ} \cdot 0,645^{-n}}{F'_0(0,8585) \cdot C_{AZ} \cdot 0,8585^{-n} + F'_0(0,645) \cdot C_{AZ} \cdot 0,645^{-n}}$$

Звідки отримуємо:

$$n = -1,56 - 3,5 \ln \frac{1 + NDVIW}{1 - NDVIW}$$

Значення $NDVIW$ для прозорі води змінюються в межах від -0,45 до -0,6. При цьому показник Ангстрема знаходиться в межах від 1,82 до 3,28. Ці дані відповідають опублікованим результатам спеціальних досліджень, причому мінливість параметра n пов'язана, головним чином, з характерним розміром часток аерозоля – великі величини n відповідають дрібнішим часткам.

Аналіз великого числа величин $L_M(0,645)$ і $L_M(0,8585)$ для прозорих вод з незначною концентрацією суспензії показав, що між цими величинами існує висока кореляція, рівна $R=0,94$. Відповідна залежність наведена на рис.3, там же присутня лінія регресії. Ця залежність використана для уточнення розподілу за середніх умов. Так для прозорі води величина $NDVIW$ дорівнює $(31,0-1)/(0,31+1)=0,5167$, що відповідає спостереженням. Ваговий множник C_{AZ} за цих умов дорівнює 0,017.

Оцінки відповідають експериментальним даним, а також емпіричній залежності $C_s = 0,214|NDVI_w|^{-3,07}$. Дійсно, при вказаному значенні $NDVI_w$ концентрація суспензії дорівнює $1,54 \text{ г/м}^3$. З урахуванням варіацій емпіричної залежності $L_A(8585) = f[L_A(645)]$ мінімальне значення $NDVI_w$ для прозорої води може з вірогідністю 0,95 досягати $-0,625$, концентрація суспензії при цьому дорівнює $0,9 \text{ г/м}^3$.

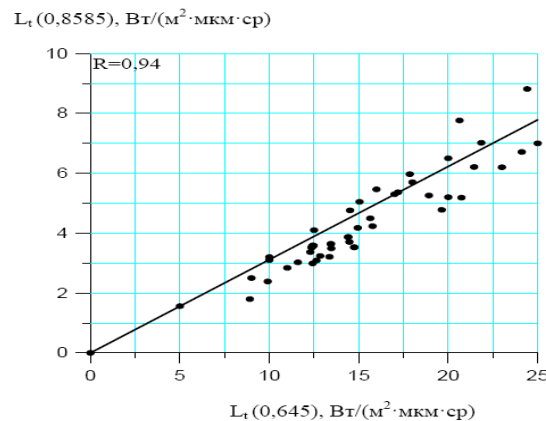


Рис. 3. Залежність мінімальних значень яскравості висхідного випромінювання, характерних для вод з мінімальними концентраціями суспензії ($L_A(8585) = 0,3 [L_A(645)]$, $R^2 = 0,88$)

Таким чином ми отримуємо теоретико-методичну базу для визначення концентрацій суспензій і зважених речовин в воді за спектральними показниками відбиття, що можуть бути виміряні за супутниковими зйомками. Цей підхід може бути застосований при оцінюванні екологічного стану акваторій, визначенні показників якості води і оцінювання ризиків забруднень, вивченні взаємодії систем суходіл-вода тощо.

У воді, як морській, так і водних об'єктах суходолу, існують два основні типи часток: розсіюючі світло і формуючі яскравість висхідного випромінювання. Це частки мінеральної і органічної суспензії. Розглянемо їх співвідношення і вплив на вимірювану величину $NDVI$.

Відоме, що відношення енергії світла, витікаючого при опроміненні двох часток з різними показниками заломлення n_1 і n_2 відносно води, рівне:

$$\left(\frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 2} \right)^2 / \left(\frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} \right)^2$$

Для мінеральної суспензії $n_1=1,15$, для органічної – $n_2=1,02$. При інших рівних умовах, енергія розсіювання світла мінеральними частинками буде приблизно 50-70 разів більше енергії розсіювання органічними частками (для концентрації дрібних P_s і великих P_l часток). Це дозволяє розглядати величини P_s і P_l як концентрації мінеральної та органічної суспензії відповідно.

Згідно з проведеними дослідженнями модель Моблі-Копелевіча для зворотного розсіювання світла чистою водою, мінеральними і органічними частками можна представити у вигляді (Загальна екологія, 2011):

$$b_b(\lambda) = 0,5b_w(\lambda) + B_s b_{ps}(\lambda)P_s + B_l b_{pl}(\lambda)P_l,$$

де індекси w , s , l , відносяться відповідно до чистої води, дрібних частинок і до великих частинок; $B_s=0,039$, $B_l=0,00064$ – відповідно ймовірність зворотного розсіювання дрібними і великими частками; P_s і P_l – відповідно концентрація мінеральних і органічних частинок в г/м^3 ;
 $b_w(\lambda) = 5,826 \cdot 10^{-3} (400/\lambda)^{4,322}$, $b_{ps}(\lambda) = 1,1513 (400/\lambda)^{1,7}$, $b_{pl}(\lambda) = 0,3411 (400/\lambda)^{0,3}$ – відповідно показники розсіювання для чистої води, дрібних і великих частинок; λ – довжина хвилі, нм.

Використовуючи емпіричні залежності $L_t = f(NDVI)$, $NDVI = -0,605(P_s + P_l)^{-0,326}$, а також співвідношення між P_s і P_l в моделі Копелевіча, знаходимо:

$$P_s + 0,01P_l = 11,43(P_s + P_l)^{-0,652} - 21,46(P_s + P_l)^{-0,326} + 10,06$$

На рис. 4 показані залежності концентрації дрібних частинок мінеральної суспензії і великих частинок органічного походження в залежності від загальної концентрації суспензії. Видно, що статистично переважає концентрація великих органічних частинок. Співвідношення між концентраціями мінеральних і органічних частинок в морському середовищі характеризується значною мінливістю. Воно сильно залежить від продуктивності вод і при її

збільшенні збільшується концентрація органічних частинок. В середньому на органічну суспензію (живий планктон, детрит та інша органіка) припадає приблизно 80% і близько 20% становить мінеральна суспензія.

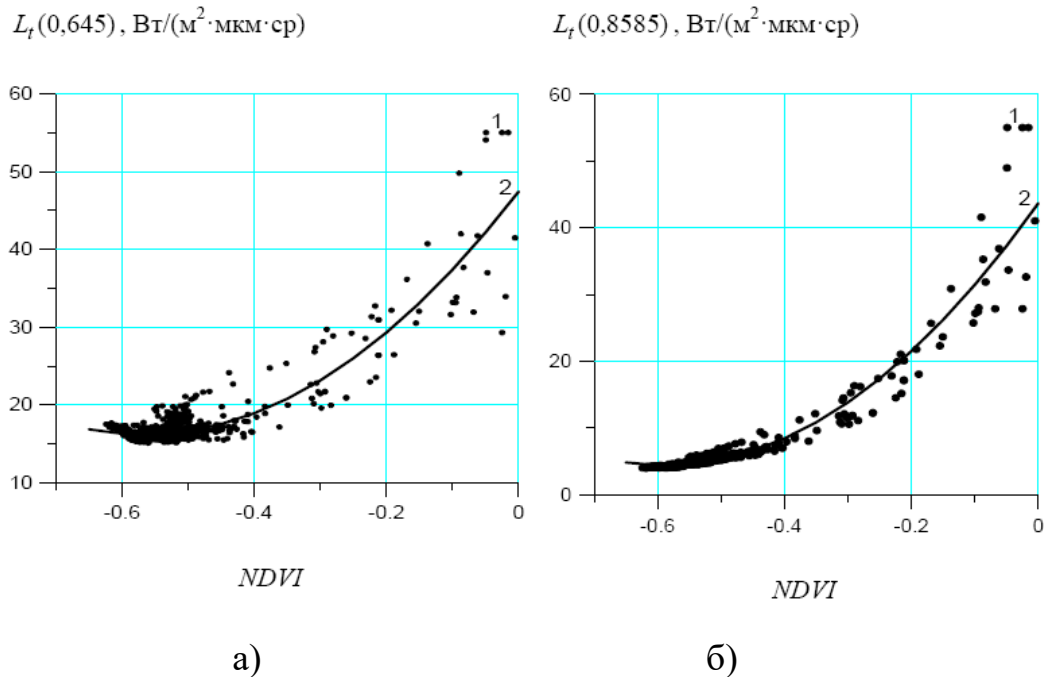


Рис. 4. Яскравості висхідного випромінювання водної поверхні при
а) $\lambda=0,645$ мкм, б) $\lambda=0,8585$ мкм

Відповідні регресійні залежності для показаних випадків виглядають наступним чином:

$$L_t(0,645) = 96,836(NDVI)^2 + 109,95NDVI + 47,415;$$

$$R^2 = 0,85$$

$$L_t(0,8585) = 113,42(NDVI)^2 + 133,44NDVI + 43,671;$$

$$R^2 = 0,93$$

Таким чином ми отримуємо можливість визначати розподіли концентрацій окремих компонент завислих речовин за спектральними ознаками ДЗЗ.

2. Оцінка ефективності застосування методики супутникового моніторингу інтенсивного цвітіння водоростей (моніторингу скупчень планктонних водоростей)

Слід враховувати, що існуюча Водна Рамкова Директива ЄС одним з аспектів оцінки екологічного стану та моніторингу довкілля включає оцінку гідроморфологічних характеристик водойм та водотоків. Тому, за думкою Машкова, Жукаускаса та Нігородової (2019) «методи ДЗЗ вкрай необхідні для контролю за такими характеристиками як мандрування, зміни берегової смуги».

Крім того, фітопланктон має безпосередній вплив на якість питної води: суспензію, кольоровість, токсичність; а при значному розвитку біомаси викликає замори риб, порушення роботи очисних споруд, забруднення узбережжя та пляжів. Показники кількісного розвитку фітопланктону широко використовуються при визначенні трофічного статусу водойм і для прийняття рішень з екологічної реабілітації водойм. Разом з тим отримання даних про стан фітопланктону, а тим більше актуальних даних - досить трудомісткий і витратний процес. Все це потребує застосування сучасних технологій отримання відповідної моніторингової інформації.

Методика, що розглядається використовує дані дистанційного зондування Землі в діапазоні довжин хвиль 8-14 мкм (довгохвильове інфрачервоне випромінювання), що дозволяє отримувати інформацію про теплофізичні властивості об'єктів на поверхні Землі і в тому числі водойм. Слід враховувати, що растрові дані теплового випромінювання із середнім просторовим розрізненням сенсора TIRS, встановленого на супутнику Landsat-8 представлені в двох спектральних діапазонах (10,3-11,3 мкм і 11,5-12,5 мкм).

Для перетворення растрових даних теплового випромінювання в розподіл температури пропонується використовувати зворотне рівняння Планка для теплового випромінювання «сірого тіла». Це перетворення дозволяє з урахуванням коефіцієнта теплового випромінювання, відобразити здатність різних поверхонь випромінювати тепло. Отримані теплові карти дозволяють

вивчити гетерогенність полів температури техноекосистем та показують ефективність нових споруд по регулюванню термічного режиму у водоймах-охолоджувачах.

Зображення явища «цвітіння води» супутником Sentinel-2 на прикладі Кременчуцького та Каховського водосховищ представлено на рис. 5. Фрагмент космічного знімок Landsat 8 щодо дослідження просторового розподілу ділянок цвітіння синьо-зелених водоростей на території Київського водосховища в районі населених пунктів Козаровичі – Лютіж) представлено на рис. 5. Результати дистанційного дослідження водойм Південно-Українського енергокомплексу на прикладі Ташлицької ГАЕС станом на 10.08.2020 (температура поверхні; карти розподілу нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI); карти нормалізованого відносного альгоіндекса (NDAI)) представлено на рис. 7. Динаміку розподілу показників температури поверхні Нетішинського водосховища (водойми –охолоджувача Хмельницької АЕС) представлено на рис.8.

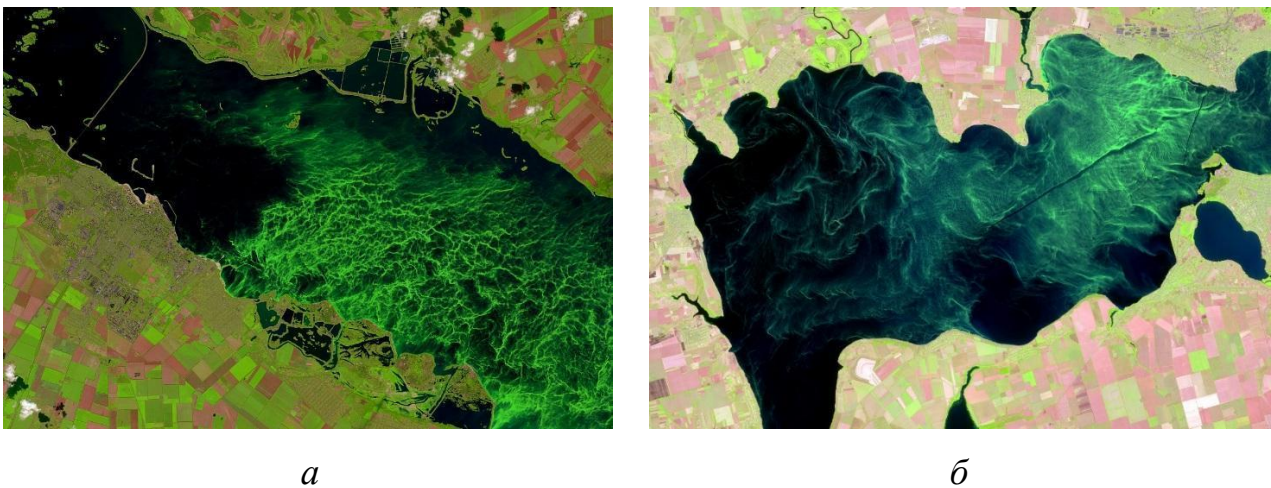


Рис. 5. Зображення явища «цвітіння води» супутником Sentinel-2 на прикладі:

a - Кременчуцького водосховища отримане 22 серпня 2019 року;

б - Каховського водосховища отримане 10 серпня 2020 року

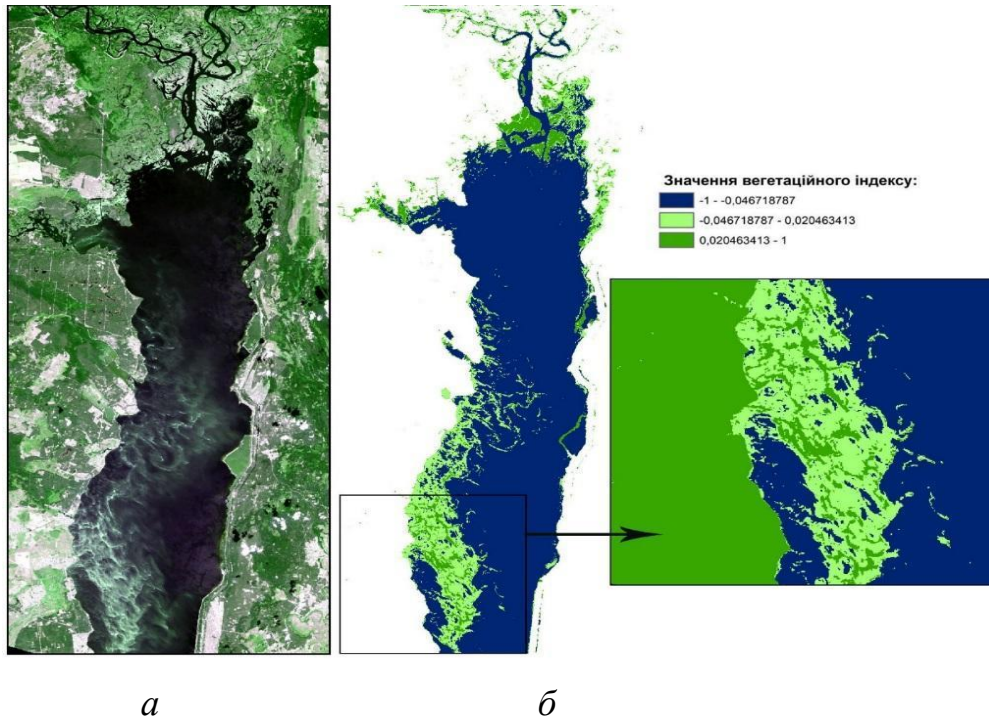


Рис. 6. Дослідження просторового розподілу ділянок цвітіння синьо-зелених водоростей на території Київського водосховища
(а – фрагмент космічних знімків Landsat 8 станом на 13.08.2020;
б – розподіл значень вегетаційного індексу у найбільшому осередку "цвітіння" в районі населених пунктів Козаровичі – Лютіж)

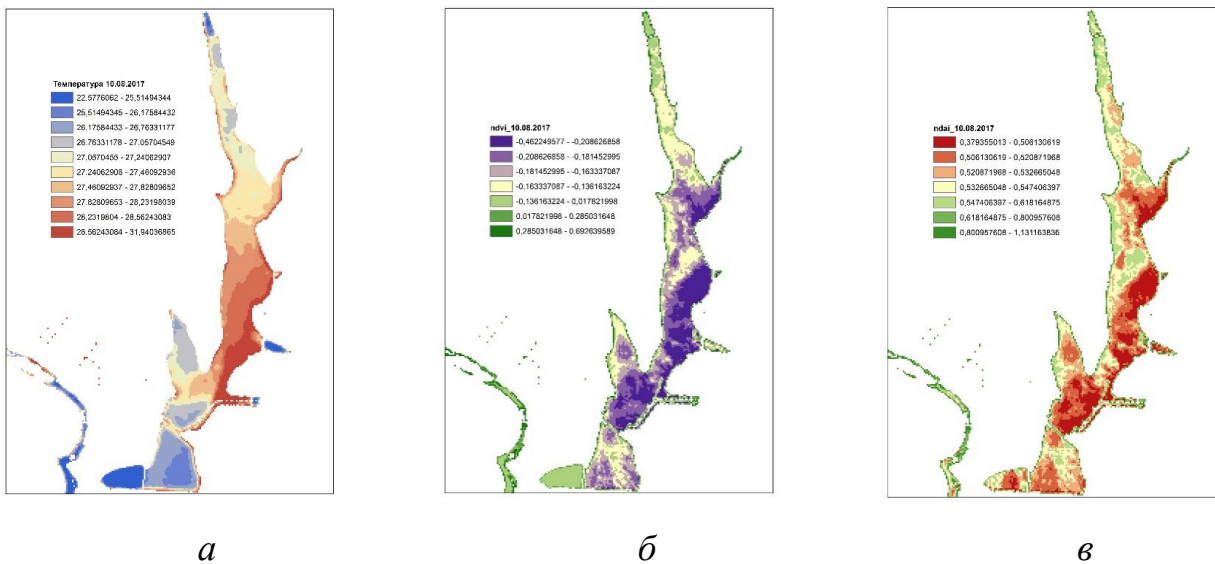


Рис. 7. Дистанційне дослідження водойм Южно-Українського енергокомплексу на прикладі Ташлицької ГАЕС станом на 10.08.2020
а - температура поверхні; б - карти розподілу нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI);
в - карти нормалізованого відносного альгоіндекса (NDAI)

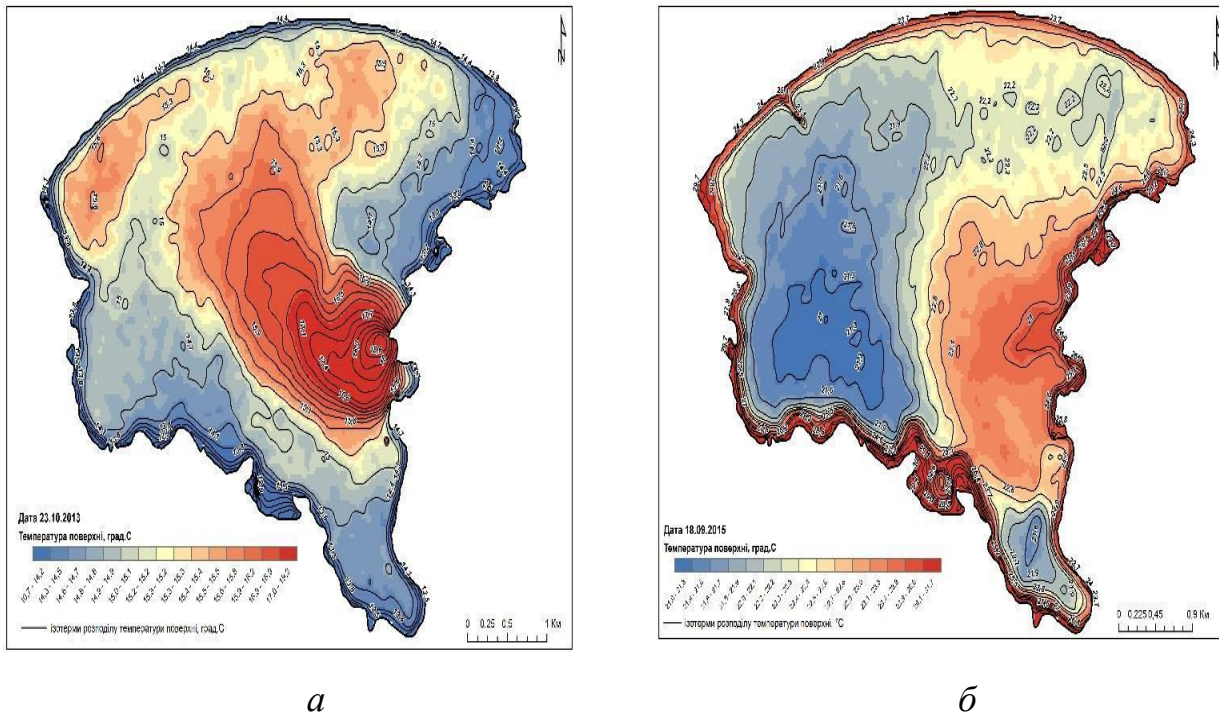


Рис. 8. Динаміка розподілу показників температури поверхні Нетішинського водосховища (водойми –охолоджувача Хмельницької АЕС)
(а – станом на 23.10.2013; б – станом на 18.09.2020)

Проведений аналіз свідчить, що зміні забарвлення води («цвітіння») проявляються внаслідок масового розмноження мікроскопічних водоростей. Саме тому методи обробки космічних знімків для виявлення ділянок «цвітіння» води зазвичай базуються на аналізі варіацій коефіцієнту дифузного відбивання світла поверхневими і підповерхневими шарами води при збільшенні в них концентрації фітопланктону. Проведений аналіз свідчить, що для спостережень найбільше підходить червона область спектру видимого діапазону 600...700 нм та ближній ІЧ-діапазон. Для виявлення ділянок цвітіння води добре підходить вегетаційний індекс Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) але доцільним є застосування інших індексів оцінки стану водойми, таких як мутності – Normalized Difference Turbidity Index (NDTI) альгоіндексу – Normalized Difference Algae Index (NDAI) та ін. Також додатково дешифрувальною ознакою при ідентифікації «цвітіння» води може слугувати текстура зображення, так для ділянок інтенсивного «цвітіння» найчастіше

характерна специфічна ниткоподібна текстура. На космічних знімках видно, що області інтенсивного цвітіння витягуються уздовж течій і втягуються до вихрових рухів. Також визначено, що на перенесення водоростей найзначніший вплив має вітер. У періоди з тривалою теплою, сонячною і безвітряною погодою ціанобактерії об'єднуються в агрегати, які спливають до поверхні, утворюючи поверхневі або підповерхневі скупчення. При цьому слід враховувати, що дані, отримані при супутникових спостереженнях повинні верифікувати з результатами польових наземних досліджень.

3. Оцінка ризиків повеней і підтоплень з використанням даних супутникового спостереження

Результати дослідження Машкова та ін. (2019) підтверджують, що «для оцінки ризиків повеней і підтоплень доцільне використовувати аерокосмічні технології». Можливість визначення ризиків підтоплень базується на обґрунтованій можливості визначення взаємозв'язку між змінами спектральних характеристик відбиття поверхні та стресом екосистем, викликаним дією зовнішніх факторів (Q_{stress}). Для опису спектрального відбиття окремого типу поверхні N (де N – клас, відповідно до попередньо проведеної класифікації земних покривів) введемо інтегрований індикатор – індекс спектрального відбиття SRI , що буде представлено як фіксована комбінація спектральних характеристик в окремих смугах спектру r_λ . В загальному випадку його вигляд можна представити як: $SRI_\tau = f(r_\lambda)_\tau$, де τ – момент зйомки. В нашому випадку це може бути будь-який з індексів $NDVI$ (або $ARVI$), EVI , які дають змогу визначити тенденції змін досліджуваних екосистем (крім того, корисним може бути індекс PRI (*Photochemical Reflectance Index*)); «стресові» індекси: індекс $SIPI$ (*Structure Intensive Pigment Index*), водний індекс $NDWI$ та індекс стресу рослинності PSI (*Plant Stress Index*). В залежності від контрольованого параметру, будь-якій з існуючих спектральних індексів може бути використаний як такого роду інтегрований індикатор (індекси PRI , $SIPI$ або $NDNI$ - *Normalized*

Difference Nitrogen Index). Враховуючи можливість отримання багаторазових зйомок, вводимо індекс, що відображає зміни досліджуваних спектральних показників за період спостережень – нормований індекс спектрального відбиття:

$$SRI^*_{\tau} = \frac{\max\{SRI_{\tau}\} - SRI_{\tau}}{\max\{SRI_{\tau}\} - \min\{SRI_{\tau}\}}.$$

Тоді інформативною ознакою можна вважати ΔSRI^* - різницю між середнім по періоду спостережень значенням SRI^* та зафіксованим на момент зйомки значенням SRI^*_{τ} .

Рівняння, що визначає ймовірність стресу, виходячи з сукупності спектральних характеристик земної поверхні, запропоновано відповідно до правила Байєса:

$$\begin{aligned} P(\Delta SRI^*(x, y) | Q_{stress}) &= \frac{P_s(x, y) \cdot \prod_N P_N(\Delta SRI^* | Q_{stress})}{\int_{x, y} P_N(\Delta SRI^* | Q) dP_s(x, y)} = \\ &= \frac{P_s(x, y) \cdot P_N(\Delta SRI^* | Q_{stress})}{P_N(\Delta SRI^* | Q_{stress}) P_s(x, y) + P_N(\Delta SRI^* | Q_0) P_0(x, y)}. \end{aligned}$$

В цьому рівнянні індекс Q_{stress} відноситься до ділянок під впливом стресових факторів, а індексом Q_0 позначено клас пікселів, в яких дії таких факторів достовірно немає. Ймовірність $P_s(x, y)$ визначається, виходячи із розподілу даних спостережень, тобто напівемпірично. Співвідношення

ймовірностей $P_s(x, y)$ та $P_0(x, y)$ визначається як $\lim_{x, y, \tau} (P_s(x, y)_{\tau} + P_0(x, y)_{\tau}) = 1$. Для визначення вірогідності $P_s(x, y)$ можна скористатися правилом, що базується на

використанні вагової функції Гауса: $P_s(x, y) = P_{min} + (P_{max} - P_{min}) \cdot e^{-d^2/2\sigma_p^2}$. Тут $P_s(x, y)$

– ймовірність наявності (або виникнення в масштабах часу періоду спостережень) стресу; P_{max} – максимально можлива вірогідність поточної наявності стресу в досліджуваному місці, яка залежить від типу сенсора, фізико-географічних особливостей регіону та типу поверхні (P_{max} для сенсорів Landsat TM і ETM є 0,25 – 0,3); P_{min} – мінімальна вірогідність (P_{min} є близькою 0,01);

$d_s(x,y)$ – відстань від найближчого місця, яке знаходиться під зареєстрованою дією стресу; σ_p – емпіричний показник, що має визначатися на основі полігонних досліджень, виходячи з особливостей рослинного покриву території досліджень та типу сенсору (наприклад, для Landsat TM і ETM в регіоні досліджень показник $\sigma_p \in 1,1 - 1,5$ км). Таким чином для регіону досліджень і сенсорів Landsat TM і ETM $P_s(x,y)$ може бути визначений за допомогою формули: $P_s(x,y) = 0,01 + 0,26 \cdot e^{d_s^2/1,69}$. Задача визначення ділянок в межах класів N з координатами x, y під дією стресу, викликаного впливом факторів Q_{stress} , може бути зведеної до задачі класифікації знімків в межах обраних періодів i , спектральних смуг r_λ , типів сенсорів та регіону досліджень.

Розраховані в рамках цього підходу локальні значення ризиків представлено на рис. 9.

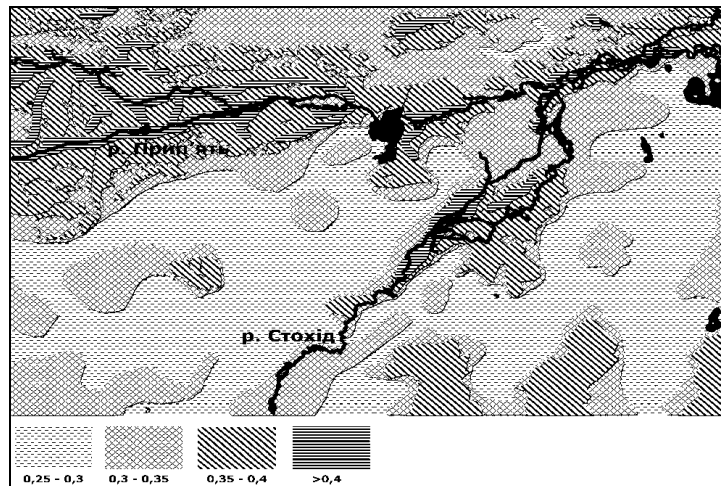


Рис. 9. Розрахункові ризики підтоплень територій по міжріччю рр. Прип'ять і Стохід у Поліському регіоні

Наведені ризики оцінено в термінах ймовірності виникнення негативних наслідків події в разі реалізації сукупності умов, що сприятимуть виникненню події. Виходячи з умов, заданих модельними рівняннями, можна сказати, що значення ризику 0,5 означає, що за умов достовірного перевищення середнього рівня сезонних варіацій опадів, або відповідно стоку, у відповідному місці буде зафіксовано випадок підтоплення. Тобто ризик 0,5 за наявних кліматичних

тенденцій практично означає щорічне підтоплення будь-якого рівня з вірогідністю 0,86 в період 2010-2012.

Базуючись на оцінених локальних та регіональних ризиках підтоплень, а також використовуючи в якості базового підходу метод оцінки комплексних мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультіваріативних величин, було оцінено ризики повеней та підтоплень. Результати розрахунків представлено на рис. 10.

Таким чином, запропоновано підхід до оцінки ризиків підтоплень та методику розрахунку просторових розподілів регіональних показників ризиків підтоплень за допомогою даних супутникових спостережень в оптичному діапазоні, визначено набори даних, оцінено показники основних змінних для конкретних сенсорів.

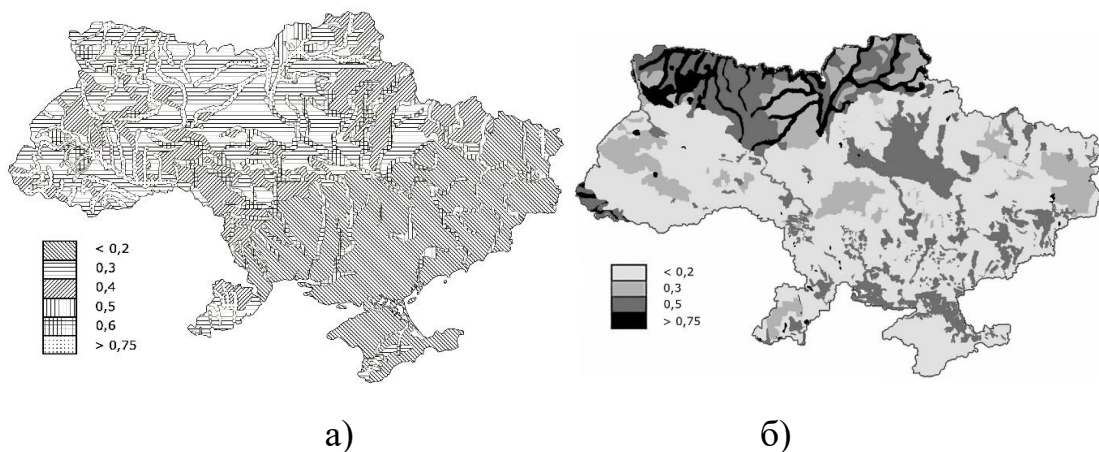


Рис. 10. а) Сценарний розрахунок показників ризику виникнення повеней на період 2030р.; б) Сценарний розрахунок показників ризику розвитку процесів підтоплення на період 2030 р.

Застосування геоінформаційної системи моніторингу довкілля дозволяє зменшити похибки першого (до 0,045) та другого роду (до 0,001) при оцінюванні екологічних загроз та ризиків забруднення довкілля, викидів, скидів, їх накопичення.

Проведений аналіз свідчить про доцільність проведення фонового моніторингу, а не тільки контролювати стан довкілля під час контролю процесів його забруднення. Наприклад, вимірювати якість вод на 500 метрів

вище і нижче місця скиду зворотних вод, яке вони контролюють. Це обґрунтовується тим, що безконтрольне антропогенне забруднення довкілля може швидко призвести до дуже негативних наслідків.

Висновки

В роботі розглянуто особливості визначення концентрацій суспензій і зважених речовин в воді за спектральними показниками відбиття. Надано пропозиції щодо оцінки ефективності застосування методики супутникового моніторингу інтенсивного цвітіння водоростей (моніторингу скупчень планктонних водоростей). Запропонована технологія оцінки ризиків повеней і підтоплень з використанням даних супутникового спостереження.

Дослідження взаємодії екосистем суходолу і водних об'єктів показали, що індекс вегетації NDVI може використовуватися як екологічний індикатор як для берегової (NDVIL), так і для 50-70 км прибережної зони (NDVIW). По розподілу для суходолу можна судити про параметри екологічного стану. Просторові розподіли для водного середовища корелюють з такими оптико-біологічними параметрами як концентрація хлорофілу-а і мінеральної суспензії, прозорість води і пов'язані з ними характеристики.

Для перетворення растрових даних теплового випромінювання в розподіл температури пропонується використовувати зворотне рівняння Планка для теплового випромінювання «сірого тіла». Це перетворення дозволяє з урахуванням коефіцієнта теплового випромінювання, відобразити здатність різних поверхонь випромінювати тепло. Отримані теплові карти дозволяють вивчити гетерогенність полів температури техноекосистем та показують ефективність нових споруд по регулюванню термічного режиму у водоймах-охолоджувачах.

Створення автоматизованої системи екологічного моніторингу водних техноекосистем передбачає формалізацію класів системи обробки даних спостереження якості вод за рахунок формування та уточнення типових UML-

моделей класів різних аспектів функціонування та призначення системи: моделі об'єктів, моделі суб'єктів, моделі методичного (метрологічного) забезпечення спостереження якості вод, моделі технічного забезпечення, моделі інформаційного забезпечення. Алгоритмічне та програмне забезпечення для застосування запропонованих методів автоматизованого синтезу програмного коду інформаційних систем спостереження якості вод надає можливість автоматично синтезувати відповідні таблиці, форми та зв'язки між даними відповідно до вимог користувача до системи, що проектується. Розрахунки, що супроводжують відбір проб, здійснюються за допомогою окремих підпрограм, що дозволяє застосовувати ГІС-модуль для візуалізації результатів обробки даних контролю по скидах та стану вод і баз даних автоматизованої системи екологічного моніторингу на карті ГІС як України в цілому, так і окремих областей чи великих міст.

Список літератури

- Барановська, В. Є., Боков, В. А. Бондар, О. І., & Рудько, Г. І. (2004). *Екологічна безпека та охорона навколишнього середовища*. К.: Вид-во ПП «ЕКМО»; Х.: ТОВ «Укртехнологія».
- Биченок, М. М., Іванюта, С. П., & Яковлєв, Є. О. (2008). *Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі*. К.: Інститут проблем національної безпеки РНБО України.
- Бондар, О. І., Бойко, П. М., & Пилипенко, Ю. П. *Загальна екологія та неоекологія*. Херсон: Олді-плюс.
- Машков, О. А., Фролов, В. Ф., Жукаускас, С. В., & Нігородова, С. А. (2019). Системне застосування методів дистанційного моніторингу екологічного та технічного стану водних техноекосистем. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, 2(25), 28-39.
- Машков, О. А., Жукаускас, С. В., & Нігородова, С. А. (2019). Прогнозування надзвичайних ситуацій щодо зменшення екологічних загроз та

оцінювання ризиків з використанням аерокосмічних технологій.

Екологічні науки: науково-практичний журнал, 4(27), 201-206.

Мокін, В. Б., & Мокін, Б. І. (2007) *Автоматизована система екоінспекційного контролю стану забруднення довкілля України та викидів, скидів і відходів «ЕкоІнспектор»*. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE FABRICATION OF WOODEN DESIGN-OBJECTS ON CNC MILLING MACHINES

Morhun O.V., Kharkiv State Academy of Design and Arts, 2nd year of the Master's Degree in specialty “Concept design”, Kharkiv, Ukraine

Trehub N.E., Kharkiv State Academy of Design and Arts, PhD of Architecture, professor , Kharkiv, Ukraine

Bondarenko V.V., Kharkiv State Academy of Design and Arts, professor, Kharkiv, Ukraine

Bosiy I.M., Kharkiv State Academy of Design and Arts, PhD of art history, teacher, Kharkiv, Ukraine

Abstract

The article considers innovative technologies of machines with computer numerical control (CNC) in the context of wooden design-objects fabrication. This study is based on the experimental furniture modelling which is implemented into the educational process of bachelors and masters at Kharkiv State Academy of Design and Arts according to the educational and professional program "Environmental Design". It were described the features of production technology and algorithm of the process of manufacturing parts on a three-axis CNC machine. It were systematized the main strategies of material processing on CNC machines (vector and 3D). It was presented the results of experimental course and diploma modelling of design objects in the educational process of the department "Environmental Design" KSADA. The implementation of complex parametric forms of wooden materials is provided by modern machines with computer numerical control (CNC). Virtual modelling programs have expanded the variety of forms of design-objects. In this work it were substantiated the ecological and economical aspects of technological characteristics of CNC machines in the aspect of nature management.

Introduction

Modern furniture fabrication is based on professional design and the use of high-tech equipment. Analytical review of literature sources and world design practice showed the lack of systematic study of the stated problem, which indicates to the relevance of the research topic. This paper describes the experimental modelling of design objects performed in the framework of Bachelor's theses for the Bachelor's Degree. On the basis of which the influence of technological possibilities of CNC machines on composite solutions of furniture constructions and joints was determined for the first time. This is the novelty of this study. It was further developed the effectiveness of innovative technologies of CNC machines in expanding the variability of the formation of high-quality design objects. Numerical control systems are described in (Anishchenko, 2012; Online magazine "All about CNC"). The study of experimental furniture technologies in design education began in (Trehub, 2019; Tregub, Bosiy & Morgun, 2019).

The purpose of this study is to identify the environmental and economical component of the technological characteristics of CNC machines, their impact on improving the efficiency of using wooden materials in the process design-objects creation.

Research tasks: to determine the properties of environmental friendliness and efficiency of CNC machines in the production of wooden design-objects; to systematize technological processes of objects fabrication on CNC machines; to carry out approbation of technological methods on CNC machines in the manufacture of furniture within of experimental design (educational and professional); to outline the degree of influence of this technology on the architectural environment ecology and the formation of design elements in the context of the paradigm of sustainable development of the living environment.

Given the interdisciplinary nature of the research problem, the methodological basis of the work was chosen system-environment approach. The empirical base contains observations, descriptions of exhibition materials, technological processes,

photo-fixation of experimental modelling design products (educational and professional). The method of design-experimental modelling is to find and develop a rational design and technological object form using the principles of ergonomic design.

1. The current state of study of the problem

The woodworking industry is an important component of Ukraine's economy. It was formed in the period of 1950s-1990s, when the enterprises began to implement mechanized and automated equipment lines, the latest equipment with software control, modern technologies and materials, especially in the furniture industry. This trend continues to develop now.

Furniture equipment is a subject of daily human use. Advanced CNC technologies have become a driving force in the development of furniture design. Since the end of the twentieth century, there has been a global trend towards the development of various experimental concepts in the field of shaping of environmental design-objects with the involvement of new capabilities of computer technology and industrial equipment.

It is also possible to get acquainted with innovation production technologies and their capabilities from international exhibitions of subject design, modern machine tools for wood processing. Every year a large number of exhibitions are held in different countries of the world: Salon Internazionale del Mobile (Milan, Italy), Habitare (Helsinki, Finland), Interior. Furniture and Interior Decoration Fair (Tallinn, Estonia), Maison & Objet (Paris, France), International Design Furniture Fair Hong Kong (Hong Kong, Japan) and others. In Ukraine, these are currently annual exhibitions in Kyiv: KIFF, FTCT Innovations (furniture technologies, components, textiles), FURN'EQUIP.

In the Internet it is possible to find a large number of companies that offer their services for the manufacture of the equipment of object-spatial environment by individual design or already existing models. There are many types of machines for

woodworking and furniture production, which can be found on the websites of CNC machines fabrication. Each of them is endowed with certain technological features (Online magazine "All about CNC"). There are several leading enterprises in Ukraine that manufacture CNC machines for various purposes, including for wood processing: Stan-Komplekt (Kyiv), Dominant (Bila Tserkva, Kyiv region), InStankoService (Odessa), Vector (Kharkiv). In the framework of this study, it was decided to consider technological capabilities and provide classifications based on a CNC milling machine with three coordinate systems (machine milling and engraving woodworking VFGD" ATS- 2515.Pro "Stankoservice - Yug LLC"), both high-tech and with a wide range of design capabilities. The latest technology materials processing are increasingly appearing in enterprises. The possibilities of shaping in the objects design have expanded the programs of virtual modelling, and the implementation of complex shapes in the material today is provided by the latest CNC machines. Woodworking CNC centres is the most common type of modern machines, which is at a high level of technical equipment and production processes organization. It has a wide range of different processing methods and it is highly accurate. The high level of reliability and quality of production with the use of CNC machines compared to manual work are to expand technological capabilities and automation of production. It is the technological indicators of CNC machines that determine the technological potential of the equipment. The correct choice of the machine equipment type and method of processing allows to reproduce design ideas qualitatively, helps to optimize production process and the accompanying factors. The effectiveness of the use of such equipment in the manufacture of furniture is confirmed by both domestic and foreign experience of single and serial production.

Computer numerical control of the machine is an automatic control of the milling workflow according to a certain program. Such program is the form of combinations of numbers and letters that determines the magnitude and nature of movements of moving parts of equipment, cutting system (executive bodies). The machine with computer numerical control (CNC) is a high-tech modern equipment. It

is intended for mechanical processing of various materials by means of the special cutting tool – a mill. Milling is due to the rapid rotation of the cutting tool. The CNC machine is controlled automatically by a computer and a specific processing program, which is developed in CAM programs based on a working drawing of the part. Prior to the invention of the CNC system, the machine was controlled manually or mechanically.

2. Features of production technology on CNC machines

The use of CNC machines in production is becoming more common than manual labor. This is due to the fact that CNC equipment has significant differences and creates certain advantages, which is reflected in the economic and environmental aspects.

The advantages CNC machines use in the wooden design-objects fabrication process:

- the reduction of time and cost of resources at the preparatory stage of production and, as a consequence, increase productivity and affordability of the product;
- the speed and flexibility of the manufacturing process of objects or parts, which allows you to make changes at different stages of production;
- the high accuracy of processing of details, reduction of quantity of marriage;
- the reduction of the total duration of the production cycle;
- the possibility of fast and high-quality serial production;
- saving of labor resources, control of the machine can be realized by one person - the CNC operator;
- the possibility of different methods of processing parts on one type of equipment;
- the rational use of material that has an impact on economic and environmental aspects.

The process of manufacturing parts on a three-axis CNC machine:

1. The vector drawings are made by means of such computer programs as: CorelDRAW, ArtCAM, ArchiCAD, Rhinoceros etc. The 3-D model can be created in such computer programs as: Rhinoceros, ArchiCAD, Autodesk 3ds Max etc.

2. The finished vector or model is entered into the CAM program (RhinoCAM, ArtCAM), the corresponding data on the sizes are entered, the cutting tool is chosen, the method and speed of processing depending on a product form are solved. The CAM program on the basis of the entered data automatically defines the code of the scheme of processing of a detail.

3. The workpiece is placed on the working surface of the machine; zeros are set on the coordinate system in accordance with the workpiece, which are the necessary computer data on the location of the part for processing;

4. Start of the processing program (processing of a detail): the automated manufacturing process;

5. Completion of the processing program: the finished object or details are received;

6. The final stage - the final technological cycle: grinding, coating with paint or varnish, if necessary, the fastening process (connection of individual details).

Based on the above, it is possible to conclude that the designed object as a result of manufacturing on a CNC machine is an absolutely accurate reflection of the constructed model.

3. The main strategies for processing material on CNC machines

Materials processing strategies on CNC machines can be divided into vector and 3D processing, which in turn also have some diversification.

Vector processing strategies:

- milling, cutting (straight and curved), performed with end mills;
- drilling (performed by end mills);

- engraving - milling on a vector to a given depth (creating a graphic drawing on the material using an engraver, end or spherical mills; it is also possible to mill the relief using profile cutters, which partially replaces the strategies of 3D-processing);

- cutting out - lowering to a given depth within the defined limits (straight and curved), performed by end mills.

3D processing strategies:

- gradual-parallel processing of a relief (the relief is formed gradually), is carried out by spherical mills;

- gradual processing from the center to the edges of a given three-dimensional shape (processing program is based on equidistant, so milling is performed on equidistant vectors directed from the center of the model and rhythmically reduced starting from the base vector), performed by spherical cutters.

A designer who is familiar with the operation and characteristics of CNC machines, even at the stage of developing sketches can mean innovative approaches that will be used at the stage of production. This will ensure a rational and cost-effective implementation of the idea. The understanding of computer numerical control possibilities, the designer in the process of designing the product can turn to these processing strategies. This will allow designer to build the morphology of the future object in synthesis with the production technology. As a result, it is possible to get new and even unexpected results.

4. The experimental design-objects modelling in the educational process of the department "Environmental Design" in KSADA

According to the curriculum for the preparation of students at the Faculty of "Environmental Design" in KSADA educational course and diploma projects are of an experimental nature. It is common practice to make design objects using virtual (computer) modeling. Within the discipline "Fundamentals of Production Skills" the technological capabilities of the CNC machine are used (machine milling and engraving woodworking VFGD "ATS-2515.Pro", LLC "Stankoservice - South").

Based on the systematization of the results of experimental modeling, it was found that due to machine tools in synthesis with a certain approach at the development stage, there is a possibility of rational use of materials (wood and its derivatives) and even waste-free production.

The approach of rational use of material can be design and realization of unique innovative connections of the details made with using CNC machines. Such connections can become the accent of the product, a decorative element or, conversely, be hidden and perform only a technological function. This technique was used in the experimental design of furniture of parametric forms in the Bachelor's thesis to obtain the Bachelor's Degree Morhun O.V. ("Design of a set of furniture equipment for the lobby of the Olympic training and sports center "Aquarena" in Kharkov", leaders: Trehub, Severin, 2019).

Parametrisation as a direction in architecture and design emerged with the advent of new technologies. Also found its embodiment in furniture design. Parametric furniture is quite popular today due to their frame structure and unusual shapes. A lot of material is used for the manufacture of such furniture, and a significant amount of residual material is then not used. Therefore, the following technological experiment was carried out: closed parts of the bench frame were proposed to be milled from separate parts with nodal joints (Fig. 1 a, b), with which the finished parts are combined into a strong and reliable frame (Fig. 2). The plane of the plywood sheet is used almost without residues, because the parts have a more compact shape (Fig. 3). The rest of the sheet of plywood with cut-outs can be used to create a screen or art object. Thus, objects are formed with original and new aesthetic characteristics.



Fig. 1 a, b. Technological nodal joints are made on a CNC machine

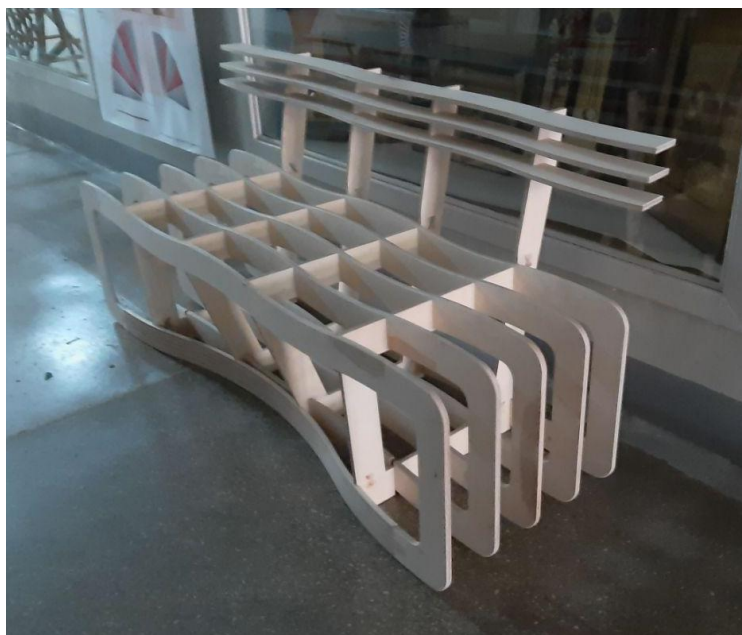


Fig. 2. Bench frame. The Bachelor's thesis to obtain the Bachelor's Degree Morhun O.V. on the topic "Design of a set of furniture equipment for the lobby of the Olympic training and sports center "Aquarena" in Kharkov", 2019. Leaders: Trehub N.E., Severin V.D.



Fig. 3. Remains of multilayer plywood sheet after milling the bench frame

Also, the construction of parts based on equidistant is a promising technique in the design objects creation, which aims to rationally use the material. Thus, one part

of the product is derived from another, and the cutting of the material occurs without residues: one part comes from another. It will dictate certain aesthetics of the future product, because the resulting lines will differ slightly, as they are derived from the original.

Algorithm of furniture modeling process on the example of parametrical forms:

1. the construction of the general form (Fig. 4);
2. the division of construction into parts by the method of mapping vectors to the general shape at a certain distance (Fig. 5);

3. the resulting curves are the external shape of the parts of the product, while the inner part of each subsequent part is equidistant from the outer part of the previous detail at a distance that determines the diameter of the cutting tool (mill). Thus, the material is cut not around the parts, but between the vectors of the parts, which is determined by the equidistant at the stage of development (Fig. 6);

4. the obtained parts are assembled into a design object, the morphology of the object is dictated by the technique used in the design (Fig. 7).

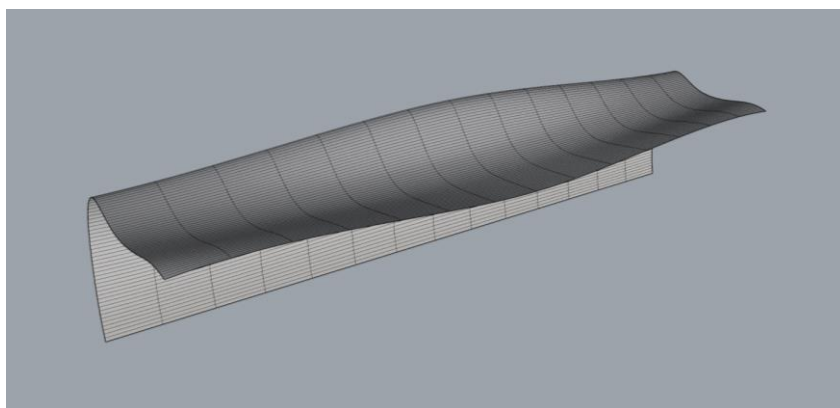


Fig. 4. General form built in the 3D program Rhinoceros

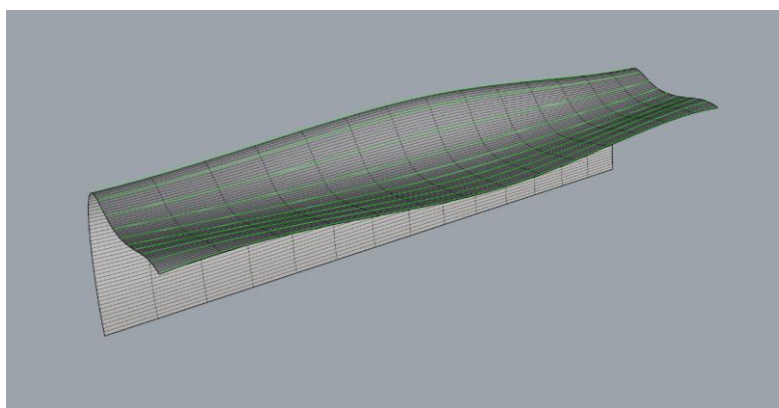


Fig. 5. The method of mapping vectors to the general shape

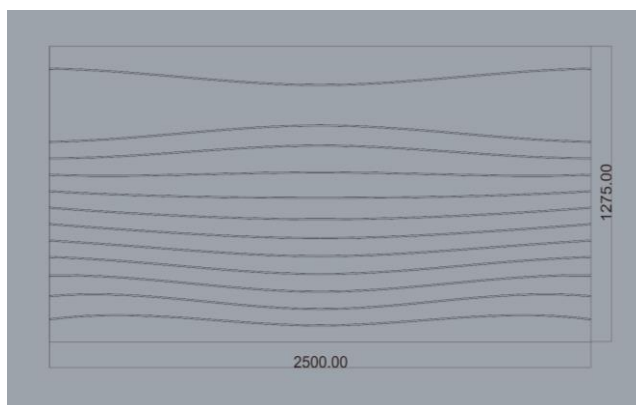


Fig. 6. Vectors of details for cutting of sheet material

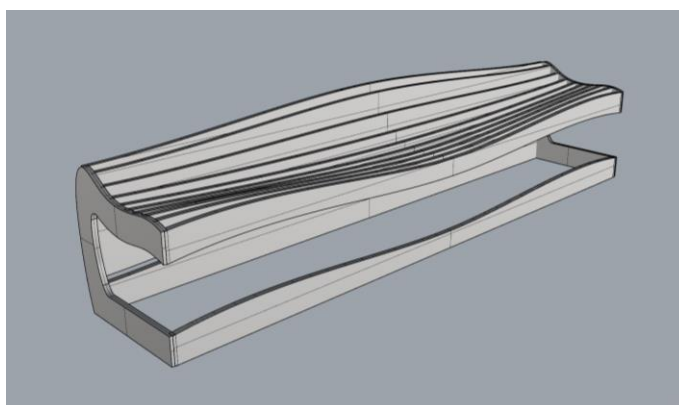


Fig. 7. The design object is assembled from parts designed on the basis of equidistant

Conclusions

It is determined that the problem of ecological and economical aspects of the use of CNC machines in the design-objects fabrication has become relevant in the last decade. The technological capabilities of CNC machines in combination with certain design approaches provide rational and economical production of design objects from wood sheet materials (plywood, MDF, furniture board, etc.). This is very important to maintain a balanced state of nature. The possibility of waste-free production or with minimized residues affects the economic component of the facility. In this case, production spends less on the material as a result per unit of finished product. The economic advantage of using CNC equipment is due to the minimization of material costs, and at the same time, to attract labor. Working with automated equipment requires only one worker to control the machine, compared to shops equipped with different types of manual machines, which occupy a large area and require more workers.

The results of experimental modelling of design-objects in the educational process of the Department of "Environmental Design" in KSADA indicate the prospects of production technologies based on CNC in the creation of modern design forms and improving the comfort of the object-spatial environment.

References

Anishchenko M.V. (2012). *Computer numerical control systems: textbook. manual.*

Kharkiv: Textbook of NTU "KPI"

Online magazine "All about CNC". URL: <https://vseochpu.ru/>

Trehub N.E. Current topics of master's research in the field of design under the educational-professional program "Conceptual Design" (experience of KDADM) (2019). *The 10th International Conference "Science and Society". Communication 3 & Publishing*, Hamilton, Canada. P. 456-467.

Tregub N.E., Bosiy I.M., Morgun O.V. Experimental furniture technologies in design education (experience of KDADM). Perspectives of world science and education. (2019). *Abstracts of 1 International scientific and practical conference*. CPN Publishing Group Osaka, Hotel Japan. P. 271-282.

**ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД
БАСЕЙНУ РІЧКИ ЗАХІДНИЙ БУГ У СТВОРАХ
ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ (2018-2019 РР.)**

Одноріг З.С., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., доцент кафедри ЕЗП, Україна

Манько Р.В., Басейнове управління водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну, заст. нач. відділу ведення водного кадастру та моніторингу вод, Україна

Мальований М.С., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., завідувач кафедри ЕЗП, Україна

Соловій Х.М., Національний університет «Львівська політехніка», аспірантка кафедри ЕЗП, Україна

Abstract

The article considers the steps for the organization and conduct of surface water environmental monitoring for Ukraine`s transition into European standards in the field of use and water bodies protection. An analysis of Ukrainian State Water Agency work during 2018-2019 has been conducted with the purpose of EU standards implementation in the field of water quality and water resources management.

The main and biggest polluters are Lvivvodokanal, water channels of Chervonohrad-Sokal industrial district, Dobrotvirska TPP. The analysis of the negative impact of enterprises and utilities on the state of the Western Bug River basin surface water quality (within the Lviv region) has been carried out. The assessment of surface water quality at control points (2018 and 2019) is given. It is proposed to replace the control points on the Western Bug River and its tributaries in order to obtain more accurate information and improve the work of the water resources basin management.

Вступ

Вода є національним багатством кожної країни, однією із природних основ її економічного розвитку. Доступ до джерел водопостачання визначає можливості розвитку промисловості й сільського господарства, розміщення населених пунктів, організацію відпочинку й оздоровлення людей. Традиційно водокористувачі України (промисловість, сільське і комунальне господарства) десятиліттями здійснюють забір/скид води як господарського ресурсу із водних об'єктів, а також використання водної енергії (гідроенергетика, водний транспорт, рибництво, спорт та туризм). Це спричиняє виснаження природно-екологічного потенціалу гідросфери.

З ціллю розроблення заходів для глобального захисту водних ресурсів прийнята програма «Трансформація нашого світу: Порядок денний для сталого розвитку на 2030 рік» (25 вересня 2015 року, саміт ООН), яка включає 17 глобальних цілей сталого розвитку (ЦСР) та 169 завдань (European Commission. The 2030 Agenda for Sustainable Development and the SDGs). Зокрема, як частина цілі 6 ЦСР – «Чиста вода та належні санітарні умови», показник 6.3.2 має на меті оцінити прогрес у досягненні цілі 6.3 шляхом оцінки ефективності заходів щодо зменшення забруднення прісних вод. Він забезпечує оцінку якості води в річках, озерах та підземних водах та динаміку їх зміни з часом. Показник 6.3.2 забезпечується Глобальною системою моніторингу навколишнього середовища для прісних вод (ГЕСМ/Води). ООН виступає партнером-виконавцем ГЕСМ/Води і забезпечує методологічні питання та контролює їх впровадження (EN Environment. Sustainable Development Goal Indicator 6.3.2 Technical Feedback Process Report).

Організація системи досліджень якісного та кількісного стану поверхневих і підземних вод (водний і гідроекологічний моніторинг) з метою прогнозування ризиків функціонування річкової екосистеми в майбутньому є актуальною. З метою проведення державного моніторингу поверхневих вод розробляються національні, регіональні, відомчі та локальні програми

моніторингу вод, згідно яких визначаються мережі пунктів, показники і режими спостережень для водних об'єктів та джерел забруднення вод, регламенти передавання, оброблення та використання інформації.

Суб'єктами державного моніторингу виступають Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (в структурі якого є Державна екологічна інспекція), Міністерство внутрішніх справ (в структурі якого на даний момент є Державна гідрометеорологічна служба), Міністерство охорони здоров'я, Міністерство агрополітики, Мінрегіонбуд, Держводагенство та басейнові управління водних ресурсів. Спостереження за гідрологічними показниками проводяться на мережі гідрологічних постів підрозділами Укргідрометеослужби. За гідрохімічними показниками суб'єкти моніторингу здійснюють спостереження: Держводагентство (436 створів спостереження); підрозділами Укргідрометеоцентру (327 створів спостереження), державні екологічні інспекції у областях (у створах, визначених дозволами на спеціальне водокористування).

Узагальнена схема оцінки якості довкілля здійснюється згідно таких етапів:

- оцінка шляхом постійного моніторингу;
- розташування постів спостережень у чітко встановлених місцях із наперед визначеною частотою відбору проб;
- проведення лабораторного аналізу акредитованою лабораторією за визначеними методиками та протоколювання отриманих даних (звіт);
- застосування накопиченої бази даних для обґрунтування водоохоронних заходів чи інших управлінських рішень на локальному, регіональному або глобальному рівнях.

Необхідність переходу України на європейські стандарти та нормативи у сфері використання й охорони поверхневих вод, узгодження методик моніторингу, оцінки якості води та типології вивчення гідрографічної мережі подано в праці (Хільчевський, Гребінь, Забокрицька та Соловей, 2016).

Абіотична типологія поверхневих вод ураховує головні риси природних умов водозборів, зумовлені їх фізико-географічним і висотним положенням, геологічною будовою та виражені в їхніх морфометричних особливостях.

Впровадження нової системи моніторингу поверхневих, підземних та морських вод згідно «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» (ПКМУ № 758 від 19.09.2018) є кроками на шляху впровадження стандартів ЄС в сфері якості води та управління водними ресурсами. За «Методикою визначення масивів поверхневих та природних вод» (Наказ Мінекології України №4 від 19.01.2019 р.) до основних критеріїв, за якими визначається масив поверхневих вод, належать: екорегіон; категорія поверхневих вод; типологія; географічні та гідроморфологічні відмінності; зміна екологічного стану; зони (території), які підлягають охороні.

Завдяки «Стратегії національної безпеки України» (2015 р.) планується приведення національного законодавства до відповідності екологічної політики ЄС, зокрема Рамкової Водної директиви 2000/60/ЄС. РВД визначає інтегровану басейнову модель управління водними ресурсами в країнах ЄС з метою досягнення «доброго» екологічного стану масивів поверхневих та підземних вод. Інтегрований підхід до управління водними ресурсами – це система управління водними ресурсами, що гарантує екологічну безпеку і доступність води для населення та природних об'єктів, яка базується на врахуванні усіх джерел води, балансі галузевих інтересів й усіх рівнів водокористування, широкому залученні всіх водокористувачів, раціональному використанні водних ресурсів (Климчик, Пінкіна та Пінкін, 2018). Він впроваджується шляхом гідрографічного і водогосподарського районування території України, розроблення планів управління річковими басейнами, розроблення водно-господарських балансів, визначення повноважень центральних і місцевих органів влади (Климчик та ін., 2018). Для України запровадження басейнового принципу є, насамперед, децентралізацією в сфері управління водними ресурсами, оскільки до басейнових рад залучені як представники державних

органів влади та місцевого самоврядування, так і водокористувачі (не менше 30%) та екологічні громадські організації. Рішення басейнових рад враховуються під час розроблення планів управління басейном та реалізації заходів щодо раціонального використання водних ресурсів і охорони вод.

На виконання Україною положень РВД прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом», згідно якого сформовані дев'ять районів річкових басейнів. Нова система моніторингу поверхневих, підземних та морських вод згідно Постанови КМУ № 758 від 19.09.2018 р. «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» є кроками на шляху впровадження стандартів ЄС в сфері якості води та управління водними ресурсами. Наприклад, Держводагентством України здійснено протягом 2019 року таких 5 кроків щодо розроблення плану управління річковим басейном:

- 1 крок. Визначення водних масивів, їх типологія - до 01.07.2019 р.;
- 2 крок. Аналіз антропогенних впливів, кількісний та якісний стан вод - до 01.11.2019 р.;
- 3 крок. Опис району річкового басейну - до 01.09.2019 р.;
- 4 крок. Реєстр зон, що охороняються - до 01.12.2019 р.;
- 5 крок. Розробка програми моніторингу - до 31.12.2019 р.

Якщо раніше в Україні проводився лише операційний моніторинг, то розпочинаючи із 2019 року (згідно Водної рамкової директиви), мусить проводитися багаторівневий моніторинг: діагностичний, операційний та дослідницький.

Мета – здійснити аналіз впливу органічних, біогенних та певних токсичних речовин на стан якості поверхневих вод басейну річки Західний Буг (в межах Львівської області), а також визначити якість води у створах за класами забруднення. Для написання статті використано матеріали лабораторії

моніторингу вод та ґрунтів Басейнового управління водних ресурсів Західного Бугу та Сяну.

Гідролого-екологічна характеристика ріки Західний Буг

Річка Західний Буг відноситься до річок із змішаним типом живленням, яке відбувається за рахунок талих весняних та літніх дощових вод із невеликою частиною підземного живлення. Найвищий рівень води спостерігається у березні-квітні під час танення снігу, а також у першій половині літа, коли випадає найбільша кількість опадів. Найнижчий рівень води – в серпні-вересні та грудні-лютому. У гідрогеологічному відношенні територія басейну р. Західний Буг належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну, в якому поширені мінералізовані та прісні підземні води. Умови для формування підземних вод на території басейну є сприятливі (Джам та Данилюк, 2017). У басейні Західного Бугу добре розвинена гідрологічна мережа. Середня щільність річкової сітки становить $0,35 \text{ км}^2$ (Гриб, 2018).

Дослідження оцінки стану басейну ріки Західний Буг проводили такі вчені, як: (Klymenko & Likho, 2009; Забокрицька, 2011; Koynova, Rozhko & Blazhko, 2012; Козицька та Музиченко, 2015; Burzyńska, 2016; Voznyuk, Likho, Prischera & Korylova, 2017; Яцьк, Пашенюк, Гопчак и Басюк, 2017; Gorchak, Basiuk, Bialyk, Pinchuk & Gerasimov, 2019).

Ріку Західний Буг віднесено до 5 найбільш забруднених річок України. Протягом 1980-х років з метою контролю скидів промислових підприємств вугільної, енергетичної та спиртової галузі була запроваджена моніторингова система поверхневих вод. На даний час більшість вище перелічених підприємств припинили своє існування, тому підприємства комунального господарства є головними забруднювачами басейну річки Західний Буг. Водні ресурси цієї ріки є перш за все джерелом технічного водопостачання промислових підприємств теплоенергетики, рибогосподарських та сільськогосподарських підприємств.

На питні, санітарно-гігієнічні та комунальні потреби населення Львівської області використовуються лише води із підземного горизонту, оскільки поверхнева вода із Західного Бугу не придатна для питного водоспоживання. Найбільше використовується поверхнева вода в сільськогосподарському водокористуванні і більш ніж 80% це стосується рибних господарств.

Загальний скид у басейн р. Західний Буг за 2019 рік становить 125,1 млн. м³, з яких 2,3 млн. м³ це скид у вигріба, накопичувачі, фільтраційні траншеї, поля підземної фільтрації. Основними забруднювачами у басейні є комунальні підприємства, які скидають понад 90% всіх стічних вод, а із них скид ЛМКП «Львівводоканал» складає більш як 90%. Тому безперечно гігантом забруднення у басейні річки Західний Буг на території Львівської області є ЛМКП «Львівводоканал» із скидом 112,8 млн. м³ стічних вод з яких 33,02 млн. м³ – недостатньо-очищені. В 2019 році в порівнянні з 2018 роком зменшився скид забруднюючих речовин БСК₅, ХСК та завислих речовин за рахунок зменшення об'ємів скидів та покращення роботи КОС-2 ЛМКП «Львівводоканал». Проте, згідно результатів моніторингових досліджень, у порівнянні із попередніми роками (2013-2017 р.р.) якість води у контрольних створах басейну погіршується, тому необхідно терміново вживати заходи щодо покращення екологічного стану річок басейну Західний Буг.

Аналіз основних забруднень ріки Західний Буг

Мережа державного моніторингу якості вод Львівської області у 2019 році складалась із затверджених пунктів (створів) спостережень згідно Порядку, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 р. № 758 та «Програми проведення державного моніторингу довкілля в частині здійснення підрозділами Держводагенства України контролю якості поверхневих вод Львівської області». (Наказ Держводагентства № 30 від 18.01.2019 р.).

«Програмою проведення державного моніторингу довкілля річок Західного Бугу та Сяну в частині здійснення БУВР контролю якості поверхневих вод Львівської області» (Наказ Держводагентства № 6 від 11.01.2018 р.) забезпечується визначення гідрохімічних параметрів якості річки Західний Бугу, аналіз існуючої моніторингової системи та приведення її до вимог Водної рамкової директиви. Вимірювання показників якості води у пунктах державного моніторингу здійснюються щоквартально лабораторією Львівської гідро-геолого-меліоративної експедиції (тепер лабораторія БУВР Західного Бугу та Сяну). Проте, з 2019 року з цієї Програми виключені пункти спостереження річка Західний Буг в м. Добротвір та с. Старгород, а також пункт спостереження на річці Рата смт. Великі Мости.

Гідрохімічний і радіологічний контроль якості поверхневих вод здійснюється лабораторією моніторингу вод і ґрунтів Львівської ГГМЕ за програмою ACDEY за 23 показниками (температура, запах, бали, прозорість, водневий показник, завислі речовини, лужність, твердість, кальцій, магній, калій+натрій, гідрокарбонати, хлориди, сульфати, сухий залишок, амоній-іони, нітрит-іони, нітрат-іони, фосфати, залізо загальне, ХСК, БСК₅, розчинений кисень).

Класифікують два типи джерел забруднення водних об'єктів: точкові (стічні води підприємств та водоканалів/станцій очищення комунальних стоків) і дифузні (пестициди і мінеральні добрива сільгоспугідь, тваринницькі ферми, трансформація ландшафтів, несанкціоновані звалища твердих відходів на берегах).

Визначальний вплив на забруднення річки Західний Буг спричинений стічними водами комунальних підприємств, агропідприємств, інфільтратами численних сміттєзвалищ. За попередні роки такі ж дані підтверджуються дослідженнями (Voznyuk et al., 2017; Gopchak et al., 2019; Chmielowski, Bugajski & Kasztor, 2016).

Надмірно високий вміст щодо амонійного азоту, фосфатів, завислих речовин, ХСК та БСК₅ можна пояснити надходженням цих забруднюючих речовин із мулових майданчиків Львівських очисних споруд площею 22 га (2 млн. тон осаду). Збирання стічних вод для населених пунктів не підключених до каналізаційної мережі, здійснюється у індивідуальні септики або вигріба, стічні води яких не очищуються та можуть бути одними з потенційних джерел забруднення водоносних горизонтів та поверхневих вод. В 2019 році в порівнянні з 2018 роком зменшився скид забруднюючих речовин БСК₅, ХСК та завислих речовин за рахунок зменшення об'ємів скидів та покращення роботи КОС-2 ЛМКП «Львівводоканал».

За характером забруднення роблять попередні висновки про джерело забруднення. Якщо у воді виявлені іони амонію NH_4^+ , але відсутні іони нітритів NO_2^- та нітратів NO_3^- , це свідчить про свіже забруднення господарсько-фекальними стоками. Вміст у воді нітритів та нітратів демонструє забруднення водойми органічними речовинами. Високий вміст нітритів та фосфатів пояснюється висококонцентрованими побутовими стоками із вмістом мийних засобів і пральних порошків, також використанням надміру мінеральних добрив сільсько-господарствами у весняний період. Такі забруднювачі спричиняють активний розвиток водоростей та рослин (евтрофікація), як наслідок – зниження концентрації розчиненого кисню в спекотний період. Відомо, що кисень витрачається на дихання водних істот та розклад органічних сполук. Дефіцит розчиненого кисню викликає деструктивні процеси в будь-якій річковій екосистемі, а для ріки Полтва – означає відсутність можливості для існування риб та інших водних організмів.

Коливання концентрації заліза носить чітко виражений сезонний характер, який залежить від зміни видів живлення. Під час весняної повені із ростом водності зростає концентрація заліза, а мінералізація води (сульфати і завислі речовини) – знижується. І навпаки, у меженний період – мінералізація

різко зростає до максимуму за рахунок підземного живлення, а концентрація розчиненого кисню – падає до мінімуму.

Аналіз екологічного стану ріки Західний Буг за коефіцієнтом забрудненості та пропозиції щодо покращення системи моніторингу

Згідно «Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод» (Наказ Мінекології України № 5 від 19.01.2019 р.) клас екологічного стану масиву поверхневих вод мусить визначатися за біологічними, гідроморфологічними, хімічними та фізико-хімічними показниками:

- для біологічних показників – для п'яти класів, що відповідають екологічним станам «відмінний», «добрий», «задовільний», «поганий» та «дуже поганий»;

- для хімічних та фізико-хімічних показників – для трьох класів, що відповідають екологічним станам «відмінний», «добрий» та «задовільний»;

- для специфічних синтетичних та несинтетичних забруднюючих речовин у межах хімічних та фізико-хімічних показників – для двох класів, що відповідають екологічним станам «добрий» та «задовільний».

Оцінку якості води зроблено згідно коефіцієнта забрудненості (КНД 211.1.1.106-2003, табл. 7) з порівнянням з ГДК для водних об'єктів рибогосподарського призначення (відповідно до Постанови КМУ від 27 травня 1996 р. № 552). Харківський інститут розробив методику оцінки якості поверхневих вод відповідно до якої показники порівнюються із ГДК. Розрахунок екологічної оцінки якості води проводиться за трьома блоками:

- 1) блок забруднення органічними речовинами (К1), який включає БСК, ХСК, розчинений кисень;

2) блок забруднення біогенними речовинами (К2), включаючи вміст: нітратів, нітритів, амонієвий азот, фосфати;

3) блок показників вмісту конкретних токсичних речовин (К3), який складається з одного (загального заліза) до восьми компонентів (загальне залізо, мідь, цинк, марганець, загальний хром, феноли, нафтопродукти, синтетичний поверхнево-активний речовин).

Результати обчислювались у вигляді інтегрального екологічного показника (КЕ). Отримані числові значення дозволяють оцінити стан води за рівнями забрудненості за такими значеннями: 1 (незабруднені (чисті)); 1,01...2,50 (слабко забруднені); 2,51...5,00 (помірно забруднені); 5,01...10,00 (брудні); > 10 (дуже брудні).

Оцінка якості поверхневих вод у створах Львівської області за 2019 рік представлена у таблиці 1, за 2018 рік – у таблиці 2.

Якість води у створі р. Полтва - с. Кам'янопіль покращилася, і у 2019 році відноситься до IV класу якості води (погана) 6 категорії (брудна) у порівнянні із 2018 роком (V клас якості води (дуже погана) 7 категорії (дуже брудна).

Таблиця 1

Якість поверхневих вод у створах Львівської області, 2019 р.

№	Назва пункту спостереження	квартал	блок К1	клас якості води	блок К2	клас якості води	блок К3	клас якості води	блок КЕ	клас якості води
1.	р. Полтва – с. Кам'янопіль	I	3,1	III	5,6	IV	4,7	III	5,5	IV
		II	3,9	III	9,5	V	1,7	II	5,6	IV
		III	3,0	III	10,0	V	2,2	II	5,6	IV
		IV	2,4	II	7,3	V	5,0	III	5,1	III
2.	р. Західний Буг – м. Кам'янка-Бузька	I	1,0	I	3,2	III	4,6	III	3,2	III
		II	1,1	II	3,1	III	2,4	II	3,1	III
		III	1,4	II	4,1	III	2,5	II	2,9	II
		IV	1,1	II	2,1	II	3,8	III	2,3	II
3.	р. Західний Буг – м. Сокаль	I	1,0	I	2,4	II	4,5	III	2,6	II
		II	1,0	I	2,3	II	2,8	II	2,0	II
		III	1,1	I	2,3	II	3,8	III	2,4	II
		IV	1,2	I	2,4	II	4,0	III	2,5	II
4.	р. Західний Буг – с. Литовеж	I	1,0	I	1,7	II	4,5	III	2,4	II
		II	1,1	I	2,0	II	2,6	II	1,9	II
		III	1,1	I	1,6	II	4,2	III	2,3	II
		IV	1,2	I	1,3	I	3,3	III	1,9	II

Якість поверхневих вод у створах Львівської області, 2018 р.

№	Назва пункту спостереження	квартал	блок К1	клас якості води	блок К2	клас якості води	блок К3	клас якості води	блок КЕ	клас якості води
1.	р. Полтва – с. Кам'янопіль	I	6,2	IV	14,8	V	3,7	III	9,33	V
		II	5,6	IV	30,2	V	8,4	У	16,05	V
		III	3,7	III	10,8	V	4,5	III	6,7	V
		IV	3,2	III	8,49	V	4,0	III	5,51	IV
2.	р. Західний Буг – м. Кам'янка-Бузька	I	1,61	II	7,2	V	1,8	II	3,51	III
		II	1,39	I	7,1	V	2,5	II	3,66	III
		III	1,0	I	5,0	III	2,6	II	2,86	II
		IV	1,9	II	6,6	У	5,0	III	4,5	III
3.	р. Західний Буг – Добротвірське водосховище	I	1,36	I	4,03	III	1,7	II	2,36	II
		II	1,58	II	4,87	III	2,5	II	2,98	II
		III	1,59	II	4,57	III	3,3	II	3,15	III
		IV	2,12	II	6,73	V	3,0	II	3,95	III
4.	р. Західний Буг – м. Сокаль	I	1,0	I	1,75	II	1,5	I	1,41	I
		II	1,09	I	3,16	II	1,3	I	1,85	II
		III	1,47	I	3,6	III	3,2	II	2,76	II
		IV	1,52	II	5,67	IV	2,0	II	3,04	II
5.	р. Західний Буг – с. Старгород	I	1,0	I	1,5	II	2,8	II	1,76	II
		II	1,09	I	3,26	II	1,4	I	1,92	II
		III	1,39	I	4,81	III	2,1	II	2,77	II
		IV	1,51	II	6,33	IV	2,1	II	3,31	II
6.	р. Рата – смт. Великі Мости	I	1,0	I	1,0	I	3,1	II	1,7	II
		II	1,0	I	2,44	II	4,2	III	2,54	II
		III	1,0	I	3,1	II	2,2	II	2,1	II
		IV	1,0	I	3,0	II	2,8	II	2,26	II

Якість води у створах р. Західний Буг - м. Кам'янка-Бузька та Добротвірське водосховище якість води відноситься у 2019 році до II-III класу (слабко забруднена - забруднена) 3, 4 категорії (досить чиста і слабко забруднена) у порівнянні із 2018 р. (III клас (забруднена) 4, 5 категорії (слабко і помірно забруднена).

Якість води у створах р. Західний Буг - м. Сокаль та с. Старгород, а також в створі на р. Рата - смт. Великі Мости якість води відноситься до II класу (добра) 2,3 категорії (чиста та досить чиста).

Якість води у створах р. Західний Буг - м. Сокаль та с. Литовеж відноситься до II класу (добра) 2,3 категорії (чиста та досить чиста).

Згідно «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями», води річки Західний Буг та інших річок басейну можна віднести за їх станом до III класу (задовільна) та II класу (добрі) і відповідно до 4 категорії (задовільна) та 5 категорії (посередня) і відповідно 2 категорії (дуже добрі) та 3 категорії (добрі), а за ступенем їх чистоти (забрудненості) - до III класу (забруднена) та II класу (чисті) і відповідно до 4 категорії (слабко забруднена) та 5 категорії (помірно забруднена) і 2 категорії (чисті) та 3 категорії (досить чисті).

Умови формування якості води під впливом антропогенних факторів фіксувались індекси і були визначені межі коливань екологічні показники водних об'єктів, які мають важливе значення для вирішення питань управління водними ресурсами, здійснення охорони навколишнього середовища та відновлення заходи. У 2019 році перенесено контрольний створ на річці Західний Буг в Старгороді (оскільки відбувається дублювання із пунктом моніторингу в селі Литовеж Волинської області, 7 км) в місто Буськ після скиду в р. Полтва. Розробляється пропозиція удосконалення схеми розміщення існуючих пунктів моніторингу відповідно до антропогенного навантаження.

Автором (Безсонний, 2019) до основних недоліків існуючої системи моніторингу поверхневих вод відносить, зокрема, неможливість оперативної реєстрації аварійних забруднень водойм чи водотоків через відсутність систем безперервного контролю якісних характеристик вод. Створення веб-інтегрованої системи моніторингу якості поверхневих вод в реальному часі із застосуванням математичних імітаційних моделей, картографування, ГІС-технологій, супутникового дистанційного зондування на базі стаціонарної моніторингової мережі є основною метою забезпечення екологічної безпеки водної екосистеми (Gunatilaka, Moschetta & Sanfilippo, 2007; Chen, Zhang & Hallikainen, 2007).

На нашу думку, одним із найбільш дієвих заходів покращення роботи є оснащення контрольних створів автоматизованими дистанційними

гідрологічними постами та комплексами із автономно працюючим устаткуванням (аналіз води безперервно, або із заданою періодичністю за 2 – 6 параметрами) та застосування пересувних лабораторій (із обладнанням для відбору проб і аналізу води в польових умовах за 5 – 15 показниками).

Висновки

Проведений аналіз техногенного забруднення ріки Західний Буг за результатами спостережень у контрольних створах. Встановлено значні масштаби забруднення, які призвели до незадовільного екологічного стану річки. Встановлені основні забруднювачі, серед яких найбільшими є Львівводоканал, водоканали Червоноградсько-Сокальського промислового району, Добротвірська ТЕС.

З ціллю отримання більш коректних результатів запропоновано перемістити контрольні створи у місця, де результати оцінки відібраних із них проб були б доповнюючими до інформації щодо загального стану річки. Одним із шляхів покращення роботи басейнового управління водних ресурсів ріки Західний Буг є оснащення контрольних створів автоматизованими дистанційними гідрологічними постами. Запропоновано впровадження безперервного контролю стану води у Західному Бузі з проведенням в разі необхідності оперативних коригуючих заходів.

Список літератури

Gunatilaka, A., Moschetta, P., & Sanfilippo, L. *Recent Advancements in Water Quality Monitoring - the use of miniaturized sensors and novel analytical measuring techniques for in-situ and on-line real time measurements.* <http://www.systea.it/Papers/Projects-systems/Gunatilaka%20et%20al.%20Recent%20advance%20in%20water%20monitoring%20sensors%20-%20final.pdf>

- Burzyńska, I. (2016). Ocena wybranych wskaźników fizykochemicznych w wodach rzeki Raszynki (Evaluation of selected physical and chemical indicators in Raszynka River). *Woda Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 16. Z. 3(55).23-34.
- Chmielowski, K., Bugajski, P., & Kaczor, G. B. (2016). Comparative analysis of the quality of sewage discharged from selected agglomeration sewerage systems. *Journal of Water and Land Development* .No. 30 (VII–IX), 35-42. doi: 10.1515/jwld2016-0019.
- EN Environment. (n.d.). *Електронний ресурс: Sustainable Development Goal Indicator 6.3.2 Technical Feedback Process Report*. Retrieved from [https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials?preview=/32407814/38306462/CDC_SDG%20Technical%20Feedback%20Process%20Report_20191008%20\(1\).pdf](https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials?preview=/32407814/38306462/CDC_SDG%20Technical%20Feedback%20Process%20Report_20191008%20(1).pdf)
- European Commission. (n.d.). *Електронний ресурс: The 2030 Agenda for Sustainable Development and the SDGs*. Retrieved from [https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials?preview=/32407814/38306462/CDC_SDG%20Technical%20Feedback%20Process%20Report_20191008%20\(1\).pdf](https://communities.unep.org/display/sdg632/Documents+and+Materials?preview=/32407814/38306462/CDC_SDG%20Technical%20Feedback%20Process%20Report_20191008%20(1).pdf)
- Gopchak, I., Basiuk, T., Bialyk, I., Pinchuk, O., & Gerasimov, I. (2019). Dynamics of changes in surface water quality indicators of the Western Bug River basin within Ukraine using GIS technologies. *Journal of Water and Land Development*., No. 42 (VII–IX), 67-75. doi: 10.2478/jwld-2019-0046
- Klymenko, N., Likho, E., Dojlido, J., (Eds.), & Dyguś, K. H. (Eds.). (2009). *Formation of water quality of the Western Bug and present-day conditions of the river*. In: Problems of water protection in the Bug and Narev river catchments: Monograph. Warszawa: Ofic. Wydaw. WSEiZ, 67–75.
- Koynova, I., Rozhko, I., Blazhko, N., Dyguś, K. H. (Eds.). (2012). *Ecological threats to the valley of the Bug river (Lviv region)*. In: Natural human environment. Dangers, protection, education: Monograph. Warszawa. Ofic. Wydaw. WSEiZ. 55–64.

- Qiaoling, Chen, Yuanzhi, Zhang, & Martti, Hallikainen. (2007). Water quality monitoring using remote sensing in support of the EU water framework directive (WFD): A case study in the Gulf of Finland. *Environmental Monitoring and Assessment*, February 2007, 157-166.
- Voznyuk, N., Likho, E., Prischepa, A., & Kopylova, O. (2017). The trends of development of phosphate regime in Western Bug surface waters on the territory of Ukraine. *International Journal of New Economics and Social Sciences*. Nr 1 (5), 22-27
- Безсонний, В. Л. (2019). Моніторинг поверхневих джерел водопостачання в умовах впровадження Водної Рамкової Директиви ЄС. *Комунальне господарство міст, том 3, випуск 149*, 69-76.
- Гриб, О. М. (2018). *Антропогенний вплив на водні екосистеми* [конспект лекції Одеса: Од. держ. екол. ун-т.
- Джам, О. А., & Данилюк, І. В. (2017). Динаміка стану якості поверхневих вод басейну р. Західний Буг. *Вісн. Одес. держ. екол. унів.*, №21, 56-65.
- Забокрицька, М. (2011). Міждержавне співробітництво з моніторингу та управління водними ресурсами р. Західний Буг. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Т. 2, 142-147.
- Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2016, № 46, ст.780).
- Климчик, О. М., Пінкіна, Т. В., & Пінкін, А. А. (2018). Впровадження системи інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом. *Scientific Journal «Science Rise»*, №4(45), 36-40.
- Козицька, Л., & Музиченко, О. (2015). Інтегральна оцінка екологічного стану поверхневих вод річки Західний Буг в межах Волинської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, № 3-4, 78-83.

- Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод. (2018). (Постанова КМУ № 758 від 19.09.2018 р.)
- К.: Європейський Союз. (2014). *Електронний ресурс: Управління довкіллям та інтеграція екологічної політики до інших галузевих політик: короткий опис Директив ЄС та графіку їх впровадження*. Retrieved from http://www.if.gov.ua/files/uploads/Upravlinnya_brochure_final.pdf
- Хільчевський, В., Гребінь, В., Забокрицька, М., & Соловей, Т. (2016). Типологія річок й озер української частини басейну Західного Бугу згідно з вимогами Водної рамкової директиви ЄС та її узгодження з дослідженнями в Польщі. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Загальна теоретична, фізична і конструктивна географія*. 14 (339), 16-24.
- Яцык, А., Пашенюк, И., Гопчак, И., & Басюк, Т. (2017). Экологическая оценка использования водных ресурсов реки Западный Буг. *Материалы докладов V Международного Водного Форума. Водные ресурсы и климат*. Часть 1. 05–06.10. (pp. 218-223). Минск. 2017 BGTU.

СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ В УМОВАХ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЯК ФАКТОР ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ (НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНСЬКОГО ПЕРЕДКАРПАТТЯ)

Назаревич Л.Є., Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Відділ сейсмічності Карпатського регіону, кандидат геологічних наук, науковий співробітник, Україна

Назаревич А.В., Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Україна

Abstract

The modern seismic activation of the main oil and gas areas of the Pre-Carpathian foredeep – Dolyna (1974-2020), Nadvirna (1996-2013) and Boryslav (2014-2017) was traced. In these areas mostly small earthquakes are recorded (with $M=0.8-2.5$), sometimes slightly stronger (with $M=2.5-3.6$) with macroseismic effects up to 3-6 points. The refinement of the location of the studied earthquakes courses is carried out on the regional travel time tables and the method of residuals minimizing. The directions of ruptures breaking in the foci of the stronger ones were studied, the ruptures lengths and other parameters of these courses were estimated. The spatial models of seismic activity of the main seismogenic structures in these areas have been constructed. It has been established that most of the earthquakes courses tend to transverse faults of the anti-Carpathian (northeastern) direction (in the zones of their intersection with the Precarpathian deep fault), which cross or limit the oil and gas structures, part of the courses tends to the ones available here thrusts and folds of different depth. It is established that long-term active mining, modern geodynamics and local seismicity are negative factors for sustainable and safe development of the territory. In particular, there are the dangers from technogenic karst failure processes in the areas of mines of Stebnyk potash deposit.

Вступ

Наслідки, спричинені катастрофічними землетрусами, займають у світі одне з перших місць за людськими, матеріальними та економічними збитками. Це показує, наприклад, найновіший руйнівний землетрус поблизу міста Ізмір у Туреччині 30.10.2020 р. з магнітудою $M=7,0$. Хоча вогнище землетрусу знаходилось на глибині 16,5 км під морським дном Егейського моря між Туреччиною і Грецією, він спричинив численні руйнування, людські жертви в прилеглих районах суші обох держав, вніс в повсякденне життя хаос, біль, страх, невизначеність.

На території заходу України за картою загального сейсмічного районування (ЗСР-2004) найбільш сеймоактивними є Закарпаття та Передкарпаття. Тут окрім природної сейсмічності, викликані тектонічними процесами, відбуваються землетруси, спричинені антропогенною діяльністю, у т.ч. видобуванням корисних копалин. Тут в останні десятиріччя зафіксовано помітне зростання сейсмічної активності, зокрема, у зонах інтенсивного видобування нафти і газу, у т.ч. в районах, які вважалися асейсмічними. Така сейсмічна активізація простежується і в багатьох інших нафтогазодобувних районах світу, тому вчених зацікавив факт зв'язку сейсмічності з видобуванням корисних копалин в земних надрах. Ряд таких досліджень представлено в роботах (Назаревич Л.Є. та Назаревич А.В., 2015, 2018; De Pater & Vaisch, 2011; Keranen, Savage, Abers and Cochran, 2013). Серед катастрофічних землетрусів, які виникли в районах видобування нафти і газу, добре відомі Газлійські землетруси (Середня Азія) 1976 і 1984 рр. з магнітудою M 6,8 і 7,3 відповідно, Нефтегорський землетрус 1995 р. з $M=7,2$ (о. Сахалін), Тангшанський землетрус 1976 р. з $M=7,8$ (Китай) та інші. Сейсмічна активність останнім часом також зросла у ряді районів видобування сланцевої нафти та газу, де інтенсивно використовується методика гідророзриву пласта, наприклад, у Великобританії, в Нідерландах, у штаті Оклахома (США), у Ботсвані (Африка) (De Pater & Vaisch, 2011; Keranen et al., 2013). Геологічна служба Оклахоми

визнала, що сейсмічна активізація тут (рис. 1) пов'язана не тільки з природними факторами, а з закачуванням води у пласти і проведенням гідророзриву. Подібно й у Передкарпатті у 1976 р. в районі нафтопромислів м. Долини, де пік активного видобування покладів нафти (у т.ч. з законтурним закачуванням води) припадає на 60-ті роки ХХ століття, відбулося кілька відчутних (з інтенсивністю $I=4-6$ балів) і близько сотні слабких землетрусів (Кендзера, Пронишин та Бень, 1997). Сейсмічний вплив від цих землетрусів призвів до аварій на нафтовидобувному обладнанні у зонах їхніх вогнищ, а через тріщини в земній поверхні тут подекуди просочувалась нафта. Також в районі газового родовища Лопушна (Покутсько-Буковинські Карпати) у перші півроку експлуатації (1986 р.), ймовірно, через тектонічні рухи, вийшли з ладу через зріз і зминання обсадних колон декілька свердловин. За даними ряду вчених, додатковою причиною цих землетрусів стало активне видобування вуглеводнів. Такі землетруси виникають тоді, коли розробка родовищ відбувається без врахування рівня тектонічних напружень, вона може служити спусковим механізмом для виникнення наведеної (індукованої) сейсмічності (Назаревич Л.Є. та Назаревич А.В., 2015, 2018; De Pater & Vaisch, 2011; Keranen et al., 2013).

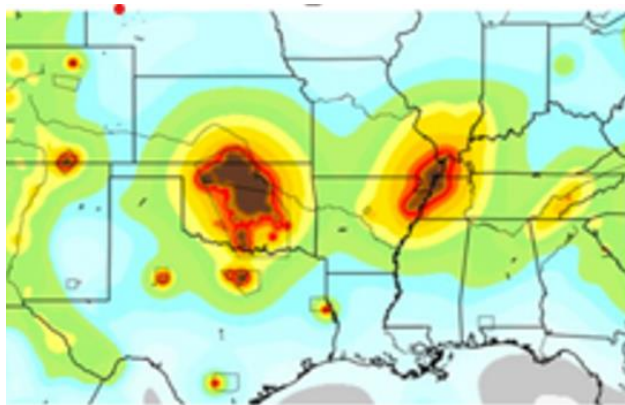


Рис. 1. Карта сейсмічної активізації (наведеної сейсмічності) в зонах родовищ нафти штатів Оклахома, Міссурі, Теннессі та Арканзас (США)

На виникнення наведеної сейсмічності в нафтогазоносних районах, за даними численних досліджень, разом з наявними природними фоновими

тектонічними напруженнями у земній корі, спричиненими геодинамічними процесами в регіоні, також впливають такі фактори (вони характерні також для Передкарпаття):

- тривале інтенсивне видобування вуглеводнів, що спричиняє зміну поля напружень у зоні видобування. Сейсмічна активність проявляється в районі покладів газу в середньому через 2-16 р., на нафтових промислах – через 7-30 р. від початку інтенсивного видобування;
- тектонічні напруження, девіаторна складова яких реагує подіями навіть на незначні впливи техногенного характеру (відбір – закачування рідин);
- фізико-механічна неоднорідність продуктивних пластів, вміщуючих порід і покришок.

Українське Передкарпаття за картою ЗСР-2004 віднесене до територій, де можливі землетруси з інтенсивністю до 6 балів за шкалою MSK-64 (рис. 2). Воно характеризується в загальному спорадичною, диференційованою в часі місцевою сейсмічністю з землетрусами порівняно невеликої сили (з магнітудою M здебільшого до 3,5 (Евсеев, 1961; Кендзера та ін., 1997; Назаревич та Стародуб, 2010). Тому питання вивчення сейсмічних впливів місцевих землетрусів на інфраструктуру цієї території є актуальним.

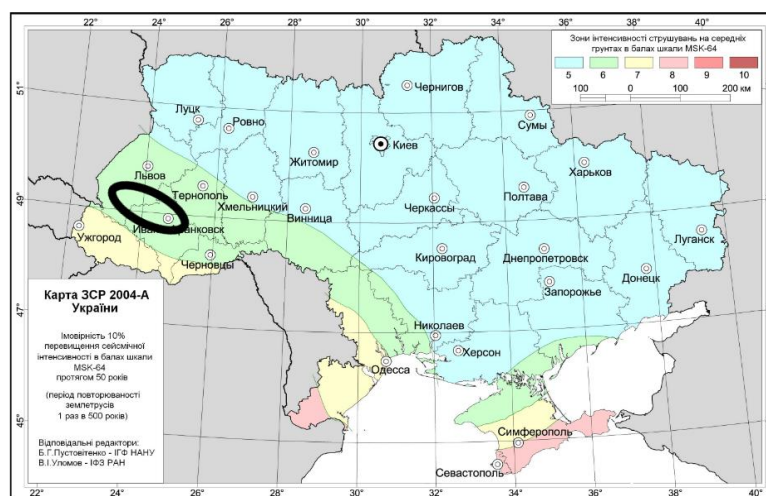


Рис. 2. Карта загального сейсмічного районування ЗСР-2004-А території України для періоду повторюваності сейсмічної активності 1 раз в 500 років (під ред. Б. Пустовітенко, В.Уломова); чорний овал – досліджувана територія Передкарпаття

Важливість сейсмоекологічних досліджень зумовлена наявністю в регіоні багатьох важливих і екологічно небезпечних об'єктів – гребель водосховищ ГЕС і ГАЕС, магістральних нафто- і газопроводів, численних родовищ газу і нафти, залізничних і автомобільних доріг з мостами і тунелями, хвостосховищ хімічних підприємств і т.п. Останнім часом підвищена актуальність таких досліджень пов'язана ще й із застосуванням при видобуванні нафти і газу на місцевих родовищах технологій позаконтурного закачування води та гідророзриву пласта.

Мета

Метою роботи є дослідження спостережуваної в останні десятиліття сейсмічної активізації основних нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину, визначення наявних тут тектонічно активних геологічних структур, оцінка величин та характеру напружень у геологічному середовищі, все це необхідне для пізнання причин сейсмічності досліджуваної території а також для уточнення рівня і характеру сейсмоекологічної небезпеки для неї.

Методика досліджень

Загальна методика досліджень об'єднує просторово-часовий аналіз сейсмічності сейсмоактивних зон Передкарпаття з аналізом їх тектонічної будови.

Інструментальні сейсмічні спостереження в Карпатському регіоні України ведуться з 1960 року, спочатку на трьох сеймостанціях з аналоговою апаратурою. В подальшому кількість сеймостанцій збільшувалася, покращувалась точність визначення координат вогнищ землетрусів, їх енергетичних характеристик (Назаревич та Стародуб, 2010). Зараз у регіоні працює 20 цифрових сейсмічних станцій – у Карпатах, Закарпатті, Передкарпатті, застосовуються нові спеціально розроблені методики уточненого (з точністю до ± 1 км і краще) визначення координат і глибин

землетрусів (Назаревич А.В. та Назаревич Л.Є., 2002а, 2020б, 2004; Kováčiková, Logvinov, Nazarevych A., Nazarevych L., Pek, Tarasov & Kalenda, 2016).

Для визначення уточненої локалізації та основних параметрів вогнищ проаналізованих у статті землетрусів Передкарпатського прогину використовувались цифрові записи сейсмічних подій всієї Карпатської сейсмічної мережі (Відділ..., 2020) а також сейсмічних станцій Польщі, Румунії, Угорщини і Словаччини, комп'ютерні програми для гіпоцентрії, в яких закладено ітераційний метод послідовних наближень (Вербицький С., Вербицький Ю., 2011), розрахунковий сейсмічний годограф та кінематичні поправки (усереднені нев'язки), що враховують наявні значні особливості швидкісної будови кори різних зон регіону (Назаревич Л.Є. та Назаревич А.В., 2002а, 2004), графіки Вадаті. Це дає можливість точніше визначати координати і глибини вогнищ місцевих землетрусів, їх енергетичні, спектральні та інші характеристики, а співставлення з тектонікою та морфологією рель'єфу – надійно дешифрувати тектонічно активні структури літосфери регіону, визначати їх сейсмічний потенціал і таким чином уточнювати сейсмоекологічні ризики.

Виклад основного матеріалу

Геодинаміка Передкарпатського прогину. Сейсмічність є індикатором геодинамічної активності території. У Передкарпатському прогині вона зумовлена в основному двома факторами – регіональною складовою глобального геодинамічного процесу і субрегіональними та місцевими (локальними) процесами (Назаревич А. та Назаревич Л., 2002б; Nazarevych A. & Nazarevych L., 2006). До першої категорії належать процеси, що зумовлюють втягування наявної у регіоні південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи а також зони її зчленування з молодого Західноєвропейською платформою і Карпатським орогеном у деформаційні процеси, що відбуваються в Альпійсько – Трансзійському сейсмоактивному поясі та в обрамленні цих

тектонічних структур і можуть бути причиною сильних землетрусів на цій території. Субрегіональна і локальна складові сейсмічності спричинені в основному процесами в мантиї регіону (плюм в астеносфері під Паннонією), деформаційними та фізико-хімічними процесами в земній корі, частково – антропогенним впливом.

Сейсмічність Українського Передкарпаття. Територія Передкарпаття зазнає впливу як місцевих корових землетрусів здебільшого невеликої сили з інтенсивністю сейсмічних струшувань до 4-6 балів (Бень, Пронишин, Стасюк та Мельничук, 1999; Евсеев, 1961; Кендзера та ін., 1997, Назаревич та Стародуб, 2010; Назаревич Л. та Назаревич А., 2004; Nazarevych A. & Nazarevych L., 2006), так і глибокофокусних ($h > 100$ км) сильних землетрусів зони Вранча (Румунія) з $M = 6,6-7,8$ (Бень та ін., 1999; Евсеев, 1961; Кендзера та ін., 1997), сила сейсмічних струшувань від яких на території Передкарпаття сягає 4-х – 5-ти балів. За даними дослідження О.М. Сафронова (Сафронов, 2012) Передкарпаття віднесене до Передкарпатсько-Дністровської сеймотектонічної провінції з підвищеним сеймотектонічним потенціалом. Тут виділені домени з максимальною прогновною сейсмічною енергією місцевих землетрусів $M_{max} = 5.5$ (Сафронов, 2012). Враховуючи, що за останні 250 років у Передкарпатті не було зафіксовано значних землетрусів, то існує ймовірність виникнення тут землетрусу з максимальною прогновною сейсмічною енергією (або серії слабших подій), так як сеймотектонічний потенціал цієї території ще не реалізований. Враховуючи також, окрім тектонічних чинників, антропогенний вплив і відповідні зміни фізико-механічних характеристик геологічного середовища, на цій території можуть відбуватися цілі серії відчутних наведених землетрусів впродовж певного часу.

За період інструментальних спостережень з 1961 р. на території Передкарпаття відбувся ряд землетрусів (Бень та ін., 1999; Кендзера та ін., 1997; Назаревич та Стародуб, 2010; Назаревич Л. та Назаревич А., 2004; Nazarevych A. & Nazarevych L., 2006), які мають свої енергетичні і просторово-

часові особливості. За комплексним аналізом сейсмічних, геолого-тектонічних та геоморфологічних даних у Передкарпатському прогині нами виділено три найбільш сейсмоактивні райони: Долина, Надвірна, Борислав (рис. 3).

Сейсмічність району Долини. Цей район першим з виділених нами сейсмоактивних районів Українського Передкарпаття зазнав вираженої сеймотектонічної активізації. У 1974-1976 рр. сейсмічними станціями тут зареєстровано понад 30 землетрусів різної сили (рис. 4) (Бень та ін., 1999; Кендзера та ін., 1997), найсильніші з них були відчутними – з макросейсмічними ефектами і струшуваннями інтенсивністю I до 3-6 балів в районі м. Долини. Значна кількість слабких землетрусів з магнітудою M 0,5-0,8 була зареєстровано тільки однією – двома ближніми станціями негустої ще у той час сейсмічної мережі. Для трьох найсильніших місцевих землетрусів, які відбулися 14.01.1976, 01.02.1976, 07.03.1976 рр., проаналізовано макросейсмічні поля (Назаревич Л.Є. та Назаревич А.В., 2018).

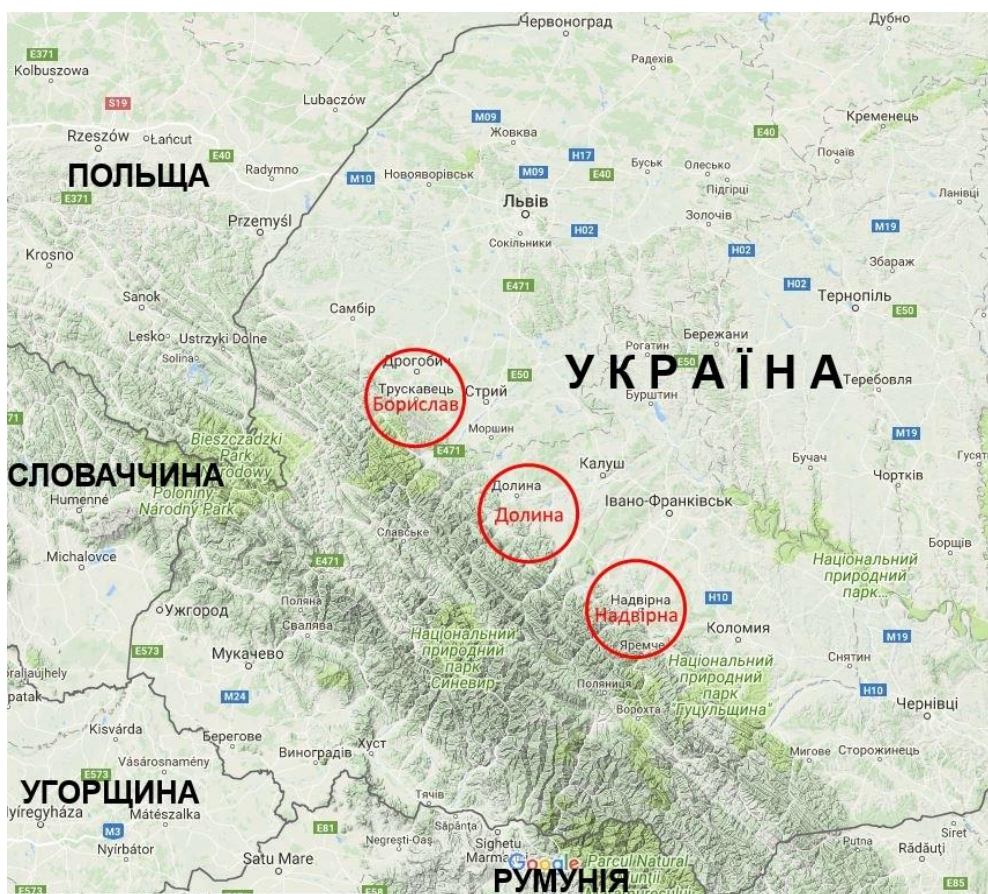


Рис. 3. Сейсмоактивні райони Передкарпаття на карті заходу України (картооснова Google maps з рельєфом)

За уточненою за новими методиками гіпоцентрією сейсмічних подій, новими методиками аналізу макросейсмічних полів, сучасними даними про геологічну будову району встановлено, що вогнища цих землетрусів знаходяться в зоні впливу Долинського родовища нафти на глибинах 1,5-3,5 км. Це родовище розташоване в Долинській складці, яка є антикліналлю і має загальнокарпатську орієнтацію, поклади видобувають з глибин 1500-3000 м. За нашими розрахунками вогнища згаданих вище трьох сильніших землетрусів розташовані на краю опущеної південно-західної частини Долинської складки, на глибинах 2-3 км, тобто вище глибин покладів вуглеводнів. Очевидно, саме тут, у зоні покрівлі пасток вуглеводнів виникають найбільші тектонічні напруження. Ці результати кореспондуються з результатами подібних наших досліджень по району Надвірної і з результатами інших авторів – саме навколо покладів відбувається найбільша концентрація тектонічних напружень, зумовлених відбором нафти і газу та закачуванням технічних вод. На зв'язок землетрусів з областю видобування вуглеводнів вказує також конфігурація плейстосейстових областей (області максимальних сейсмічних інтенсивностей) макросейсмічних полів згаданих землетрусів, всі вони мають видовжену форму та орієнтацію в напрямку простягання Карпат і відповідних складок та геологічних структур Долинського родовища.

Інтенсивне видобування нафти і газу на Долинському родовищі почалося з 1950 р. досягнувши свого максимуму по газу (1,2 млрд. кубометрів) у 1963 р. і по нафті (2 млн. тонн) – у 1966 р., що далеко перевищило заплановані показники. Таке інтенсивне видобування вуглеводнів порушило геодинамічну рівновагу у геологічному середовищі, тут відбувся перерозподіл тектонічних напружень, що й спровокував серію Долинських землетрусів на глибинах 2-3 км, які спричинили також ряд аварій на нафтопромислах (Іванюта, 1998; Крупський, 2001).

Спільний аналіз тектоніки та локалізації гіпоцентрів Долинських землетрусів показав, що вогнища цих землетрусів розташовані в зоні впливу перетину діагонального Передкарпатського і ортогонального Турянського

розломів (Іванюта, 1998; Крупський, 2001; Глушко та Круглов, 1986) (рис. 4, а), першого з них тут перетинає під гострим кутом також Краковецький розлом (рис. 4, б). Розриви у вогнищах 3-х сильніших землетрусів району Долини (напрями яких трасуються за аналізом макросейсмічних полів) мають орієнтацію, яка збігається з простяганням тут Передкарпатського розлому, а просторово (як зазначалося вище) – з розташуванням Долинської складки.

Після серії землетрусів 1974-1976 рр. у цій зоні на певний період встановилося сейсмічне затишшя. Але у 1983 р. тут знову зафіксована сейсмічна активність на північний захід від попередніх вогнищевих зон. Землетруси ці невеликої сили – $K=7,6-8,6$ ($M=2-2,6$). В останні роки кілька слабких землетрусів зафіксовано інструментально також за 5-10 км на південний захід від Долини, у напрямку простягання Турянського розлому, в районі села Вигода. Щодо причин такого розширення зони сейсмічної активізації в районі Долини можна сказати, що спричинені порушенням геодинамічної рівноваги збурення напружено-деформованого стану породних товщ у зонах родовища здатні викликати відчутні землетруси не тільки безпосередньо в околі зони видобування, але і поширитися на більші віддалі, зокрема, вздовж перетинаючих зони родовищ розломів, провокуючи там землетруси меншої сили.

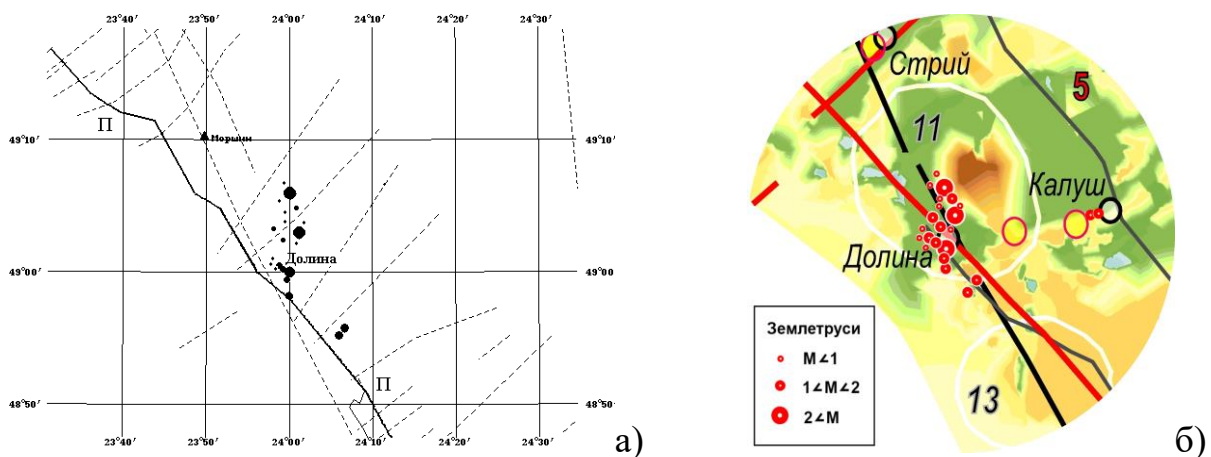


Рис. 4. Сейсмічність району Долини: а) – карта-схема просторової локалізації вогнищ землетрусів (чорні кружки – епіцентри подій різної магнітуди) на фоні розломної тектоніки району (за В.В. Глушком та С.С. Кругловим (Глушко, Круглов, 1986), тут П-П – Передкарпатський розлом); б) – землетруси району Долини на карті голоценових рухів – піднять/опускань (фрагмент карти з (Полівцев, 2011)).

Тут зазначимо, що за даними карти вертикальних голоценових рухів А.В. Полівцева (Полівцев А., 2011) (рис. 4, б) вогнища землетрусів з району Долини розташовані у зоні Моршинсько-Рожнятівського морструктурно-неотектонічного вузла з диференційованими голоценовими вертикальними рухами (сумарні амплітуди піднять від 0,9 до 12,8 м).

Найновіша сейсмічна активізація в цьому районі відбулася 1 червня 2020 року зразу двома землетрусами за 9 км на північ від Долини – о 07.22 год з $M=3.2$ і о 21.05 год. з $M=2.7$ з епіцентрами в околицях сіл Якубова і Тростянець (рис. 5). Обидва землетруси супроводжувались відчутними макросейсмічними ефектами в епіцентральної зоні і викликали занепокоєння і навіть паніку серед населення. Очевидці розповідають, що за 30 хвилин до першої події з $M=3,2$ собаки сильно гавкали, чути було гул в повітрі, ніби йде товарний поїзд з Долини, потім все раптово затихло, а через кілька секунд почало трясти. Люди повибігали з будинків, а потім все стихло.

За макросейсмічними та інструментальними даними, епіцентри цих двох землетрусів знаходились на 3-5 км північніше від структур Північно-Долинського нафтового родовища (рис. 5). Глибина залягання сейсмічних вогнищ 2 км.

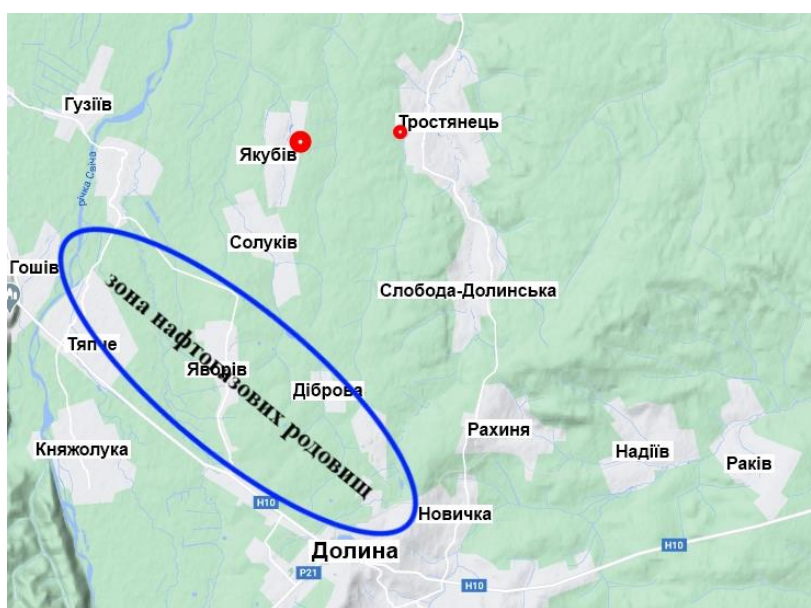


Рис. 5. Землетруси в районі Долини 1.06.2020 – о 07.22 год з $M=3.2$ і о 21.05 год. з $M=2.7$ (позначені червоними кружками) на картооснові Google maps

За 27 км на схід від зони Долинських землетрусів знаходиться ще одна техногенно навантажена зона (рис. 4, б) – це зона калійних родовищ Калуша. Тут довго видобували калійну сіль шахтним способом, утворені пустоти консервували розсолами, які з часом розмивали цілики підземних камер, руйнували їх. Додатково карстоутворення активізувалось і природними геодинамічними процесами, що призводять до розущільнення породних товщ і проникання через них у зони калійних покладів приповерхневих слабомінералізованих вод і спричиняють інтенсифікацію розчинення цих порід. Про наявність таких процесів свідчать диференційовані вертикальні голоценові рухи у цьому районі (див. рис. 4, б). В результаті усіх таких процесів у 1987 р. на околиці Калуша в зоні старих шахтних полів стався провальний землетрус з інтенсивністю I 3-4 бали, який завдав матеріальних збитків місцевому населенню (дві садиби провалилися під землю, деякі інші зазнали пошкоджень). Цей процес триває і донині, у 2020 р. у с. Кропивник Калузької ОТГ утворилось нове провалля, також на цій території в ряді місць зафіксовано помітне опускання денної поверхні землі.

Сейсмічність району Надвірної. Іншою сейсмоактивною зоною у Передкарпатті є район Надвірної. За історичними та інструментальними даними раніше землетрусів на цій території не було зафіксовано (Кендзера та ін., 1997; Бень та ін., 1999; Назаревич та Стародуб, 2010). А починаючи з 1996 року, тут спостерігається помітна сейсмічна активізація (рис. 6) (Назаревич Л. та Назаревич А., 2015, 2018). Порівняно з районом Долини, тут не зафіксовано сильніших землетрусів з макросейсмічними ефектами, всі сейсмічні події є досить слабкими – з $K=6-8$ ($M=1,1-2,2$). Хід сейсмічної активізації має тут свої особливості (рис. 6, б). Спочатку, у 1996-97 рр. відбулося 2 слабких землетруси ($K=6/7$, $M=1,1/1,7$), далі з 1999 р. щороку відбуваються одиночні більш сильні події (з K – до 8, M – до 2,2) і так триває до 2003 р. З 2004 р. і до 2011 р. кількість землетрусів різної сили суттєво зростає, пік активності припадає на 2008 рік – 11 подій з $K 6-7$, в цьому часовому проміжку у 2005 р. відбуваються три землетруси з $K \geq 8$, і відповідно за цей рік виділилась найбільша сейсмічна

енергія за весь період активізації. Починаючи з 2008 р. землетруси класу $K \geq 8$ більше не відбуваються, зате на всій території району Надвірної відбувається більша кількість слабших землетрусів (21 подія) з K 6-7. Закінчується цикл активізації 2013 роком – слабким землетрусом з $K=6$ ($M=1,1$).

За геологічними даними Надвірнянська сейсмогенна зона (рис. 6, а) розташована у межах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину (північна її частина) і Складчастих Карпат (південна частина). Тут знаходиться Надвірнянський морструктурно-неотектонічний вузол з диференційованими активними в неогені вертикальними рухами (Полівцев, 2011). Він утворений перетином Передкарпатського і ортогонального Шопурсько-Надвірнянсько-Монастирецького розломів, належить до трьох найбільших вузлів у Передкарпатті (Іванюта, 1998; Крупський, 2001; Глушко та Круглов, 1986; Полівцев, 2011). За результатами комплексного аналізу геолого-геофізичних даних, Передкарпатський розлом трасується в цій зоні по лінії Дерезичі – Лисовичі – Заріччя з амплітудою скиду в напрямку під Карпати 2-3 км. (Крупський, 2001; Глушко та Круглов, 1986; Полівцев, 2011). Власне в зоні цього морструктурно-неотектонічний вузла в основному лежать вогнища землетрусів району Надвірної.

Для аналізу сеймотектоніки району Надвірної нами було проведено уточнення координат і глибин вогнищ місцевих землетрусів (рис. 6, 7), дослідження напрямків спорювання розривів у їх вогнищах (рис. 6, в), аналіз просторової локалізації вогнищ відносно геологічних структур та родовищ вуглеводнів (рис. 6, а та рис. 7) (Назаревич Л. та Назаревич А., 2015, 2018). Для цього уточнені з використанням відповідних методик (Назаревич Л. та Назаревич А., 2004) вогнища землетрусів було винесено на розріз по субрегіональному профілю Бистриця – Гвізд (Іванюта, 1998; Крупський, 2001) (рис. 7).

Глибинно-просторовий аналіз розташування вогнищ місцевих землетрусів на геологічних структурах профілю показав (рис. 7), що практично всі вони приурочені до різноглибинних поверхонь насувів і складок з різною

крутизною занурення (кутами падіння). Зокрема, дуже сейсмічно активною і добре простеженою гіпоцентрами землетрусів (5 вогнищ) є поверхня, по якій на автохтонні осадові структури Передкарпатського прогину насувається нижній (Дзвиняч-Рунгурський) покрив внутрішньої зони прогину. Причому тут сейсмоактивна зона приурочена до ділянки найбільш пологого (близькогоризонтального) залягання цієї поверхні (на північ від струмка Бухтовець у районі сіл Пнів та Гвізд, глибини 4,8-6,2 км). Два з цих землетрусів (на південь від села Пнів) розташовані в області зчленування цієї поверхні насування з більш крутою (ближче до підкидової) поверхнею насування чола Пасічнянської глибинної складки (третьої ярус складок) на нижню частину Пнівської складки (в тілі Дзвиняч-Рунгурського покриву). Вогнище ще одного землетрусу розташовується приблизно на 1 км вище (глибина 4,5-4,8 км) і приурочене до тієї ж крутішої поверхні насування Пасічнянської складки на Пнівську.

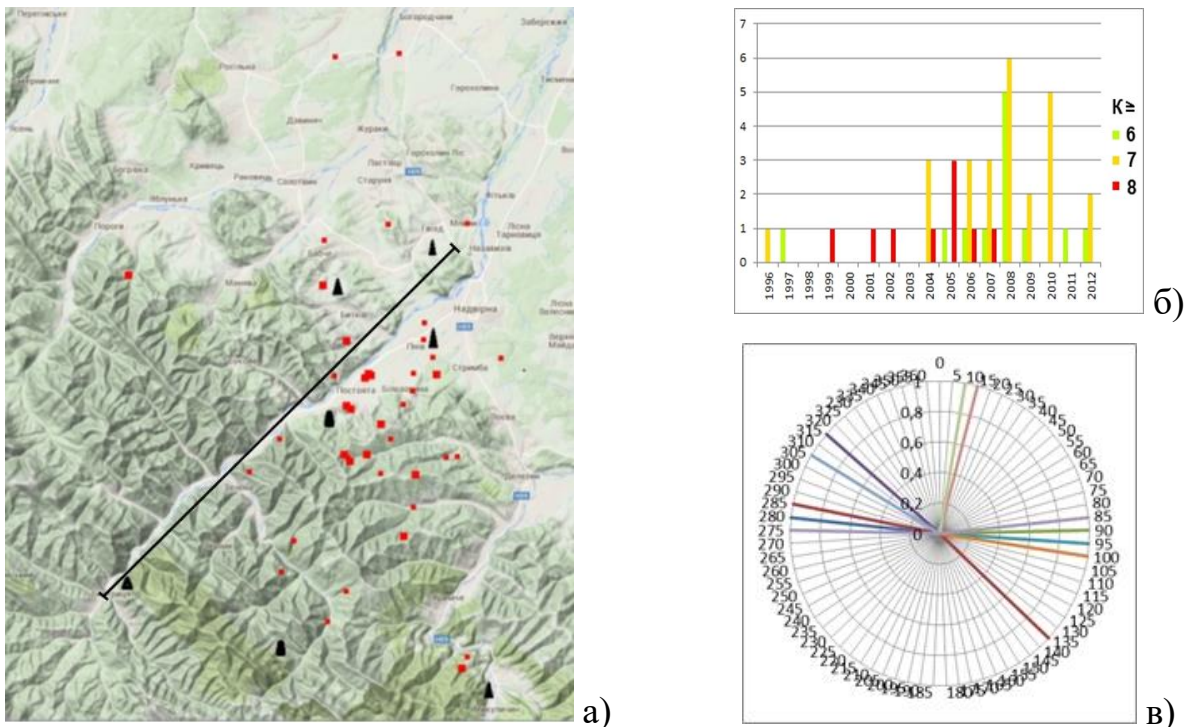


Рис. 6. Сейсмічність району Надвірної: а) – просторова локалізація вогнищ землетрусів (червоні квадратики – епіцентри подій різної магнітуду, чорна лінія – профіль Бистриця – Гвізд) на фоні рельєфу (на картооснові Google maps); б) – загальна кількість сейсмічних подій різного класу/магнітуду у районі по роках; в) – азимути простягання розривів у вогнищах сильніших з місцевих землетрусів.

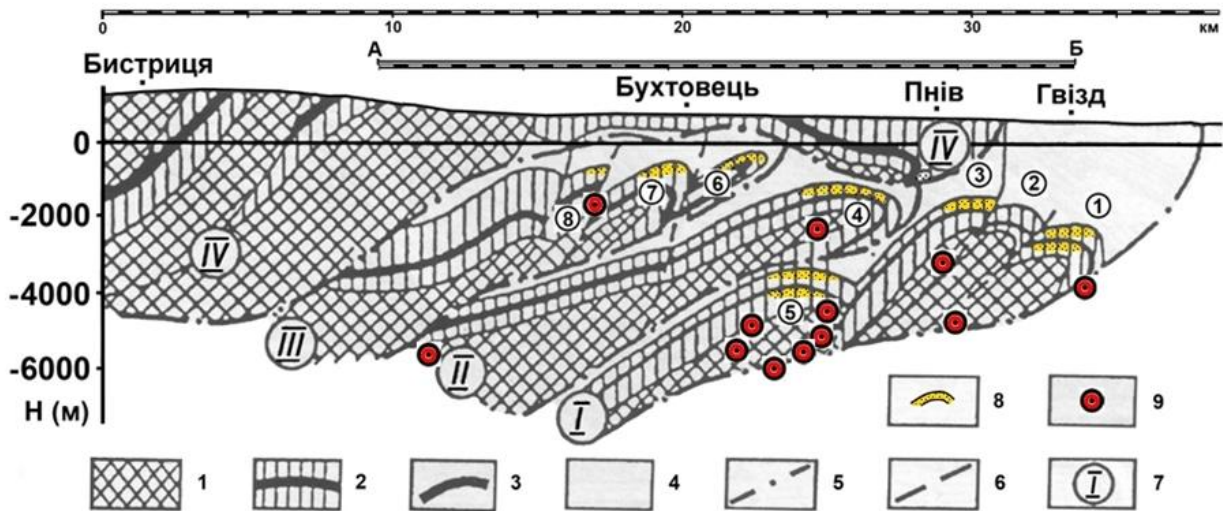


Рис. 7. Локалізація вогнищ землетрусів Надвірнянського нафтогазоносного району на структурах кори. Геологічний розріз по профілю Бистриця – Гвізд (Крупський, 2001) з доповненнями і деталізацією по (Іванюта, 1998). Тут: 1 – крейдяний фліш; 2 – палеогеновий фліш; 3 – Шешорський горизонт і Бистрицька світа всередині палеогену; 4 – моласи неогену; 5 – границі покривів; 6 – насуви; 7 – покриви (I – нижній (Дзвиняч-Рунгурський), II – середній (Битківський), III – верхній (Майданський) (усі три – внутрішня зона Передкарпатського прогину), IV – Скибовий покрив Карпат (Берегова скиба)); 8 – поклади вуглеводнів; 9 – вогнища землетрусів у зоні профілю; цифри в кружках – окремі складки внутрішньої зони Передкарпатського прогину (1 – Гвіздецька, 2 – Старунська, 3 – Пнівська, 4 – Глибинна, 5 – Пасічнянська, 6 – Стара Копальня, 7 – Газова, 8 – Газова (Бухтовецька)).

Ще 2 вогнища (глибини 2,0 і 2,8 км), розташовуються у верхньому ярусі складки, що вказує на її сейсмотектонічну активність. Вогнище одного з місцевих землетрусів приурочене до тіла складки Глибинна (Битківського покриву) і знаходиться над описаною вище областю сейсмотектонічної активізації поверхні насування покривів на автохтон. Розташування вогнища іншого землетрусу, що лежить на 7,5 км південно-західніше від попереднього, є на підкидовій поверхні насування складки Газова (Бухтовецька) на складку Газова. Ще південно-західніше, але вже на нижньому ярусі сейсмічної активності (глибина 5,8 км) розташоване ще одне вогнище землетрусу, яке приурочене до поверхні насування верхнього (Майданського) покриву внутрішньої зони Передкарпатського прогину на середній (Битківський)

покрив. На проміжній (3,5 км) глибині (північно-східна частина профілю, район села Пнів) ще одне вогнище приурочене до площини насування Пнівської складки на Старуньську. До цього треба додати, що активність Старуньської складки відображає також одне із згаданих першими вогнищ на поверхні насування її підшви на автохтон, що локалізується у вузлі зчленування цієї поверхні з більш крутою поверхнею, по якій Старуньська складка насувається (з підкидом) на Гвіздецьку. Приблизно за 7 км на північний захід від точки Б профілю, саме в зоні цієї складки, неподалік знаходиться відомий грязьовий вулкан “Старуня” (у 1907 р. тут знайшли забальзоване у сольових і нафтово-озокеритових товщах тіло мамонта, а у 1929 р. – довгошерстого носорога та інших викопних тварин). Активізація вулкана “Старуня” відбулася після сильного землетрусу в зоні Вранча у 1977 році (який проявився на цій території інтенсивністю $I=4-5$ балів) викидами (з ослабленою досьогодні інтенсивністю) через 7 кратерів і 12 мікрократерів газу, води, глинистої пульпи, інколи нафти і озокериту. Очевидно, землетрус із зони Вранча 1977 р. спричинив перерозподіл тектонічних напружень у структурах земної кори цього району і, тим самим, спричинився до “пробудження” цього грязьового вулкана, адже саме тут локалізуються деякі з зафіксованих сейсмічною апаратурою місцевих мініземлетрусів.

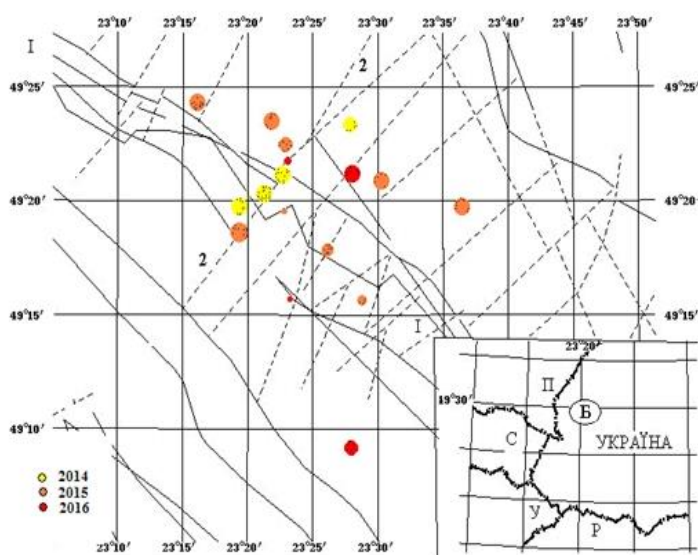
З залученням геологічної, геофізичної, геоморфологічної та іншої інформації з району Надвірної встановлено підкидо-насувні механізми більшості місцевих землетрусів Надвірнянського району (реалізованих в умовах стиску вхрест Карпат (у напрямку південний захід – північний схід) з деякою тангенціальною складовою схід – південно-східного напрямку (див. нижче)). Про це свідчить, крім локалізації вогнищ на тектонічних структурах кори і переважно незбіжних з простягання у плані до задокументованих розривних порушень напрямків спорювання розривів у їх вогнищах, і такий важливий і вже чимало нами досліджений параметр місцевих землетрусів, як кріпекс (Назаревич А. та Назаревич Л., 2009; Назаревич Л., Назаревич А. та

Баштевич, 2004). Так, кріпекс 4-х сильніших землетрусів, що відбулися у 2009-2011 рр., має виражені від'ємні $(-0.17 \div -0,52)$ значення, що свідчать про переважання в спектрах сейсмічних хвиль від цих землетрусів “жорсткого” (високочастотного) сейсмічного випромінювання. Власне така особливість випромінювання сейсмічних джерел є характерною для механізмів підкидо-насувного типу, що реалізуються в умовах стиску.

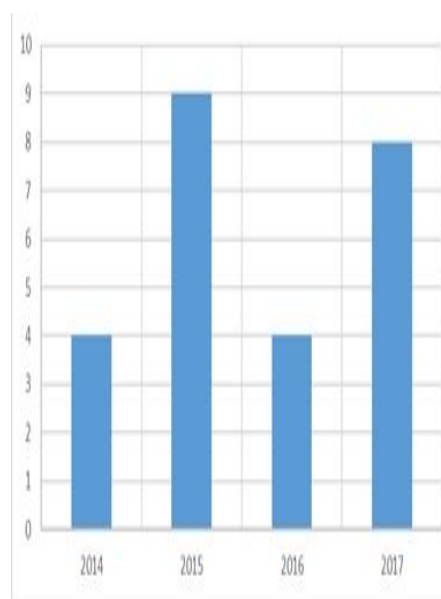
У руслі викладеного стає зрозумілим помічене нами раніше специфічне просторове співвідношення між вогнищами землетрусів і пастками вуглеводнів (див. рис. 7). Землетруси відбуваються на розривних порушеннях (розломах, поверхнях насувів і складок), що оточують геологічні структури (антиклінальні складки) – пастки нафти і газу. У самих пастках таких активних розривних порушень немає, інакше скупчення вуглеводнів у них би не утворилися. Зазначимо до цього, що такі геодинамічно активні розривні порушення є, на наш погляд, добрими каналами підводу вуглеводнів до пасток з більших глибин, ці вуглеводні далі мігрують від зон таких активних розривних порушень вгору і вбік по колекторах у зони покладів.

Сейсмічність району Борислава. Третім районом Передкарпаття, де зафіксована сучасна сейсмічна активність, є район Борислава. Тут така активність зафіксована найпізніше, вона проявилась буквально в останні роки. До цього слід згадати, що ця територія з початків ХІХ століття славилася як центр видобування нафти та озокериту, які видобуваються тут і до сьогодні. Сучасна сейсмічна активізація в цьому районі спостерігається, починаючи з 2014 р. (Назаревич Л., Ніщименко, Назаревич А. та Олійник, 2017) (рис. 8). Землетруси тут є слабкими (з $M=0,8-2,5$) і відносно неглибокими ($H=0,9-6$ км). До 2014 р. землетрусів тут інструментально зафіксовано не було, хоча (за даними світової статистики) на газових родовищах сейсмічна активізація часто настає через 3-16 р. після початку видобування, на нафтових – через 7-30 р. (до прикладу, основні Долинські землетруси 1975-76 рр. відбулися через 25 років від початку розробки нафтових родовищ).

За період 2014-2017 рр. у районі Борислава зафіксовано 25 землетрусів (рис. 8, б), з них у 2014 р. – 4, у 2015 р. – 9, у 2016 р. – 4, у 2017 р. – 8. Загальна енергія, що виділилася підчас цих землетрусів, становить $2,1 \times 10^9$ Дж, найбільша кількість енергії виділилась у 2017 р. – $1,4 \times 10^9$ Дж, найменше – у 2014 р. ($0,4 \times 10^8$ Дж). Особливістю просторового розташування вогнищ землетрусу тут є те, що землетруси 2014 року розташувались лінією вздовж ортогонального Раточинського розлому, який є частиною активного лінеаменту північно-східного простягання, простежуваного від м. Дрогобича до села Тур'ї, і частково в зоні перетину Передкарпатського і Раточинського розломів. Просторове розташування епіцентрів землетрусів 2015-2016 р., на відміну від землетрусів 2014 р., є більш субширотним, у зоні вздовж Передкарпатського розлому, вогнища тяжіють до наявних тут різноглибинних складок і насувів, розбитих розривними структурами на окремі блоки. Також вогнища переважної більшості землетрусів цього району тяжіють до зон видобутку нафти і газоконденсату (Іванюта, 1998; Крупський, 2001).



а)



б)

Рис. 8. Сейсмічність Бориславської зони: а) – просторова локалізація вогнищ землетрусів (кружки – епіцентри подій різної магнітуди, кольором відзначено рік події) на фоні разломної тектоніки (за В.В. Глушком та С.С. Кругловим (Глушко, Круглов, 1986) (тут: *I-I* – *Передкарпатський розлом*; *2-2* – *Раточинський розлом*), на врізці – локалізація Бориславської зони (Б) на оглядовій карті заходу України; б) – загальна кількість сейсмічних подій у районі по роках.

Територіально Бориславська сейсмогенна зона займає центральну частину Бориславського нафтопромислового району (НПР) – західної частини Передкарпатського прогину, від кордону з Польщею до річки Стрий. Географічно (геоморфологічно) район розташований на стику Українських Карпат (Зовнішніх (Скибових) Карпат) і Передкарпатської хвилястої височини, захоплюючи частину обох цих геоморфологічних одиниць (Алехин, 2015). Унікальність цього району полягає в тому, що тут ведеться тривале (починаючи з 1810 р.) активне видобування нафти, газу і озокериту у промислових масштабах (Іванюта, 1998; Крупський, 2001), яке впливає (зокрема, через зміну флюїдного режиму структур земної кори) на зміну напружено-деформованого стану геологічного середовища не тільки в околі свердловин, але і в значно ширшому масштабі.

Просторова локалізація епіцентрів землетрусів на тектонічній карті (Глушко та Круглов, 1986) (рис. 8) виявила деякі особливості сеймотектоніки району. Так, ланцюжок землетрусів північно-східного напрямку на північ від Борислава трасує лінію ортогонального Раточинського розлому, далі на північ простежується ще одне сейсмоактивне тектонічне порушення, вже діагонального – карпатського напрямку. За результатами дешифрування космічних знімків і геолого-геофізичних даних (А. Кудряшов, О. Мичак) простежений тут спряжений з розломом Раточинський лінеамент є регіональною субвертикальною зоною деструкції земної кори (по Р. Бембелю) з ознаками розтягу. Додатній знак параметра кріпекс (Cr) досліджених нами деяких з місцевих землетрусів також вказує на режим розтягу земної кори цього району. Цей параметр добре характеризує особливості напруженого стану вогнищевих зон, зумовлені локальною геодинамікою, зокрема, через зміну флюїдного режиму структур земної кори (Назаревич та ін., 2004). Подальший аналіз амплітудно-частотних спектрів деяких землетрусів більшої сили (з $M 2-2,5$) Бориславської зони вказує на двоетапність утворення розривів, а також на низьку частоту зрізу спектру Р-хвилі f_0 . В частотному спектрі таких

землетрусів переважають низькі частоти, питома пружна енергія джерела є порівняно малою, тоді як площа вогнищевої зони відносно велика (порівняно з середньостатистичними залежностями для всього Карпатського регіону). За класифікацією А. Прозорова і Е. Каверіної (Каверина та Прозоров, 1994) це так звані “кріпексні” землетруси, які відбуваються в районах, для яких характерні процеси розтягу і опускання земної кори (Назаревич та ін., 2004). Сейсмічно активною в цьому районі є також Трускавецька структура (Помірківський блок) і Орівська структура Складчастих Карпат. Один землетрус зареєстровано біля курорту Східниця, що також говорить про певну сейсмічну активність зони карпатських насувів і складок у цьому районі (подібно, як і в районі Надвірної). Також тут проявляється сейсмоактивна структура північно-західно – південно-східного простягання у зоні впливу Передкарпатського розлому, ймовірно, опірюючі розломи та складки в чохлах та фундаменти.

Про певну наведену геодинамічну активність району Борислава говорять, зокрема, дані по розташованому на сході району Орів-Уличнянському нафтовому родовищу (Бень та ін., 1999) – тут було зафіксовано численні зім'яття обсадних колон пробурених свердловин (у 12-ти з 40), причому більшість з таких аварій проявилась через 12-15 років після початку експлуатації, деякі – через 3-7 років. У свердловині 58-Іваники колона була деформована прямо під час буріння. Відсутність при цьому тут землетрусів пов'язана з розрядкою напружень пластичними деформаціями у глинисто-соляних відкладах воротищенської свити (глибини 1520-2600 м).

Техногенна сейсмічність в районі м. Стебника. Одним з чинників геодинамічної активності в районі Борислава є також техногенно спровоковані процеси у зонах гірничих виробок Стебницького калійного родовища. Так, заслуговують на підвищену увагу землетруси, які відбулися в районі міста Стебника, зокрема, 22.08.2016 р. і 29.09.2017 р. Перший землетрус з магнітудою $M=2,3$ на глибині 6 км о 13.36.31,5 год. за Грінвічем, можливо, був тригером (Назаревич та ін., 2017) для пізнішої і більш приповерхневої події о

16.36 год. (ймовірно, гірничого удару або обвалу однієї з камер шахтного поля), яку зафіксувала гірничча служба в одній із недіючих зараз шахт поблизу м. Стебник. Про складний характер розриву у його вогнищевій зоні говорить спектральний аналіз сейсмічного запису землетрусу, частота зрізу спектру R хвилі f_0 для різних станцій становить 0,4-0,8 Гц (в середньому 0,65 Гц). Цій частоті відповідає довжина розриву у вогнищі (за встановленими нами кореляційними залежностями для регіону (Назаревич А. та Назаревич Л., 2009) порядку 3 км, у той час, як за цими ж залежностями середня довжина розриву для землетрусів такого класу / магнітуди становить порядку 0,7 км.

Другий землетрус 29.09.2017 р. з $M=2,7$ о 21 год. 46 хв. за Грінвічем (30.09.2017 р. о 0 год 46 хв. за місцевим часом) стався внаслідок сейсмогравітаційного зміщення – провалу на калійному руднику №2 біля м. Стебник. Такі сейсмогравітаційні зміщення відбуваються у вже підготовленому геологічному середовищі – у даному випадку внаслідок карстових процесів при затопленні недіючої шахти 2-го рудника ПАТ “Стебницьке ГХП “Полімінерал”. Щодо ділянки провалу, то тут уже був у минулому гравітаційний обвал на нижніх горизонтах гірничих виробок (Дяків, 2017), несуча міцність порід шахтного поля знижувалась внаслідок карстових процесів. Сейсмогравітаційний провал відбувся тут у зоні попереднього руйнування ціликів виробок шахти і величезна маса порід впала на водяне “дзеркало”, яке утворилось при затопленні виробок ґрунтовими водами і розсолами і руйнуванні ціликів. При цьому мала місце аварія на електромережах – сталися руйнування опор і обриви високовольтної ЛЕП, що проходила через зону провалу і живить, зокрема, місто Трускавець.

Зараз відбувається подальше руйнування ціликів виробок шахти, а додаткові геомеханічні напруження, які виникають тут у зоні склепінь цих виробок і в перекриваючих товщах порід, призвели 15.03.2020 р. до утворення нового провалля, за 200 м на північ від попереднього. Оскільки розвиток описаних процесів йде на північ від попередніх проваль, у напрямку

простягання підземних гірничих виробок рудника №2 Стебницького калійного родовища, безпосередні загрози наявні для пролягаючої тут дороги Львів – Трускавець, у зоні якої вже фіксуються помітні (до кількох сантиметрів) просідання земної поверхні.

Висновки

Проведений аналіз сейсмічності і сейсмотектоніки нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину дає можливість зробити такі узагальнення.

Сейсмічність у районі Долини почалася у 1974-1976 рр. і певним чином пов'язана з інтенсивним видобуванням нафти на Долинському родовищі. Складний напружений стан геологічного середовища нижче зони родовища (спричинений тектонічним процесом формування Карпат) і додаткові гідродинамічні чинники, спричинені процесами видобування вуглеводнів, зокрема, застосування з 1958-63 рр. законтурного закачування води та у подальшому також технології гідророзриву пласта (Іванюта, 1998; Бень та ін., 1999; Крупський, 2001) сприяли сейсмогеодинамічній активізації – відчутним землетрусам, деформаціям порід, зминанню і розривам обсадних колон свердловин. Поява тут нових двох землетрусів у 2020 р. свідчить про триваючу сучасну сейсмотектонічну активізацію існуючих геологічних структур, зокрема, пов'язаних із зоною Північно-Долинського родовища, що може бути причиною підвищеного ризику для сталого розвитку цих територій.

У Надвірнянській сейсмогенній зоні, яка активізувалась у 1996-2013 рр. встановлено, що вогнища землетрусів в основному розташовані вище (2-2,5 км) і нижче (4,8-6 км) горизонтів, де добувають нафту і газ (2,8-4,5 км), або збоку від нафтогазоносних структур – у радіусі їх гідродинамічного впливу. Частина вогнищ місцевих землетрусів тяжіє до зони поперечного Надвірнянського розлому та опіряючих розривних порушень, частина – до поверхонь різноглибинних (1-й, 2-й та 3-й яруси складок) насувів, ще кілька – до структур у зоні грязьового вулкану Старуня. Дані про наведені особливості

сеймотектоніки цього району слід враховувати при плануванні його подальшого сталого розвитку. А оскільки, як відомо, сейсмогеодинамічно активні розривні порушення є добрими каналами підводу вуглеводнів з більших глибин до пасток, особливості сеймотектоніки Надвірнянської зони слід також враховувати при плануванні подальшого видобування тут вуглеводнів, зокрема, і в аспекті виявлення відновлюваних родовищ та покладів.

Сучасна сейсмічна активізація 2014-2017 рр. Бориславської зони пов'язана з рядом факторів. Перш за все – це зумовлений тектонікою складний напружений стан структури Раточинського розлому, який є складовою частиною вираженого субрегіонального лінеаменту північно-східного простягання (простежуваного від м. Дрогобича до села Тур'ї) і північно-західною границею Бориславської нафтоносної структури. З іншого боку – район характеризується підвищеною тріщинуватістю і флюїдонасиченістю порід, у першу чергу, колекторів нафти та газу і зон численних різнорангових розривних порушень, при видобуванні нафти і законтурному закачуванні води створюється додатковий гідродинамічний тиск на вже ослаблені механічно породи в цих зонах, що сприяє розрядці землетрусами накопичених тут тектонічних напружень. Тому фактор сеймотектонічної активізації слід враховувати при плануванні подальшого сталого розвитку району Борислава (включно з містами Дрогобичем, Стебником, Трускавцем). Щодо м. Стебника та його околиць слід також враховувати небезпеки від техногенно спровокованих карстопровальних процесів у зонах рудників Стебницького калійного родовища.

Отже, можна зробити узагальнений висновок, що сеймотектонічна активізація нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину спричинена як наявністю тут тектонічних напружень (необхідна умова), так і “збуренням” напружено-деформованого стану масивів порід у цих районах процесами нафтогазовидобування, що призводить до такого перерозподілу напружень і

деформацій, або/і до такої зміни механічних властивостей порід (достатня умова), за яких у певних зонах геологічного середовища досягається перевищення накопиченими напруженнями межі міцності порід (на розрив або/і зсув), що викликає додаткову техногенно спровоковану (наведену) сейсмічність.

Враховуючи, що крім нафтопромислів, великих міст Дрогобич, Борислав, Долина, Надвірна та багатьох інших населених пунктів у смузі Передкарпатського прогину розташовані гірничі виробки калійних родовищ Стебника і Калуша та відомі бальнеологічні курорти Трускавець, Моршин, Східниця, питання сейсмічного та геолого-геофізичного моніторингу геоекологічної небезпеки цієї території є дуже актуальним.

Список літератури

- Алехин, В. И. (2015). Геологические мезоструктуры флишевой толщи Скибовой зоны Восточных Карпат (участки с. Бубныще и п.г.т. Сходниця). *Вісті Донецького гірничого інституту*, 1-2(36-37), 15-22. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdgi_2015_1-2_5
- Бень, Я., Пронишин, Р., Стасюк, А., & Мельничук, О. (1999). Сейсмогеодинамічні умови нафтогазових родовищ Передкарпатського прогину. *Геодинаміка*, 1(2), 111-116.
- Вербицький, С. Т., & Вербицький, Ю. Т. (2011). Сучасний стан та перспективи розвитку сейсмологічних досліджень в Карпатському регіоні України. *Геодинаміка*, 2(11), 35-37.
- Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України (ВСКР ІГФ НАНУ). (n.d.). *Електронний ресурс: Carpathian Seismological Network of Ukraine*. Retrieved from <http://seism.lviv.ua/>
- Глушко, В. В., & Круглов, С. С. (Eds). (1986). *Тектоническая карта Украинских Карпат. М-б 1:200000*. Киев: УкрНИГРИ.
- Дяків, В. О. (6-10 листопада 2017 р). Динаміка водопритоків, розвитку

техногенно-активізованого карсту та прогнозованого провалу 30 вересня 2017 р. у зоні впливу рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал”. *Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції “Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування”* (рр. 273-288). Україна, м. Трускавець.

Евсеев, С. В. (1961). *Землетрясения Украины*. Киев: Изд-во АН УССР.

Іванюта, М. Н. (гол. ред.). (1998). *Атлас родовищ нафти і газу України*: В 6 т. Львів: Вид-во “Центр Європи”.

Каверина, А. Н., & Прозоров, А. Г. (1994). Вариации крипекса в зависимости от типа тектонических структур и механизма очага: статистический анализ. *Геодинамика и прогноз землетрясений. Вычисл. сейсмология*, 2, 85-93.

Кендзера, О., Пронишин, Р., & Бень, Я. (1997). Сейсмічна небезпека Передкарпаття. *Праці НТШ, Т. 1*, 104-113.

Крупський, Ю. З. (2001). *Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України*. Київ: Укр ДГРІ.

Назаревич, А., & Назаревич, Л. (2002а). Будова літосфери Закарпаття і проблема гіпоцентрії місцевих землетрусів. *Збірник матеріалів науково-технічного симпозиуму “Геомоніторинг-2002”*(рр. 15-18).

Назаревич, А. В., & Назаревич, Л. Є. (2002б). Глибинні пастково-колекторські тектонічні структури в літосфері Карпатського регіону України: природа, походження і перспективні ресурси. *Наук. вісник Ів.-Франк. нац. техн. ун-ту. нафти і газу*, 3(4), 10-21.

Назаревич, Л. Є., & Назаревич, А. В. (2018). Сейсмогеодинамічна активізація нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину (Долина, Надвірна, Борислав). *Мінеральні ресурси України. № 2*, 36-42. doi: 10.31996/mru.2018.2.36-42.

Назаревич, А. В., & Назаревич, Л. Є. (2009). Масштабно-енергетичні кореляційні співвідношення для вогнищ землетрусів Закарпаття: деякі наслідки та енергетична верифікація. *Теоретичні та прикладні аспекти*

геоінформатики, 279-298.

- Назаревич, Л. Е., & Назаревич, А. В. (2015). Сейсмичность и сеймотектоника Надворнянского нефтегазоносного района (Украинское Предкарпатье). *Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Геол., 90(6), 17-27.*
- Назаревич, Л. Е., Назаревич, А. В., & Баштевич, Н. В. (7-8 октября 2004). Крипекс землетрясений и его применение в сейсмологии. *Материалы международной конференции “Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений”*(pp. 33-37). Ташкент.
- Назаревич, Л. Є., & Назаревич, А. В. (2004). Методики уточнення параметрів гіпоцентрів Карпатських землетрусів. *Геодинаміка, 1(4), 53-62.*
- Назаревич, Л. Є., Ніщименко, І. М., Назаревич, А. В., & Олійник, Г. І. (22-25 березня 2017). Сейсмогеодинамічна активізація Бориславського нафтогазоносного району як фактор екологічного ризику. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації”* (pp. 192-194). м. Івано-Франківськ.
- Назаревич, Л. Є., & Стародуб, Г. Р. (2010). Деякі особливості сейсмічного процесу в Карпатському регіоні України (40 років спостережень). *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики, 286-299.*
- Полівцев, А. В. (2011). Карта вертикальних голоценових рухів Волино-Поділля та Передкарпаття. *Геодинаміка, 1(10), 58-70.*
- Сафронов, О. М. (2012). Геодинамически активные зоны и перспективы уточнения сейсмического районирования территории Украины. *Геодинаміка, 1(12), 152-157.*
- De Pater, C. J., & Baisch. S. (2011). *Geomechanical Study of Bowland Shale Seismicity. Synthesis Report*, Lancashire: Cuadrilla Resources.
- Keranen, K. M., Savage, H. M., Abers, G. A., and Cochran, E. S. (2013). Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence. *Geology, 41, 699-702.* doi:

10.1130/G34045.1

Kováčiková, S., Logvinov, I., Nazarevych, A., Nazarevych, L., Pek J., Tarasov, V., & Kalenda, P. (2016). Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians. *Stud. Geophys. Geod.*, 60, 280-296, doi: 10.1007/s11200-014-0942-y

Nazarevych, A., & Nazarevych, L. (September 3-6, 2006). Modern and alpine geodynamics of Ukrainian Carpathians (multi-tier “crocodile” or “shaking hand” and “fir-tree” tectonics). *Proceedings XVIII-th congress of the Carpathian-Balkan geological association*, (pp. 399-401), Belgrade, Serbia.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РОСЛИННО-МІКРОБНОЇ БІОЕЛЕКТРИКИ

Русин І.Б., кафедра екології та збалансованого природокористування Інституту сталого розвитку ім. В'ячеслава Чорновола, Національний університет «Львівська Політехніка», кандидат біологічних наук, докторант Львів, Україна

Дячок В.В., кафедра екології та збалансованого природокористування Інституту сталого розвитку ім. В'ячеслава Чорновола, Національний університет «Львівська Політехніка», доктор технічних наук, професор Львів, Україна

Abstract

Natural forest ecosystems are a promising object for production of green electricity. Bioelectricity of living plants and soil electricity-generating microorganisms is an innovative source of alternative energy. It is possible to obtain a bioelectric potential generated by association plants and rhizosphere microorganisms by introducing electrode systems into soils with plants. It was found the statistically insignificant daily and seasonal fluctuations in the level of bioelectric potential during summer and autumn. The soil moisture had a positive effect on bioelectrical parameters, at the same time, the rise of bioelectrical parameters in arid conditions was detected, which is an important sign of the contribution of photosynthesis products in the formation of green bioelectricity. The natural ecosystems through revealed stable values of bioelectrical parameters could become an important source of renewable and environmentally friendly source of energy.

Вступ

Суть отримання рослинно-мікробної біоелектрики полягає у внесенні електродних систем у товщу ґрунту, де розвиваються рослини та пов'язані з ними прикореневі ризосферні мікроорганізми (De Schamphelaire, et al., 2008; Kaku, Yonezawa, Kodama & Watanabe, 2008; Strik, Hamelers, Snel & Buisman, 2008). Електроди акумулюють біоелектрику, продуковану ґрунтовими мікроорганізмами, що живляться кореневими виділеннями продуктів фотосинтезу рослин та продуктами розкладу опаду листя (Strik et al., 2008; Timmers, et al., 2012). В утворенні біоелектрики важливу роль відіграють протони, які виділяються мікроорганізмами в результаті розкладу органічних сполук, так і внаслідок дисоціації вугільної кислоти, утвореної з CO₂ (Strik et al., 2008). Вуглекислий газ виділяється у великих кількостях коренями у ґрунт в процесі дихання рослин та в процесі метаболізму ґрунтових мікроорганізмів (Strik et al., 2008). Мікроорганізми, що беруть участь в утворенні біоелектрики називають електроактивними чи електрико-генеруючими (Kim et al., 2004; Logan & Regan, 2006; Logan, Rossi, Ragab & Saikaly, 2019).

Біоелектротехнологічні установки, встановлені в лісах мають перспективи використання для живлення польових автономних систем моніторингу за екосистемами, для влаштування бездротових станцій «зеленого» туризму в природних парках з можливістю підзарядки приладів. За розрахунками нідерландських науковців теоретичним максимумом рослинно-мікробної електробіотехнології є повне енерго-забезпечення цілих оселищ, який можна буде досягнути за умови вдосконалення технології (Strik et al., 2011; Wetser, 2016).

Дослідження біоелектрики болотних екосистем в лабораторних умовах показують вагомі перспективи таких об'єктів як важливого джерела біологічної енергії (Liu, Song, Li & Yang, 2013; Lu, Xing & Ren 2015; Wetser, Liu, Buisman & Strik, 2015). Причиною полягає в тому, що заболочені умови створюють оптимальні умови для акумулювання ґрунтової біоелектрики (Lovley et al.,

2011; Helder, Strik, Hamelers & Buisman; 2012). Низький вміст кисню в болотистих субстратах зменшує втрати акумульованої біоелектрики. В цьому випадку генеровані мікроорганізмами протони та електрони працюють на виробництво енергії, а не на відновлення кисневмісних сполук. Проте досліджень з отримання біоелектрики *in situ* на заболочених територіях є небагато. Перші дослідження електропродуктивності були здійснені безпосередньо на рисових плантаціях Японії (Kaku et al., 2008; Takanezawa, Nishio, Kato, Hashimoto & Watanabe, 2010) та продовжено *in situ* в експериментах на рисових полях Японії та Індонезії (Kouzuma, Kaku & Watanabe, 2014; Ueoka, Sese, Sue, Kouzuma & Watanabe, 2016, Sudirjo, Pim de Jager, Ceas, Buisman & Strik, 2019), а також в заболочених лісах Південної Кароліни, США *in situ* (Dai, Wang, Chow & Conner, 2015).

Потенціал та перспективи електропродуктивності екосистем заболочених луків у східно-європейських кліматичних умовах залишається недослідженим, як і незаболочених територій лісів та сільськогосподарських угідь, представляючи значний інтерес з погляду можливого їх багатопланового використання як джерела рослинно-мікробної енергії. Тому *високо актуальним* є завдання оцінювання *in situ* біоелектричного потенціалу, генерованого численними у Західній Україні як заболоченими, так і незаболоченими екосистемами лісових масивів, луків, земель сільськогосподарського призначення як альтернативних місць для застосування електробіотехнології в якості джерела зеленої енергії.

Об'єкти та методика досліджень

Об'єктами досліджень виступали біоелектричні параметри природних екосистем лісових масивів Західної України Львівської, Івано-Франківської та Волинської областей (Rusyn, Medvediev, Valko & Nikitchuk, 2020). Предметом досліджень були добові, сезонні та залежні від факторів довкілля коливання біоелектричного потенціалу. Мета дослідження полягала у визначенні

біоелектричного потенціалу рослинно-мікробних асоціацій екосистем, який вимірювали *in situ*.

Біоелектричний потенціал визначали у мікробно-рослинних асоціаціях *Pinus silvestris* L. та *Quercus robur* L., які є переважаючими деревними видами у лісах України, а також, у мікробно-рослинних асоціаціях *Fagus sylvatica* L., *Betula pendula* Roth., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. та *Carpinus betulus* L., частка яких також досить значна у видовому складі лісових масивів України (Bodnar, 2016). Діаметр стовбурів дерев в середньому становив 0,25-0,47 м. Ґрунт біля досліджуваних деревних видів вкритий шаром опалого листя чи хвої, мохом або трав'яними рослинами.

Для реєстрації біоелектричного потенціалу використовували розроблену нами моноелектродну систему (Rusyn & Medvediev, 2016), яку розташовували стаціонарно у ґрунті, безпосередньо в зоні асоціації рослинного коріння та мікроорганізмів, де відбувається вивільнення електронів та протонів (рис. 1) на глибині 0,3-0,4 м в товщі ґрунту, де зосереджена основна маса кореневої системи лісових рослин (Zinchenko, Salatenko & Bilonozhko, 2001; Crow, 2005; Eshel & Veeskman, 2013). За допомогою цифрового мультиметра знімали покази біоелектричного потенціалу. Покази біоелектричного потенціалу реєстрували в чотирьох різних ділянках біля одного об'єкту, оскільки кореневі системи можуть бути асиметричними (Ganatsas & Spanos, 2005). Біоелектричні параметри вимірювали тричі на добу впродовж червня - жовтня 2014 р. та вираховували їхнє середнє значення. Наведені в роботі результати представлені як середнє значення для всіх повторюваних експериментів та їх стандартні похибки ($\bar{x} \pm SE$). Статистичну оцінку істотності різниці між середніми значеннями обчислено за допомогою F-тесту для 95%-го рівня достовірності.

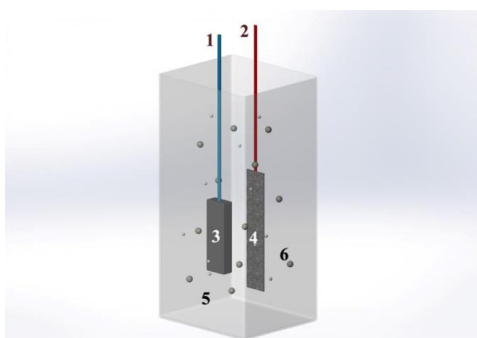


Рис. 1. Схематичне зображення використання електродів для визначення біоелектричного потенціалу у ґрунтах в найактивнішій зоні взаємодії коренів рослин та мікроорганізмів: 1 – вихід дроту, що з’єднує катод; 2 – вихід дроту, що з’єднує анод; 3 – катод; 4 – анод; 5 – субстрат; 6 – ґрунтові електроактивні мікроорганізми.

Результати та обговорення

Експерименти, проведені у різних лісових масивах Західної України, показали досить високі значення отриманого біоелектричного потенціалу, який в середньому становив 1080,5 мВ (Rusyn et al., 2020). Близькі значення середнього біоелектричного потенціалу зафіксовані в роботах з *A. plantago-aquatica* (Rusyn & Hamkalo, 2019) та з *Chlorophytum comosum* (Tou, Azri, Sadi, Lounici & Kebbouche-Gana, 2019), де значення біоелектричного потенціалу коливались в діапазоні від 900 до 1100 мВ. Пояснення зафіксованого факту може полягати у поєднанні комплексної дії наступних чинників. Лісові рослинно-мікробні асоціації є стабільними, сформованими впродовж тривалого часу та стабільно функціонуючими протягом багатьох десятиків років. У лісах відсутня щорічна механічна дія на ґрунт, властива землям сільськогосподарського призначення, що руйнує рослинно-мікробні зв’язки. Значний розмір лісових дерев, їхня вагома фотосинтетична поверхня крони зумовлюють більшу кількість речовин, яку вони можуть віддавати через коріння у навколишнє середовище, ніж менші за розміром рослини, і цим самим інтенсивніше стимулювати розвиток ґрунтових мікроорганізмів (Rusyn et al., 2020). Більшість деревних рослин мають потужно розвинуту горизонтальну частину кореневої системи (Kalinin, Huz & Debryniuk, 1998, Maliuha & Khryk, 2010, Eismont, 2014), локалізовану в товщі ґрунту до 30-60 см

від поверхні (Dobson, 1995, Crow, 2005, Eshel & Weeckman, 2013). Так, наприклад, корені *Q. robur* можуть проникати на глибину більше 15 м, однак горизонтальне тонке коріння, важливе для живлення електрико-генеруючих мікроорганізмів, зосереджене на глибині 15-40 см (Kalinin et al., 1998; Mauer, Houskova & Mikita, 2015). Глибина проникнення коріння *P. silvestris* може сягати більше 10 м, однак на бідних сухих ґрунтах сосна формує потужну поверхневу кореневу систему з короткими дрібними корінцями, зазвичай з мікоризою (Munzenberger, Gollmack, Ullrich, Schmincke & Huttl, 2004; Aucina et al., 2007; Raudaskoski & Salo, 2008). Значна частина коріння сосни зосереджена на глибині до 20 см (Ganatsas & Spanos, 2005; Maliuha & Khryk, 2010). Коренева система *A. glutinosa* та *B. pendula* теж розташована в основному поверхнево (Zuzuk, Kutsyk, Radko, Kulahina & Serbin, 2007; Ostonen et al., 2013) і часто пов'язана мікоризою (Baxter & Dighton, 2001).

Органічні виділення приповерхневого горизонтального коріння дерев є істотними для створення мікроорганізмами біоелектричного потенціалу. Крім того, у лісах зосереджений значний обсяг органічного опаду, який є джерелом поживних речовин для розвитку електрико-продукуючих мікроорганізмів. Мікориза, що «сполучає» дерева в лісі між собою та простягається на багато кілометрів під землею, розподіляючи ресурси між лісовими деревами (Simard et al., 2015), створює оптимальні умови для розвитку мікроорганізмів, які генерують електричний потенціал. На наш погляд, саме тому у лісових екосистемах зафіксовані високі значення біоелектрики. З удосконаленням технології збору зеленої електрики, лісові мікробо-рослинні асоціації можуть стати важливим джерелом альтернативної енергії для поселень Волинського Полісся та лісових регіонів Карпат (Rusyn et al., 2020).

Добові та сезонні коливання продукування біоелектрики усіх проаналізованих екосистем є неістотними ($P > 0,05$) (Rusyn et al., 2020). В картині флуктуацій біоелектричного потенціалу рослинно-мікробних асоціацій екосистем протягом доби спостерігається два основні типи динамічних змін:

1) рівень біоелектрики залишається загалом рівним впродовж дня, а різниця біоелектричного потенціалу складає лише декілька мВ (див. рис. 2, зразки 1-4);
 2) найвищі значення біоелектрики зафіксовані зранку та в другій половині дня, в той час як ввечері спостерігається деяке зниження рівня біоелектричного потенціалу (див. рис. 2, зразки 5-8) (Rusyn et al., 2020). Подібні результати представлені в дослідженнях Nguyen & Nitorisravut (2019), які повідомляють, що вихід біоелектрики є вищим впродовж світлого періоду доби, порівняно з темним періодом доби. На нашу думку це явище пов'язано з процесом фотосинтезу. У світлову частину доби рослини активно виділяють у ґрунт асиміляти та інші метаболіти, які використовують для своєї життєдіяльності ґрунтові мікроорганізми. Рівень фотосинтезу та, відповідно, нагромадження органічних сполук для розвитку електро-активних мікроорганізмів, що залежить від погодних умов та фізико-хімічних властивостей ґрунту, є специфічними для кожної екосистеми у світлову частину доби, тому і спостерігаються невеликі коливання рівнів біоелектричного потенціалу (Rusyn et al., 2020).

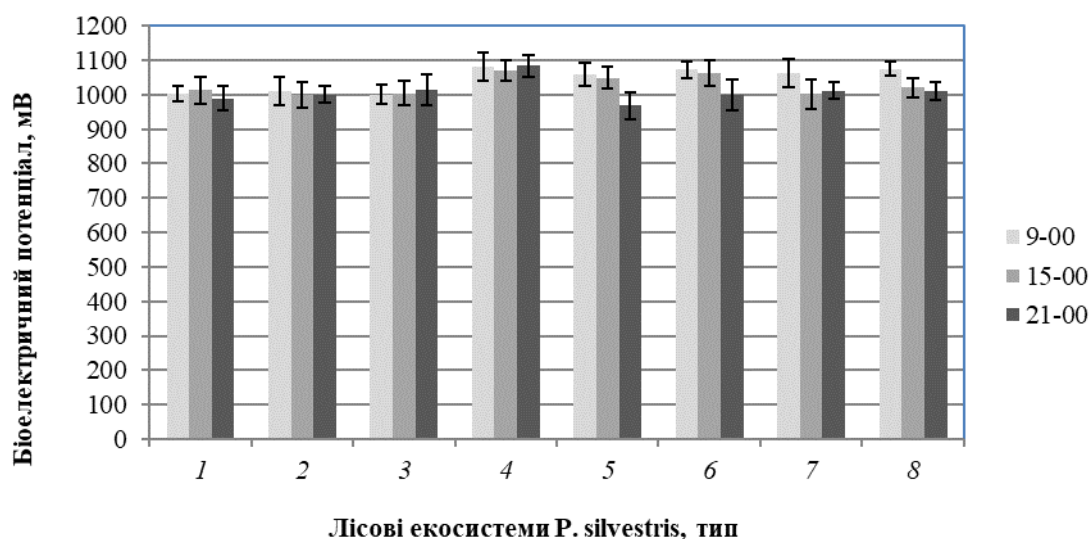


Рис. 2. Добові коливання біоелектричного потенціалу мікробно-рослинних асоціацій лісових екосистем *P. silvestris* на 90-й день експерименту ($\bar{x} \pm SE$, $n=50$).

Експерименти з вивчення впливу вологості ґрунту на рівень біоелектрики *in situ* демонструють складніший вплив, ніж отримані в сконструйованих

лабораторних екосистемах, де встановлена пряма залежність впливу вологості ґрунту на електропродуктивність (Nguyen & Nitorisavut, 2019). Природні екосистеми є значно складнішими, ніж змодельовані та зазнають впливу значно більшої кількості факторів (Rusyn et al., 2020). В багатьох екосистемах відмічено позитивний зв'язок між зростанням вологості та біоелектрики (Rusyn et al., 2020), що є очевидним, оскільки, відомо, що за високої вологості ґрунту активніше відщеплюються та мігрують заряджені частинки, активніше відбувається фотосинтез, необхідний для генерування біоелектрики. Проте, в окремих екосистемах з сухими ґрунтами (до 30 % вологості) спостерігався рівень біопотенціалу на рівні з вологими (31-70%) та мокрими (71-100%) ґрунтами або навіть вищий (Rusyn et al., 2020). А також, в тих самих зразках за однакової вологості ґрунту біоелектричний потенціал суттєво зростає впродовж кількох днів ($P < 0,05$). Наприклад, суттєве зростання рівня біоелектрики спостережено в лісових асоціаціях *P. silvestris* за однакової вологості ґрунтових зразків (25%) впродовж 105-й і 110-й днів експерименту; різниця між рівнем біоелектричного потенціалу складає 173,1 мВ ($P < 0,05$) (див. рис. 3). Подібне явище зафіксовано у мікробно-рослинних асоціаціях лісових екосистем *Q. robur* та *A. glutinosa*. Підвищення біоелектричного потенціалу на 110-й день експерименту досить істотне і складає 163,5 8 мВ та 154,3 мВ, відповідно, незважаючи на відсутність змін у вологості ґрунту ($P < 0.05$) (див. рис. 3).

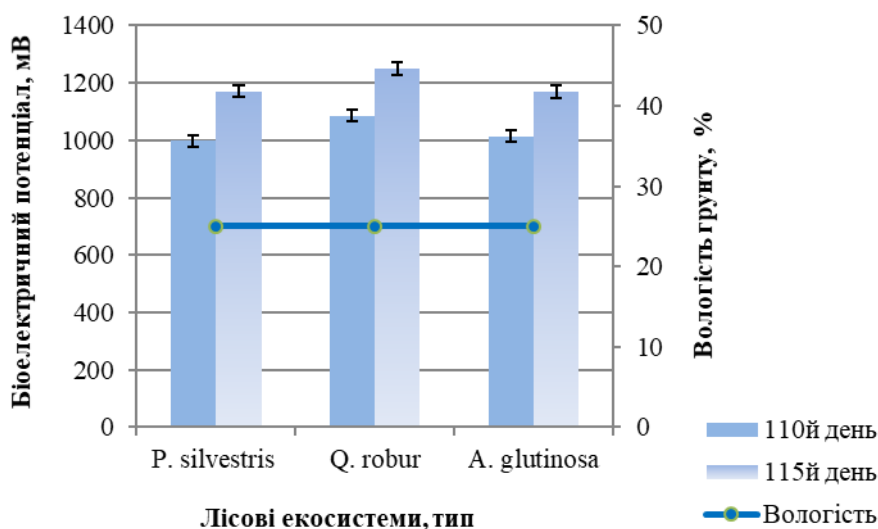


Рис. 3. Біоелектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій лісу за однакової вологості ґрунту (25%) на 110-й та 115-й день експерименту ($\bar{x} \pm SE, n=5$). Рівень біоелектричного потенціалу істотно зростає на 115-й день дослідження ($P < 0.05$)

Істотне зростання рівня біоелектричного потенціалу зафіксовано також в умовах зниження вмісту вологи у ґрунті (Rusyn et al., 2020). Високі показники біоелектрики сухих ґрунтів, коли електропровідність загалом ґрунту низька, можуть бути наслідком активних рослинних виділень (Rusyn et al., 2020). Виявлений факт високих показників біоелектрики в ґрунтах із низькою вологістю та їх зростання із зниженням рівня вологи у ґрунті є ще одним доказом того, що отримувана біоелектрика залежить, насамперед, від активності рослин. Низька вологість (10-20%) не є визначальним фактором для розвитку електрико-продукуючих мікроорганізмів; вирішальними натомість є рослини, які постачають електроактивним мікроорганізмам необхідне органічне живлення та вологу залежно від багатьох факторів, таких як освітлення, температура довкілля і ґрунту та вологість субстрату (Rusyn et al., 2020).

Високі і стабільні середні значення біоелектричного потенціалу мікробно-рослинних асоціацій лісів з червня по жовтень, зростання потенціалу навіть у засушливих умовах розкривають їхні перспективи як важливого джерела відновлювальної енергії. Ліси змогли би стати додатковим екологічно чистим джерелом енергії як масштабного, так і локального значення. Біоелектротехнологія може мати високу актуальність для Волинської області, заболочені території якої, за даними Державного агентства лісових ресурсів України, займають найбільшу частку серед усіх областей України – 10,3% (Нругора, Vorobiov & Solomakha, 2005; Ivchenko, 2007; Vodnar, 2016), а також для північних низовинних територій Полісся та гірських територій України, де частка лісів є досить значною і займає від 40% до 80% всієї території (Шіна, 2007; Varvinskyi & Tykhenko, 2015). Підведення ліній електропередач до цих територій є проблематичним, супроводжується значними фінансовими затратами та руйнуванням довкілля.

Висновки

Природні екосистеми, зокрема, екосистеми лісів мають потенціал як джерело біоелектрики. Коливання біоелектричного потенціалу впродовж доби та сезонні коливання рівня біоелектричного потенціалу протягом літа і осені у досліджених екосистемах є статистично несуттєвими. Для продукування біоелектричного потенціалу у значній мірі необхідний цілий комплекс сприятливих умов температури, вологості та освітлення. Вологість ґрунту позитивно впливала на біоелектричні параметри, водночас було виявлено підвищення біоелектричних параметрів у посушливих умовах, що є важливою ознакою внеску продуктів фотосинтезу у формування біоелектрики. Подальша розробка електробіотехнологічного напрямку відкриває потенційні можливості лісових екосистем та екосистем луків як джерела поновлюваної та зеленої енергії. Природні екосистеми завдяки виявленим стабільним значенням біоелектричних параметрів можуть стати важливим джерелом відновлюваних та екологічно чистих джерел енергії.

Список літератури

- Aucina, A., Rudawska, M., Leski, T., Skridaila, A., Riepsas, E., & Iwanski, M. (2007). Growth and mycorrhizal community structure of *Pinus sylvestris* seedlings following the addition of forest litter. *Applied and environmental microbiology*, 73 (15), 4867-4873. Retrieved from <https://doi.org/10.1128/AEM.00584-07>
- Barvinskyi, A. V., & Tykhenko, R. V. (2015). *Land quality assessment and forecast*. Kyiv: Medinform (in Ukrainian).
- Baxter, J. W., & Dighton, J. (2001). Ectomycorrhizal diversity alters growth and nutrient acquisition of grey birch (*Betula populifolia*) seedlings in host-symbiont culture conditions. *New Phytologist*, 152, 139-149.
- Bodnar, V. O. General characteristics of forests and forestry of Ukraine. (2016). *Public report of the State Forest Resources Agency of Ukraine*, Kyiv (in

- Ukrainian). Retrieved from http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921
- Crow, P. (2005). *The influence of soils and species on tree root depth*. Edinburgh: Forestry Commission.
- Dai, J., Wang, J.-J., Chow, A. T., & Conner, W. H. (2015). Electrical energy production from forest detritus in a forested wetland using microbial fuel cells. *Global Change Biology Bioenergy*, 7, 244-252. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/gcbb.12117>
- De Schamphelaire, L., Van Den Bossche, L., Hai, S. D., Höfte, M., Boon, N., Rabaey, K., & Verstraete, W. (2008). Microbial fuel cells generating electricity from rhizodeposits of rice plants. *Environmental Science & Technology*, 42(8), 3053-3058. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/es071938w>
- Dobson, M. (1995). *Tree root systems*. Farnham: Arboricultural Advisory and Information Service.
- Eismont, V. S. (2014). Features of the structure of the root system of pine trees on soils with and without rocky rocks in Central Polissya. *Forestry and gardening*, 4, 1-7 (in Ukrainian).
- Eshel, A., & Beeckman, T. (2013). *Plant Roots: The Hidden Half*. Fourth Edition. Boca Raton: CRC Press.
- Ganatsas, P., & Spanos, I. (2005). Root system asymmetry of Mediterranean pines. *Plant and Soil*, 278, 75-83. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11104-005-1092-3>
- Helder, M., Strik, D. P. B. T. B., Hamelers, H. V. M., & Buisman, C. J. N. The flat-plate plant microbial fuel cell: The effect of a new design on internal resistances. (2012). *Biotechnology for Biofuels*, 5(1), 70. doi: 10.1186/1754-6834-5-70
- Hryhora, I. M., Vorobiov, Ye. O., & Solomakha, V. A. (2005). *Forest swamps of Ukrainian Polissya (origin, dynamics, classification)*. Kyiv: Fitosotsiotsentr (in Ukrainian).

- Ilina, O. V. (2007). Volynia swamps: features of distribution and anthropogenic changes. *Scientific works of the Ukrainian Hydrometeorological Research Institute*, 256, 367-372 (in Ukrainian).
- Ivchenko, A. S. (2007). Marshlands of Ukraine. In *Great Atlas of the world. Geographic Encyclopedia*. (pp. 333-336). Kyiv: Amerkom Ukraina (in Russian).
- Kaku, N., Yonezawa, N., Kodama, Y., & Watanabe, K. (2008). Plant/microbe cooperation for electricity generation in a rice paddy field. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79 (1), 43-49. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1410-9>
- Kalinin, M. I., Huz, M. M., Debryniuk, I. M. (1998). *Forest root science*. Lviv: Ukrainian State Forestry University (in Ukrainian).
- Kim, B.H., Park, H.S., Kim, H.J., Kim, G. T., Chang, I. S., J. Lee, & Phung, N. T. (2004). Enrichment of microbial community generating electricity using a fuel-cell-type electrochemical cell. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63, 672-681. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1412-6>
- Kouzuma, A., Kaku, N., & Watanabe, K. (2014). Microbial electricity generation in rice paddy fields: recent advances and perspectives in rhizosphere microbial fuel cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98 (23), 9521-9526. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6138-0>
- Liu, S., Song, H., Li, X., & Yang, F. (2013). Power generation enhancement by utilizing plant photosynthate in microbial fuel cell coupled constructed wetland system. *International Journal of Photoenergy*, Article ID 172010, 1-10. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2013/172010>
- Logan, B. E., & Regan, J. M. (2006). Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trends Microbiology*, 14, 512-518. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tim.2006.10.003>

- Logan, B. E., Rossi, R., Ragab, A., & Saikaly, P. E. Electroactive microorganisms in bioelectrochemical systems. (2019). *Nature Reviews Microbiology*, 17(5), 307-319. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0173-x>
- Lovley, D. R., Ueki, T., Zhang, T., Malvankar, N. S., Shrestha, P. M., Flanagan, K. ... Nevin, K. P. (2011). Geobacter: the microbe electric's physiology, ecology, and practical applications. *Advances in Microbial Physiology*, 59, 1-100. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387661-4.00004-5>
- Lu, L., Xing, D., & Ren, Z. J. (2015). Microbial community structure accompanied with electricity production in a constructed wetland plant microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 195, 115-121. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.098>
- Maliuha, V. M., & Khryk, V. M. (2010). The fastening properties of the root system of the pine tree on the ravine and girder lands. *Scientific reports National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 4 (20), 1-11 (in Ukrainian).
- Mauer, O., Houskova, K., & Mikita, T. (2017). The root system of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) at the margins of regenerated stands. *Journal of Forest Science*, 63 (1), 22-33. Retrieved from <https://doi.org/10.17221/85/2016-JFS>
- Munzenberger, B., Gollmack, J., Ullrich, A., Schmincke, B., & Huttel, R. F. (2004). Abundance, diversity, and vitality of mycorrhizae of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in lignite recultivation sites. *Mycorrhiza*, 14 (3), 193-202. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0257-2>
- Nguyen, V., & Nitisoravut, R. (2019). Bioelectricity generation in Plant Microbial Fuel Cell using forage grass under variations of circadian rhythm, ambient temperature, and soil water contents. *2019 IEEE Asia Power and Energy Engineering Conference, Chengdu, China*, 240-244. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/APEEC.2019.8720344>
- Ostonen, I., Rosenvald, K., Helmisaari, H.-S., Godbold, D., Parts, K., Uri, V., & Lohmus K. (2013). Morphological plasticity of ectomycorrhizal short roots in

Betula sp and *Picea abies* forests across climate and forest succession gradients: its role in changing environments. *Frontiers in Plant Science*, 4, 335. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00335>

Raudaskoski, M., & Salo, V. (2008). Dichotomization of mycorrhizal and NPA-treated short roots in *Pinus sylvestris*. *Plant Signaling & Behavior*, 3 (2), 113-115. Retrieved from <https://doi.org/10.4161/psb.3.2.4972>

Rusyn, I. B., & Hamkalo, Kh. R. (2019). Bioelectricity production in an indoor plant-microbial biotechnological system with *Alisma plantago-aquatica*. *Acta Biologica Szegediensis*, 62 (2), 170-179. Retrieved from <https://doi.org/10.14232/abs.2018.2.170-179>.

Rusyn, I. B., & Medvediev, O. V. (2016). Biological method of producing bioelectricity from deep soil layers. *Patent of Ukraine 112093*, filed March 9, 2016, issued December 12, 2016 (in Ukrainian).

Rusyn, I. B., Medvediev, O. V., Valko, B. T., & Nikitchuk, S. V. (2020). Bioelektryka ekosystem lisiv, zabolochenykh luk ta ahroekosystem Zakhidnoi Ukrainy (Bioelectricity of ecosystems of forests, wetlands and agro-ecosystems of Western Ukraine). *Naukovi pratsi Lisivnychoi Akademii nauk Ukrainy*, 20, 33-44 (in Ukrainian). Retrieved from <https://doi.org/10.15421/412003>

Simard, S. W., Asay, A., Beiler, K. J., Bingham, M. A., Deslippe, J. R., He, X., ... Teste, F. P. (2015). Resource transfer between plants through ectomycorrhizal fungal networks. In Horton, T. R. (Ed.), *Mycorrhizal Networks Vol. 224*, (pp. 133-176). (Ecological studies: Analysis and Synthesis). Dordrecht: Springer.

Strik, D. P. B. T. B., Hamelers, H. V. M., Snel, J. F. H., & Buisman, C. J. (2008). Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal of Energy Research*, 32 (9), 870-876. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/er.1397>

Strik, D. P. B. T. B., Timmers, R. A., Helder, M., Steinbusch, K. J., Hamelers, H. V., & Buisman, C. J. (2011). Microbial solar cells: applying photosynthetic and

electrochemically active organisms. *Trends in Biotechnology*, 29 (1), 41-49. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2010.10.001>

Sudirjo, E., Pim de Jager, Cees J. N., Buisman, C. J. N., & Strik, D. P. B. T. B. (2019). Performance and Long Distance Data Acquisition via LoRa Technology of a Tubular Plant Microbial Fuel Cell Located in a Paddy Field in West Kalimantan. *Indonesia Sensors*, 19, 4647. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/s19214647>

Takanezawa, K., Nishio, K., Kato, S., Hashimoto, K., & Watanabe, K. (2010). Factors affecting electric output from rice-paddy microbial fuel cells. *Bioscience, Biotechnology & Biochemistry*, 74, 1271-1273. Retrieved from <https://doi.org/10.1271/bbb.90852>

Timmers, R. A., Rothballer, M., Strik, D. P. B. T. B., Engel, M., Schulz, S., Schlöter, M. ... B., & Buisman, C. (2012). Microbial community structure elucidates performance of *Glyceria maxima* plant microbial fuel cell. *Applied Microbiology & Biotechnology*, 94 (2), 537-548. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00253-012-3894-6>

Tou, I., Azri, Y. M., Sadi, M. H., Lounici, H., & Kebbouche-Gana, S. (2019). *Chlorophytum* microbial fuel cell characterization. *International Journal of Green Energy*, 16 (12), 1-13. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1650049>

Ueoka, N., Sese, N., Sue, M., Kouzuma, A., & Watanabe, K. Sizes of Anode and Cathode Affect Electricity Generation in Rice Paddy-Field Microbial Fuel Cells. (2016). *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 06 (01), 10-15. <https://doi.org/10.4236/jsbs.2016.61002>

Wetser, K. (2016). *Electricity from wetlands: Technology assessment of the tubular Plant Microbial Fuel Cell with an integrated biocathode. Part two: PMFCs applied in wetlands*. Wageningen: Wageningen University. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.006>

- Wetser, K., Liu, J., Buisman, C. J. N., & Strik, D. P. B. T. B. (2015). Plant microbial fuel cell applied in wetlands: Spatial, temporal and potential electricity generation of *Spartina anglica* salt marshes and *Phragmites australis* peat soils. *Biomass & Bioenergy*, 83, 543-550. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.006>
- Zinchenko, O. I., Salatenko, V. N., & Bilonozhko, M. A. (2001). *Plant Growing*. Kyiv: Agricultural education (in Ukrainian).
- Zuzuk, B. M., Kutsyk, R. V., Radko, O. V., Kulahina, M. A., & Serbin, A. H. (2007). Alder gray, alder white *Alnus incana* (L.) Moench. *Magazine Pharmacist*, 8, 1-10 (in Ukrainian).

РОЗШИРЕНА МЕРЕЖА МОНІТОРИНГУ АЕРОЗОЛІВ AIRVISUAL У МІСТІ КИЄВІ

- Міліневський Г.П.**, Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Відділ оптики атмосфери та приладобудування, Головна астрономічна обсерваторія НАН України д.ф.-м.н., с.н.с., гол.н.с., Київ, Україна
- Ліптуга А.І.**, Інститут фізики напівпровідників імені Лашкарьова НАН України, к.ф.-м.н., с.н.с., зав. лаб., Київ, Україна
- Кислий В.П.**, Інститут фізики напівпровідників імені Лашкарьова НАН України, к.ф.-м.н., с.н.с, Київ, Україна
- Синявський І.І.**, Відділ оптики атмосфери та приладобудування, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, к.т.н., зав. відділу, Київ, Україна
- Сосонкін М.Г.**, Відділ оптики атмосфери та приладобудування, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, , к.т.н., с.н.с., пров.н.с., Київ, Україна
- Симон А.О.**, Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, інж., Київ, Україна
- Данилевський В.О.**, Астрономічна обсерваторія, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, к.ф.-м.н., с.н.с., Київ, Україна
- Юхимчук Ю.Ю.**, Відділ оптики атмосфери та приладобудування, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, інж., Київ, Україна
- Серьожкін Ю.Г.**, Інститут фізики напівпровідників імені Лашкарьова НАН України, н. с., Київ, Україна
- Турос О.І.**, Лабораторія якості повітря, Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзеєва НАМН України, д.мед.н., проф., зав. лаб., Київ, Україна

Чолій В.Я., Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, к.ф.-м.н., доцент, доцент, Київ, Україна

Маремуха Т.П., Лабораторія якості повітря, Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва НАМН України, н.с., Київ, Україна

Петросян А.А., Лабораторія якості повітря, Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва НАМН України, к.б.н., с.н.с., пров.н.с., Київ, Україна

Abstract

The four stations of the AirVisual network, has been established in Kyiv city by authors in March 2020 and fifth station has been added in June. The stations distributed in Kyiv city in the way to cover the most part of city regions and created the network for air quality evaluation. The main sensor of the network is AirVisual Pro smart air quality monitor with the advanced laser technology that provides highly accurate readings of fine particles PM_{2.5} with 2.5 μm aerodynamic diameter down to 0.3 μ. The device is transmitting the measurements to an environmental pollution map (<https://airvisual.com/world>), which displays data from AirVisual devices located in different regions of the world. The data can be read directly from the device or site, or from a special smartphone application. The site and the IQAir application also provided the data file with measurement history that can be displayed in hours or days, as well as a short-term pollution forecast and a list of the world's most polluted sites. The case of intensive PM particles contamination in surface atmosphere layer in Kyiv city in 2020 has been studied. This extraordinary high PM_{2.5} aerosol contamination has been registered in the atmosphere during the March-April 2020 period over Kyiv city (Ukraine) by newly established AirVisual sensors extended network. The source of contamination is the frequent grass and forest fires in the northern part of Ukraine and the Kyiv region. The results of Air Visual sensors have been compared to AERONET Kyiv station and with the standardized APDA-371 HORIBA detector to determine the accuracy and stability of

AirVisual stations. The properties of aerosol particles during pollution are considered using AERONET Kyiv station measurements. These data allowed us to estimate the size of aerosol particles and make assumptions about their nature by the Angstrom Exponent value and its dependence on AOD at different wavelengths. The cluster diagrams allow to determine the presence in the atmosphere of biomass burning products, as well as mineral dust due to fires and atmospheric mass transfer.

Вступ

На вміст аерозолію в атмосфері над Києвом впливають численні місцеві джерела аерозольного забруднення (інтенсивний міський транспорт, важка промисловість) та перенос аерозолію із віддалених джерел, переважно природних та штучних лісових та торф'яних пожеж, спалення трави. Потенціальний вплив таких місцевих і віддалених джерел аерозольних частинок на якість повітря та на сезонні і місцеві зміни вмісту та властивостей аерозолів у атмосфері над Києвом за вимірюваннями авторів за допомогою сонячних фотометрів мережі AERONET розглядався в (Milinevsky et al., 2014), із застосуванням тривимірних зворотних траєкторій та кластерного аналізу для визначення переважних напрямків переносу частинок та можливого походження аерозолію.

З метою контролю якості повітря в Києві і оцінок його забруднення авторами в березні 2020 року були створені чотири станції мережі AirVisual, а п'ята станція додана в червні цього ж року. Станції, розподілені в місті Києві таким чином, щоб охопити як можна більшу частину міських районів. Основним приладом мережі є "розумний" монітор якості повітря AirVisual Pro з вдосконаленою лазерною технологією, що забезпечує високоточні вимірювання дрібних аерозольних частинок РМ (Particulate Matter). Створена нашою командою частина мережі AirVisual у Києві дозволяє вимірювати концентрацію частинок з аеродинамічним діаметром від 0.3 до 2.5 мкм (PM_{2.5}) та до 10 мкм

(PM10) (<https://www.iqair.com/air-quality-monitors/airvisual-pro>) у діапазоні від 0 до 2000 мкг м⁻³.

Метою даної роботи є представлення створеної (розширеної) мережі AirVisual з контролю стану приземного повітря в Києві за даними PM2.5 та розгляд випадку його інтенсивного забруднення частинками РМ протягом березня–квітня 2020 року, коли лісовими пожежами були охоплені великі площі у північній частині України, і зокрема у Чорнобильській зоні відчуження 4–15 квітня 2020 року.

Місцева мережа спостережень AirVisual in situ, створена авторами в місті Києві, та інші засоби досліджень характеристик аерозолі в атмосфері над Києвом описані в розділі 2. Результати часових змін аерозольного забруднення обговорюються в розділі 3, де також наведено порівняння спостережень AirVisual (1) з одночасними дистанційними вимірюваннями сонячного фотометра AERONET та (2) з вимірюваннями in situ концентрацій PM2.5 датчиком APDA-371 HORIBA. Властивості аерозольних частинок розглянуто в розділі 4 з подальшими висновками у розділі 5.

Інструменти та методи вимірювань вмісту аерозолі

У цій роботі ми використовуємо набір даних для дослідження аерозольного забруднення з чотирьох станцій розширеної мережі AirVisual (яка утворює власну міні-мережу приладів, що обслуговуються нашою командою), стандартизованого аналізатора PM2.5 та PM10 APDA-371 HORIBA та даних станції AERONET Київ. Також були проаналізовані карти пожеж та переносу продуктів горіння за веб-сайтами Zoom Earth та зображення з орбітальних інструментів MODIS (супутник Aqua) та VIIRS (супутник Suomi-NPP).

1. Міні-мережа AirVisual у Києві

Чотири станції мережі AirVisual були створені авторами на початку березня 2020 року. П'ята станція була встановлена на західній частині міста у

червні 2020 року. Прилад AirVisual Pro є монітором якості повітря, який працює за принципом вдосконаленої лазерної технології ідентифікації аерозольних частинок аерозолі, що забезпечує високоточні вимірювання концентрації частинок PM2.5.

Кожен прилад AirVisual Pro оснащений сенсором SenseAir S8 mini-NDIR, що вимірює рівень CO₂ в діапазоні від 400 до 10 000 ppm, спеціально розробленим оптичним датчиком концентрації аерозолі AVPM25b, що дозволяє вимірювати концентрацію PM1, PM2.5 і PM10 в діапазоні від 0 до 2000 мкг м⁻³, а також датчики температури від -10 до +40°C та вологості 0–100%. Вбудований акумулятор має ємність 1850 мА год, що забезпечує 4 години безперервної роботи без підзарядки. Micro-USB монітора можна використовувати для приєднання зовнішнього джерела живлення, наприклад сонячної панелі.

Прилад AirVisual Pro має 5-дюймовий широкоформатний дисплей, а також записує вимірювання у вбудовану флеш-пам'ять об'ємом 3 ГБ. За допомогою WiFi-зв'язку прилад AirVisual Pro дозволяє візуалізувати дані вимірювань на карті забруднення навколишнього середовища (<https://airvisual.com/world>), яка відображає дані з пристроїв AirVisual, розташованих у різних містах і різних регіонах світу. Дані можна також завантажити безпосередньо з пристрою чи з веб-сторінки, або зі спеціальної програми для смартфона. Сайт та додаток також формують у файлі даних історію вимірювань, яка відображується щогодини, а також короткочасний прогноз забруднення та список найбільш забруднених міст у світі.

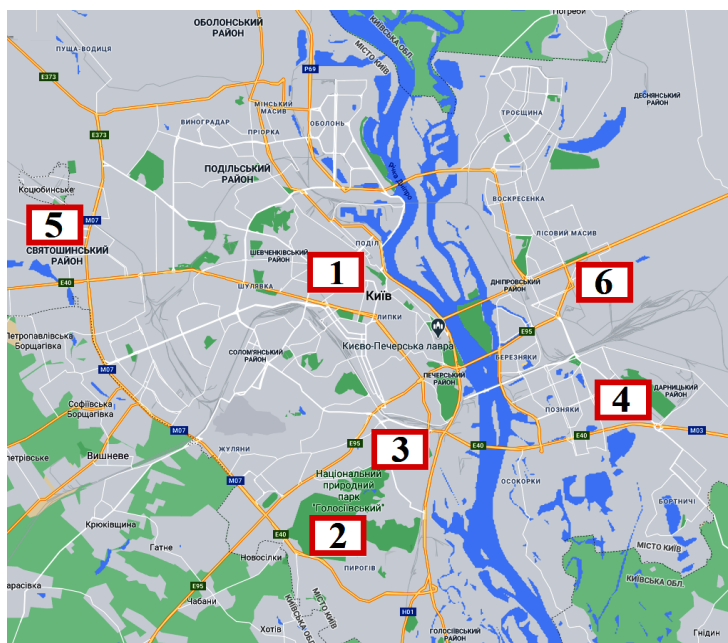
Чотири станції мережі AirVisual, дані з яких використані в роботі, розподілені в Києві таким чином щоб охопити якомога більшу частину міської території. Всі датчики встановлені у спеціально розроблених та створених метеорологічних будиночках, які захищають датчик від прямого сонячного світла та опадів (рис. 1а). Розташування п'яти станцій AirVisual та станції Popudrenka (APDA-371 HORIBA) на карті міста Києва показано на рис. 1б.

Станція Artema Street. Станція знаходиться практично в центрі міста, на відстані 2.3 км від географічного центру Києва. Датчик встановлено на висоті 10 м від поверхні землі на відстані 70 м від завантаженої інтенсивним рухом автотранспорту вулиці Січових Стрільців (Артема). Між дорогою і датчиком знаходиться невеликий сквер з деревами висотою до 5 м. З лівого боку від датчика також знаходиться сквер і найближчі будівлі знаходяться на відстані 90 м і більше. Навколишні будівлі мають висоту від 20 до 60 м. Таке положення датчика дозволяє вважати місце репрезентативним в околі більше 100 м.

Станція Golosiiv. Станція розміщена на території Головної астрономічної обсерваторії НАН України, що територіально розташована у Національному парку «Голосіївський», на відстані 9.7 км на південь від центру Києва. Цей район вважається одним з найчистішим за якістю повітря в Києві. Тому цю станцію можна вважати реперною.



(a)



(б)

Рис. 1. (а) Розміщення датчиків AirVisual у спеціально розробленому метеорологічному будиночку, станція Artema Street, показано інтеркалібрування двох датчиків (передня стінка відчинена). (б) Розташування п'яти станцій AirVisual та станції Popudrenka (APDA-371 HORIBA) на карті Києва: 1 – Artema Street, 2 – Golosiiv, 3 – Nauky Avenue, 4 – Trostyanetska, 5 – Chornobylska Street, 6 – Popudrenka.

Датчик встановлено на північній стороні лабораторного корпусу ГАО НАНУ на відстані 1 м від її стіни на висоті 9 м. В радіусі 100 метрів інші будівлі відсутні. Транспортна артерія, вул. Заболотного, що є фактично частиною об'їзної дороги м Києва розташована на відстані 1.3 км на південний захід. На відстані 2.6 км на схід розташований полігон будівельного сміття №6 м Києва, але весь цей проміжок займають лісові насадження.

Станція Nauky Avenue. Станція розміщена за 6.5 км на південь від центру Києва на перехрестку тихої вулиці Лисогірська і досить завантаженого автомобільним рухом проспекту Науки на висоті 15 м. Сам датчик знаходиться на відстані одного метра від стіни будинку. Від вулиці Лисогірської його відділяє одне високе дерево, а відстань від проспекту Науки складає 80 м без будь-яких перешкод. Найближча будівля знаходиться на відстані 50 м і її останній поверх розташований на висоті датчика. На відстані 100 м є будинок висотою 30 м. У західному напрямку за проспектом Науки знаходиться невеликий пагорб, а у східному – схил.

Станція Trostyanetska. Станція розташована на відстані 10 км на південний схід від центру Києва у Дарницькому районі. Розміщена на відстані 1 метра від стіни будинку на висоті 35 м, що спрямована на північний схід. З чотирьох сторін знаходяться транспортні шляхи з великим навантаженням: за 300 метрів на північний схід – Харківське шосе, та за 1.3 км на південь – проспект Бажана. І з меншим навантаженням за 400 метрів на південний захід вул. Вербицького, та 300 метрів на захід вул. Тростянецька. На відстані 2.7 км на південь розташований сміттєспалювальний завод "Енергія". Найближча зелена зона Парк Партизанської слави розташований на відстані 600 м на північний схід.

Станція Chornobylska Street. Станція знаходиться на висоті 30 м на західній околиці міста за 12.7 км від центру міста і за 600 м від проспекту Палладіна з інтенсивним автомобільним рухом. У напрямку проспекту Палладіна розташовані два будинки на відстані 75 і 120 м висотою 60 м та 70 м. Інші навколишні будинки висотою понад 50 м знаходяться на віддалі понад 200 м. Навколо будинку росте досить чимало дерев різної висоти.

Параметри стану якості повітря за індексом AQI (Air Quality Index), а саме концентрацію частинок PM_{2.5}, температуру повітря, напрямок та швидкість вітру, відносну вологість, концентрацію вуглекислого газу CO₂ в даний момент часу, а також прогноз цих параметрів на майбутній тиждень параметрів, включаючи стан хмарності та можливість опадів. Таку інформацію кожен мешканець Києва може бачити он-лайн зі смартфона для кожної станції (відповідного району міста) за посиланням типу <https://www.airvisual.com/invitation/T8nZek2N2>. За цим посиланням користувач переходить до завантаження застосунка iQAir AirVisual і отримує доступ до даних нашої мережі AirVisual.

2. Сертифікований аналізатор РМ APDA-371 HORIBA, станція Popudrenka

Станція Popudrenka, яка відповідає вимогам методів визначення РМ_{2.5} та РМ₁₀ згідно Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827, Директиви ЄС 2008/50/ЄС та стандартів Агентства США з охорони навколишнього середовища (EPA), належить ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України» (надалі – Інститут), що розташований на відстані 8 км від центру Києва у східному напрямку у Деснянському районі (50.4593N, 30.6337E). Місце відбору проб відповідає вимогам репрезентативності розташування, коли датчик розміщений поза місцевими джерелами забруднення та вільний від аеродинамічної турбулентності (Turoso et al., 2019). З трьох сторін станції спостереження розташовані транспортні шляхи, на

відстанях: 95 м у північно-західному та 115 м у південно-східному напрямках, відповідно, проїжджі частини доріг по вул. Попудренка та проспекту Юрія Гагаріна з одностороннім рухом та помірним трафіком; 260 м у північно-західному напрямку – Броварський проспект, що забезпечує транспортне сполучення з м. Бровари та фактично є виїздом з міста і характеризується значним транспортним потоком (легкового та вантажного транспорту); 180 м у західному напрямку – проїжджа частина дороги по вул. Гната Хоткевича з трамвайною колією, що теж відзначається інтенсивним транспортним рухом. Територія поста спостережень характеризується наявністю між транспортними шляхами та будівлею поста зелених насаджень у західному, північно-західному та південно-східному напрямках, з південно-східної сторони – паркова зона з багатоповерховою та малоповерховою забудовою. На відстані 25 м у північно-західному напрямку знаходиться багатоповерховий фасад будівлі Інституту, за 15 м у південному та північно-східному напрямках – одноповерхові гаражні будівлі, СТО, склад-магазин, за 44 м, 50 м та 80 м, відповідно у північно-східному, східному та південному напрямках – багатоповерхові нежитлові будівлі (офісні та адміністративні приміщення різних суб'єктів господарювання).

Також слід зазначити, що станція розташована у зоні впливу Теплоелектроцентралі ТОВ "Євро-Реконструкція", що більш ніж на 70 % працює на вугіллі та є найбільшим стаціонарним джерелом забруднення міста. Відстань між пунктом моніторингу та джерелами викидів ТЕЦ ТОВ «Євро-Реконструкція» становить – 1440 м.

Вимірювання масових концентрацій PM_{2.5} та PM₁₀ in situ проводяться за допомогою газового аналізатора пилу HORIBA APDA-371 (Air Pollution Dust Analyzer), що складається з детектора, насоса та пробовідбірника (<https://www.environmental-expert.com/products/horiba-model-apda-371-ambient-dust-monitor-151228>). Модель HORIBA APDA-371 визнана Агентством з охорони довкілля США (Environment Protection Agency EPA) як Федеральний

еквівалентний метод для безперервного моніторингу твердих частинок PM10. Крім того, APDA-371 є першим у світі приладом, який отримав визнання EPA для безперервного моніторингу PM2.5, якщо він налаштований із відповідними аксесуарами. Аналізатор пилу APDA-371 для визначення забруднення повітря для суспендованих твердих частинок PM забезпечує тривалу стабільність та можливість самодіагностики, а також ефективний збір PM частинок за допомогою фторованої смоляної стрічки. Принцип вимірювання затверджений відповідно до норм Європейського Союзу та EPA.

Автоматизований забір повітря для аналізу проводиться на висоті 2.5 м. Місце моніторингу PM2.5 та PM10 забезпечує безперервне вимірювання масових концентрацій, використовуючи галузевий сертифікований принцип методу ослаблення бета-променів, як простий спосіб вимірювання масової концентрації в мг м^{-3} або мкг м^{-3} із довготривалою стабільністю. Джерело бета-частинок (вуглець-14 C^{14} з низькою потужністю) випромінює електрони з високою енергією і з постійною інтенсивністю. Кількість електронів контролюється високочутливим сцинтиляційним лічильником. Зовнішній насос подає заздалегідь визначену кількість повітря об'ємом 16.7 літра на хвилину через фільтрувальну стрічку з накопиченими осадами частинок PM2.5 та PM10, яка розміщена між джерелом бета-частинок і детектором (сцинтиляційним лічильником). Частинки аерозолу, що осідають на стрічці, призводять до зменшення кількості бета-частинок, що досягають детектора. Цей потік електронів прямо пропорційний пиловій масі на стрічці. Знаючи швидкість потоку повітря, можна розрахувати пилову масу. Протягом одного циклу вимірювань аналізатор частинок PM2.5 робить два 8-хвилинних вимірювання інтенсивності бета-тестування та одне 42-хвилинне відбирання проб. Аналізатор PM10 забезпечує два 4-хвилинні вимірювання бета-випромінювання та один 50-хвилинний відбір проб.

Час відбору проб відповідає часу роботи насоса, протягом якого повітря пропускається через смужку фільтра. Коли повітря потрапляє в пристрій для

відбору проб, воно спочатку проходить через зовнішню головку PM10, яка захищає від комах та інших великих частинок. Частинки діаметром більше 10 мкм екрануються силою інерції. При вимірюванні частинок PM2.5 повітря пропускається через спеціальну центрифугу, яка фільтрує частинки розміром більше 2.5 мкм. Далі повітря рухається вниз по трубці для відбору проб і проходить через фільтрувальну стрічку, на якій осідають частинки пилу. Точність вимірювання методу становить $\pm 5\%$.

3. Мережа AERONET

Наземна мережа сонячних фотометрів AERONET (AErosol RObotic NETwork, <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) дозволяє дистанційно отримувати довгострокові ряди даних для аналізу змін інтегрованих у стовпі атмосфери параметрів аерозольних частинок (Holben et al., 1998, 2018; Dubovik and King 2000; Giles et al., 2019). Дані AERONET є важливим інструментом для вивчення рівня аерозольного забруднення та його сезонної динаміки. У статті використовуються дані станції AERONET Київ, яка постійно функціонує з 2008 року робота якої забезпечується авторами статті (Danylevsky et al., 2011; Milinevsky et al., 2014; Milinevsky & Danylevsky, 2018).

Спостережна станція AERONET Київ розташована на території Головної астрономічної обсерваторії НАН України у Голосіївському лісі, приблизно за 10 км на південь від центру міста. Основним інструментом мережі AERONET є автоматичні сонячні фотометри CIMEL CE-318 виробництва CIMEL Electronique, Франція. Вони оснащені інтерференційними фільтрами у діапазоні від 340 до 1640 нм з півшириною смуги пропускання приблизно 10 нм. Довжини хвиль цих світлофільтрів підібрані так, щоб уникнути смуг поглинання сонячного випромінювання атмосферними газами (крім релєївського розсіювання), такими як водяна пара, кисень, озон тощо. Вимірювання виконуються під управлінням мікропроцесора за спеціальною програмою яка задає послідовність моментів часу, що відповідають певним

зенітним відстаням Сонця. Фотометр вимірює інтенсивність прямого сонячного випромінювання при зазначених довжинах хвиль та розподіл яскравості неба вздовж альмукантарату Сонця та вздовж кола його висоти, використовуючи для цього два окремі оптичні канали з різним рівнем чутливості (Holben et al., 1998; Giles et al., 2019). Поле зору кожного з каналів фотометра обмежується спеціальним коліматором і становить 1.2° . У середньому вимірювання прямого сонячного випромінювання фотометром виконуються кожні 15 хвилин у діапазоні зенітних відстаней Сонця від 75° і менше.

Найзагальнішою характеристикою вмісту аерозолів при дистанційних спостереженнях є аерозольна оптична товщина атмосфери АОТ (АОТ – Aerosol Optical Thickness, або ж АОД – Aerosol Optical Depth, рівнозначні терміни і можуть використовуватись одночасно), яка пропорційна вмісту аерозольних частинок у стовпі атмосфери над місцем спостережень і є його прямим індикатором аерозольного забруднення (див. напр. Seinfeld & Pandis 2006; Voucher, 2015).

За вимірюваннями з фотометром у прямому сонячному світлі визначається спектральна АОТ, приведена до зеніта, а з урахуванням розподілу яскравості неба шляхом розв'язання відповідної оберненої задачі (Dubovik & King 2000; Sinyuk et al. 2020) визначаються усереднені у стовпі атмосфери характеристики аерозольних частинок, зокрема розподіл за розмірами, що моделюється двомодальним лог-нормальним законом у діапазоні радіусів сферичних частинок від 0.05 до 15 мкм. Оцінюються параметри такого розподілу окремо для дрібнодисперсної та крупнодисперсної фракцій, а мінімум між ними алгоритм розв'язування оберненої задачі знаходить у межах від 0.439 до 0.992 мкм. На основі цих даних за спеціальним алгоритмом (O'Neil et al. 2003) обчислюються АОТ при довжині хвилі 500 нм як для усіх частинок у стовпі атмосфери, так і для кожної з фракцій окремо, як стандартний продукт AERONET.

У попередніх публікаціях про результати дистанційних досліджень з сонячним фотометром AERONET Kyiv та аналізу супутникових даних було показано, що вміст аерозолів над Києвом щороку має два максимуми: навесні і наприкінці літа (Bovchaliuk et al., 2013; Milinevsky et al., 2014; Milinevsky & Danylevsky, 2018). Було зазначено, що однією з причин такого збільшення вмісту аерозолів навесні були пожежі рослинності, що призводило до тимчасового але істотного збільшення АОТ відносно фонового рівня протягом кількох діб.

4. Супутникові дані

Набір зображень теплових аномалій та продуктів активних пожеж з супутникового інфрачервоного радіометра та радіометра видимого діапазону VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) використовувався в роботі для визначення районів пожеж, продукти яких впливали на якість повітря в атмосфері над Києвом. Зображення теплових аномалій та територій, зайнятих пожежами з супутникового спектродіометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) в режимі реального часу також дозволили визначити місцевості, які призводили до сильного аерозольного забруднення атмосфери над Києвом. Супутниковий знімок 8 квітня 2020 року сервісу Zoom Earth (<https://zoom.earth/service>) з великою лісовою пожежею на півночі Київської області показує джерела забруднення аерозолями (рис. 2).



(a)



(b)

Рис. 2. (а) Карта пожеж MODIS/VIIRS 15 березня – 15 квітня 2020 р. Переважний напрямок вітру N – NW, швидкість вітру до 27 км год^{-1} . Дані з <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>; (b) супутникове зображення 8 квітня 2020 р. з великою лісовою пожежею на північному заході Київської області (<https://zoom.earth/service>).

В період часу, який детально розглядається (березень–квітень 2020 р.), існували декілька джерел забруднення аерозолями атмосфери над Києвом: пилові бурі, пожежі у приміській території на невеликій відстані від Києва, а також дві великі зони лісових пожеж на півночі Київської області, зокрема у Чорнобильській зоні.

Результати оцінок забруднення PM_{2.5} в атмосфері міста Києва

У цьому розділі розглянуто результати вимірювань забруднення атмосфери міста Києва частинками PM_{2.5}, порівняння даних мережі AirVisual з іншими вимірюваннями та аналіз часових змін аерозольного забруднення.

Проаналізовано дані чотирьох станцій Air Visual: Artema Street, Golosiiv, Nauky Avenue, Trostyanetska, Chornobylska Street, а також станції Popudrenka з аналізатором PM, сертифікованим за вимогами ЄС (Turos et al., 2019). Розглянуто часові зміни екстраординарного аерозольного забруднення в атмосфері над Києвом навесні 2020 р., наведено порівняння спостережень AirVisual з одночасними дистанційними вимірюваннями сонячного фотометра

станції AERONET Київ та з вимірюваннями *in situ* концентрацій PM2.5 приладом APDA-371 HORIBA.

Для оцінки точності та стабільності датчиків AirVisual Pro ми порівняли дані квазі-одночасних вимірювань PM2.5 станції AirVisual Artema Street та станції Popudrenka за період березень–квітень 2020 р. (рис. 3а). Одночасні середньодобові дані вимірювань станцій AirVisual та станції Popudrenka також наведені на рис. 4а, б.

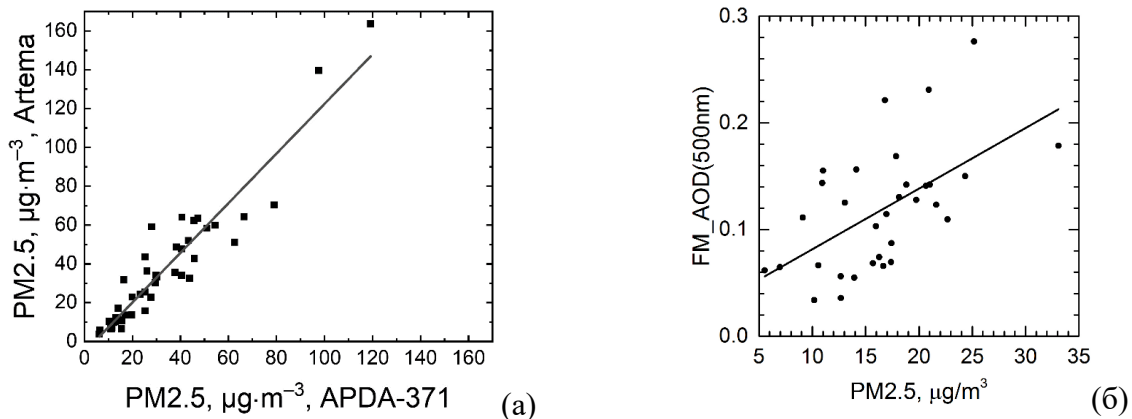


Рис. 3. (а) Порівняння даних вимірювань PM2.5 станції AirVisual Artema Street та станції Popudrenka APDA-371, одночасні вимірювання березень–квітень 2020 р.; (б) порівняння концентрацій PM2.5 з середньодобовим значенням АОТ/АОД (500 нм) дрібнодисперсної фракції (дані рівня 1.5), виміряним на станції AERONET Київ протягом червня–жовтня 2017 р., рисунок (б) модифіковано з (Shelestov et al. 2019).

Як видно з рис. 3а, значення аерозольного забруднення AirVisual та APDA-371 добре узгоджуються для невеликих значень PM2.5 (до $\sim 40 \text{ мкг м}^{-3}$), але розбіжність зростає при значеннях PM2.5 більше 60 мкг м^{-3} . Параметри лінійної регресії (рис. 3а): коефіцієнт кореляції по Пірsonу (Pearson) $r = 0.94$. Збіжність результатів вимірювань в середньому складає краще $\sim 20\%$.

В березні за даними станцій AirVisual спостерігається чотири максимуми значень PM2.5 зі збільшенням до 80 мкг м^{-3} , що втричі перевищує поріг допустимого забруднення за європейськими нормами 25 мкг м^{-3} (рис. 4а).

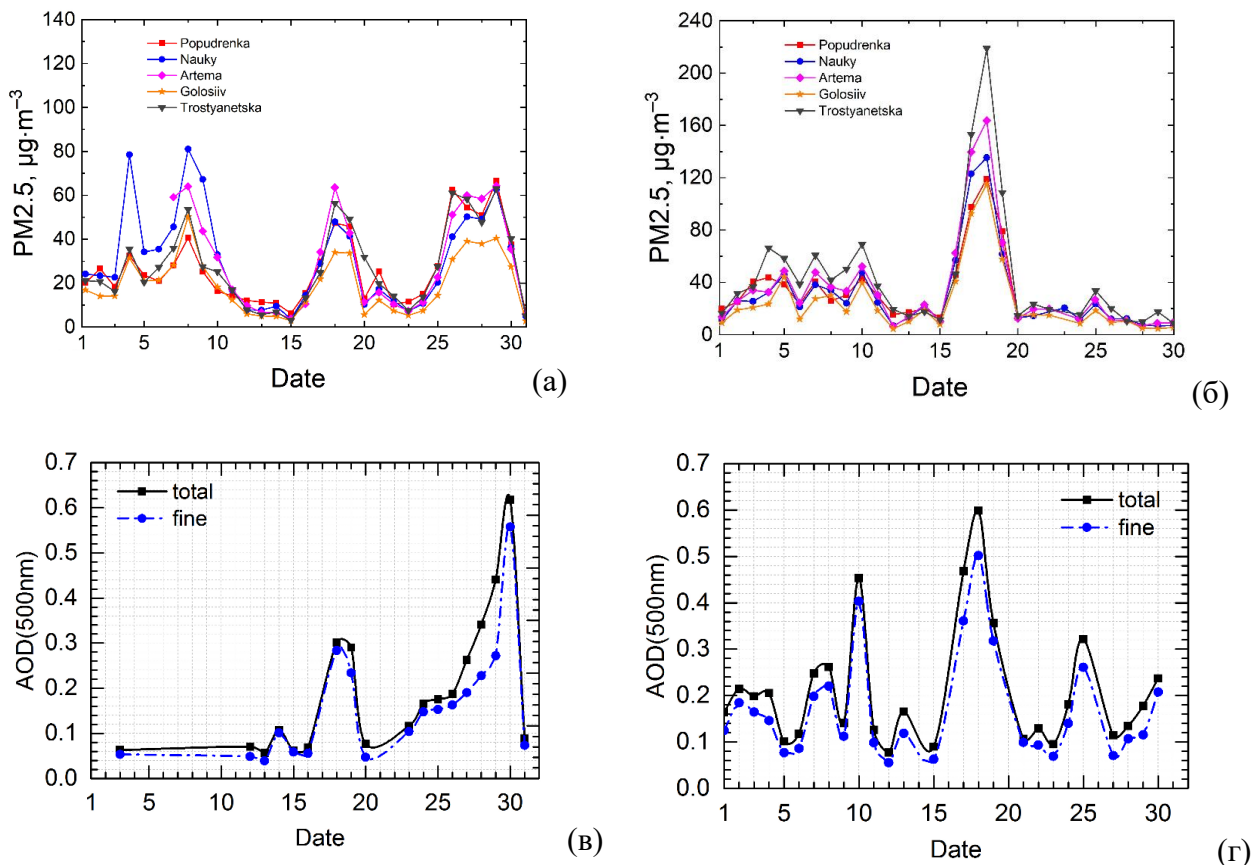


Рис. 4. Середньодобові вимірювання $\text{PM}_{2.5}$ в мережі AirVisual у Києві на чотирьох станціях: Nauky Avenue, Artema Street, Trostyanetska, Golosiiv та APDA-371 Popudrenka в (а) березні та (б) квітні 2020 р.; (в, г) зміни оптичної товщини аерозольного шару при довжині хвилі 500 нм над Києвом за спостереженнями з сонячним фотометром протягом (в) березня і (г) квітні 2020 р., наведені усереднені за кожен день значення AOD усіх частинок (total) AOD частинок дрібнодисперсної фракції (fine).

Найбільше забруднення спостерігалось на станції Nauky Avenue у першій половині березня, і на станціях Artema Street та Trostyanetska у другій половині березня (див. рис. 4а). У квітні зареєстровано значне збільшення аерозольного забруднення $\text{PM}_{2.5}$ до 40–70 мкг м^{-3} (максимум на станції AirVisual Trostyanetska) у першій половині квітня і екстремальне забруднення з максимумом $\text{PM}_{2.5}$ до 220 мкг м^{-3} 18-го квітня (рис. 4б). Потрібно відзначити, що це середньодобове значення $\text{PM}_{2.5}$ (станція Trostyanetska), тобто рівень забруднення частинками $\text{PM}_{2.5}$ майже у 10 разів перевищував норми ЄС. Відзначимо, що таке значне забруднення аерозолями $\text{PM}_{2.5}$ не було місцевим –

значне збільшення PM_{2.5} спостерігалось також на інших чотирьох станціях AirVisual.

За спостереженнями з сонячним фотометром станції AERONET Київ (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) навесні 2020 р. також були виявлені випадки істотного підвищення АОТ (див. рис. 4в, г) у березні (18 і 19 та з 27 по 30) і у квітні (10, з 17 по 19, 25). Тобто у ті ж періоди, що й підвищення концентрацій РМ за даними міні-мережі AirVisual. Відповідно зі спостережними даними, наведеними на рис. 4в, г, кожне таке підвищення відбувалось головним чином за рахунок дрібнодисперсного аерозолю, тобто аерозольних частинок з діаметром ≤ 2 мкм. У цій роботі використовуються дані рівня достовірності 1.5, які перевірені та виправлені за вплив хмар за версією 3 (V3) стандартизованого алгоритму обробки спостережних даних, прийнятого в мережі AERONET (Giles et al. 2019). Хоча ці дані ще не виправлені за можливі зміни характеристик фотометра (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>), але досвід роботи з сонячними фотометрами показує, що істотні зміни характеристик фотометрів за проміжок часу у 2 місяці дуже малоімовірні, тому ми впевнені у достатній достовірності цих даних для висновку про те, що зазначені зміни параметрів аерозольного шару є реальними.

Як показано у попередніх публікаціях, середні значення АОТ при довжинах хвиль ~ 500 нм не перевищують 0.2–0.3 залежно від сезону (Milinevsky et al. 2014; Milinevsky & Danylevsky 2018; Galytska et al. 2018). Протягом березня – квітня цього року спостерігались значно вищі значення (рис. 4в, г). Очевидно, що вони зумовлені продуктами пожеж, що переносились вітром від місць горіння рослинності на території України й сусідніх країн до Києва (рис. 2). Порівняння результатів дистанційних спостережень з даними приземних вимірювань концентрацій частинок PM_{2.5} у мережі AirVisual показує синхронність у змінах концентрацій PM_{2.5} та АОТ(500нм), див. рис. 4а, б і рис. 4в, г, незважаючи на прогалини у рядах АОТ, зумовлених хмарністю. Очевидно, що сонячний фотометр не вимірює АОТ за відсутності

Сонця, а саме хмарністю й пояснюються прогалини від 3 по 12 березня та протягом деяких інших днів як у березні, так і у квітні (рис. 4в, г).

Обидва ряди даних показують істотне зростання рівня забрудненості атмосфери над Києвом 17–19 та 25–30 березня, і протягом 16–19 квітня у значному за висотою стовпі атмосфери, від поверхні і до висоти у кілька кілометрів. Наприклад, вимірювання розподілу аерозолів з висотою, виконані над Києвом за допомогою лідара під час аналогічного випадку забруднення атмосфери від пожеж рослинності на початку вересня 2015 року, виявили у різні дні аерозольні частинки від поверхні і до 4–5 км (Бовчалуок та ін., 2017), а аналіз даних супутникового лідара CALIOP у липні – серпні 2010 р. під час масштабних лісових пожеж на європейській частині Росії показав, що продукти пожеж у вигляді аерозолію над територією України спостерігались від поверхні до висот 6 км (Galytska, Danylevsky, Hommel & Burrows, 2018).

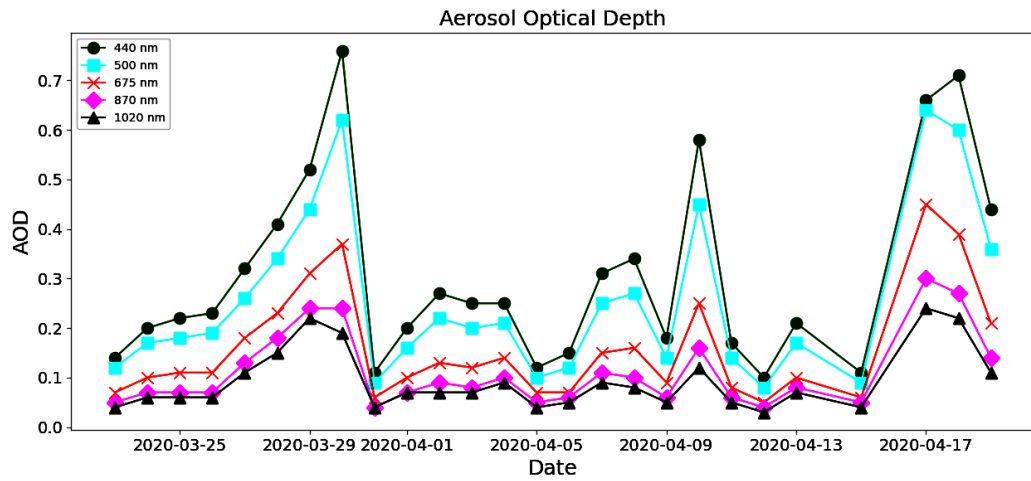
Порівняння наземних *in situ* вимірювань PM_{2.5} та дистанційних спостережень з сонячним фотометром показують, що ці дані не збігаються в деталях. Порівняння концентрацій PM_{2.5} з середньодобовими значенням АОТ (500 нм) дрібнодисперсної фракції (дані рівня 1.5), виміряним на станції AERONET Kyiv протягом червня–жовтня 2017 р. (Shelestov et al., 2019), вказують на зв'язок між АОТ та PM_{2.5}. Лінійна регресія АОТ як функції PM_{2.5} (рис. 3б) має параметри: кореляція по Пірсону (Pearson) $r = 0.57$. Тому між даними АОТ та PM_{2.5} спостерігаються деякі розбіжності (рис. 4). Так, сонячний фотометр зареєстрував 10 квітня помітне зростання АОТ відносно його звичайних значень з 1 по 15 квітня, тоді як наземні вимірювання *in situ* показали більш-менш стабільний, хоч і відносно високий рівень концентрацій PM_{2.5}. Очевидно, це пов'язано з особливостями переміщення повітряних мас на різних висотах, і підвищення АОТ цього дня могло бути спричинене надходженням аерозольних частинок від віддалених джерел вище межі граничного шару атмосфери.

Парамери аерозольних частинок під час забруднення

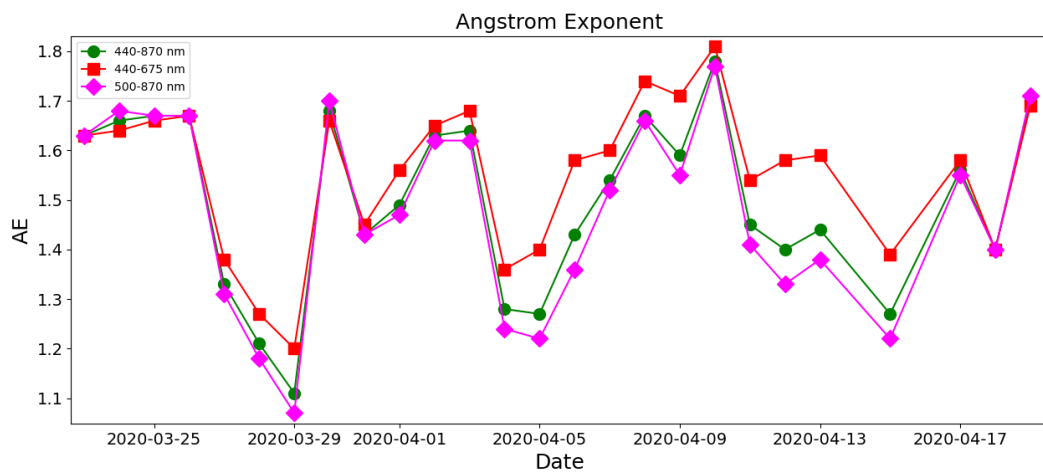
Більш детальні характеристики аерозолів під час забруднення атмосфери над Києвом та прилеглими районами можна визначити спираючись на вимірювання станції AERONET Kyiv. Варіації головного параметра аерозольного забруднення АОТ (500 нм), який пропорційний вмісту аерозолу в повітрі, обговорено в розділі 3.2. Тут розглянемо ще характеристики, які дозволяють оцінити розміри аерозольних частинок і зробити припущення щодо їх природи, а саме за параметром Ангстрема АЕ (Angstrom Exponent) та його залежністю від АОТ на різних довжинах хвиль (λ) спектрального діапазону. Параметр Ангстрема залежить від розміру частинок і визначає домінуючу фракцію аерозолу (крупнодисперсну чи дрібнодисперсну) (O'Neill, Eck, Smirnov, Holben & Thulasiraman, 2003; Giles et al., 2019). Це безрозмірна величина, що може змінюватися у діапазоні від -1 до 4 . Чим більший показник Ангстрема, тим менші за розміром частинки присутні в атмосфері, при цьому максимальне значення 4 відповідає Релеївському розсіянню світла.

На рис. 5а наведено більш детальну інформацію про зміну аерозольної оптичної товщини АОТ на декількох λ (440, 500, 675, 870 та 1020 нм) в період значного забруднення з 23 березня по 21 квітня 2020 р.

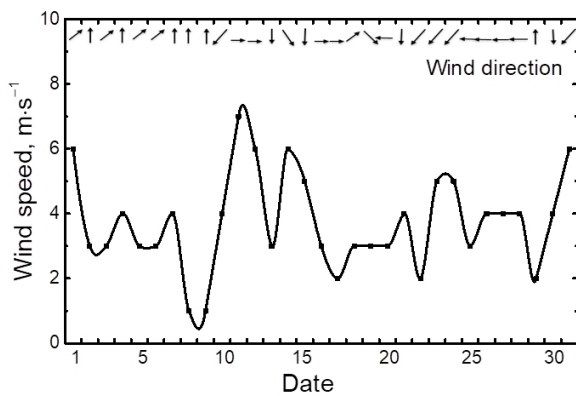
Подібно до варіацій АОТ (500) на рис. 4в, г значення АОТ (440) досягало 26 березня середніх значень 0.22 . Після 26 березня спостерігається зростання АОТ (440) з максимальним значенням 0.75 (рис. 5а) 30 березня. На початку квітня АОТ(440) тримається в середніх межах, але вже 9-го квітня зростає до 0.6 і знову, після падіння, збільшується впродовж 10–18 квітня до 0.72 . Аномалії забруднення наприкінці березня і практично впродовж квітня безумовно пов'язані з пожежами в Чорнобильській зоні, які спричинили потужний смог над Києвом (рис. 2). Підтвердженням такого висновку є супутникові дані (рис. 2) та метеодані з напрямку і швидкості вітру (рис. 5в, г) коли найбільше забруднення спостерігається при північно-західному та північному вітрі (наприклад, 14–19 квітня).



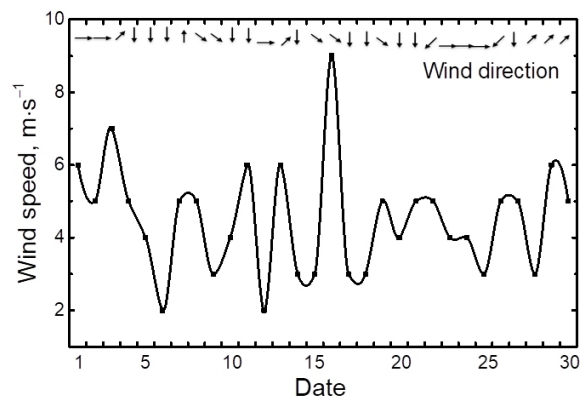
(a)



(б)



(в)



(г)

Рис. 5. (а) Аерозольна оптична товщина AOD (Aerosol Optical Depth);
 (б) показник Ангстрема AE (Angstrom Exponent), за даними станції AERONET Київ;
 швидкість та напрямок вітру над Києвом (в) в березні, (г) в квітні (дані GISMETEO).

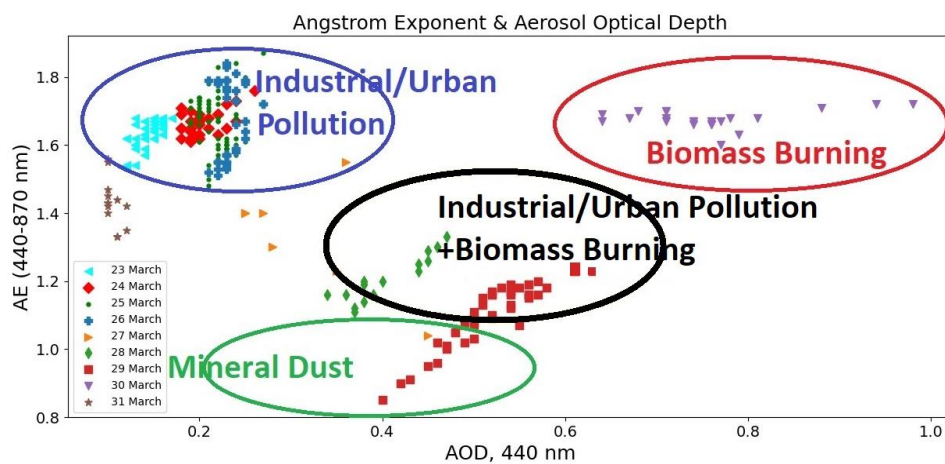
Ми також визначили варіації параметру Ангстрема АЕ під час весняного забруднення у березні–квітні 2020 р. Відомо, що аерозолі значно змінюються за розмірами (аеродинамічним діаметром). Відповідно, різні за розмірами аерозольні частинки по різному взаємодіють з сонячним випромінюванням.

Варіації параметра Ангстрема (рис. 5б) знаходяться в діапазоні 1.5–1.7 протягом 23–26 березня, що свідчить про наявність в атмосфері дрібнодисперсної фракції аерозолу, джерелом якого можуть бути пожежі, а також міський аерозоль (викиди підприємств, автомобілів).

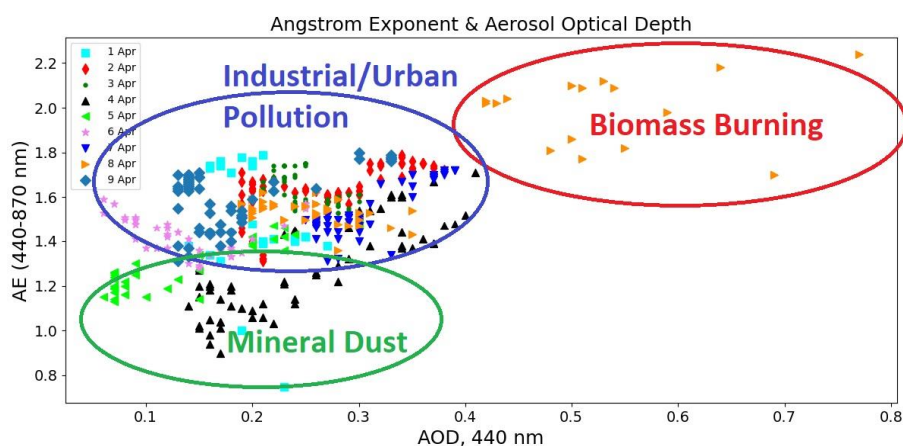
Після 26 березня показник Ангстрема зменшується, що свідчить про збільшення розміру частинок внаслідок атмосферних процесів (наприклад седиментація, коагуляція, зміна напрямку вітру). При цьому спостерігаються значення, характерні для індустріального (міське забруднення) аерозолу. Значення АЕ знову збільшуються 30 березня синхронно із збільшенням АОТ (рис. 4в, г і рис. 5б). Аналогічні збільшення показника Ангстрема спостерігаються протягом 7–9 та 17–18 квітня (рис. 5б). Ці збільшення також без сумніву пов'язані з перенесенням дрібних частинок (продуктів горіння) з атмосферними масами з пожеж в Чорнобильській зоні до Києва.

Взаємозв'язок параметра Ангстрема та аерозольної оптичної товщини АОТ шляхом так званих побудови кластерних діаграм дозволяє зробити припущення щодо природи аерозольних частинок згідно з класифікацією їх за типами (Russel et al. 2010). На рис. 6 показана кластерна діаграма, яка відтворює області аерозольних частинок в залежності від співвідношення між АЕ, який визначається за АОТ на довжинах хвиль 440 і 870 нм, та АОТ(440) для періоду з кінця березня до початку квітня 2020 року.

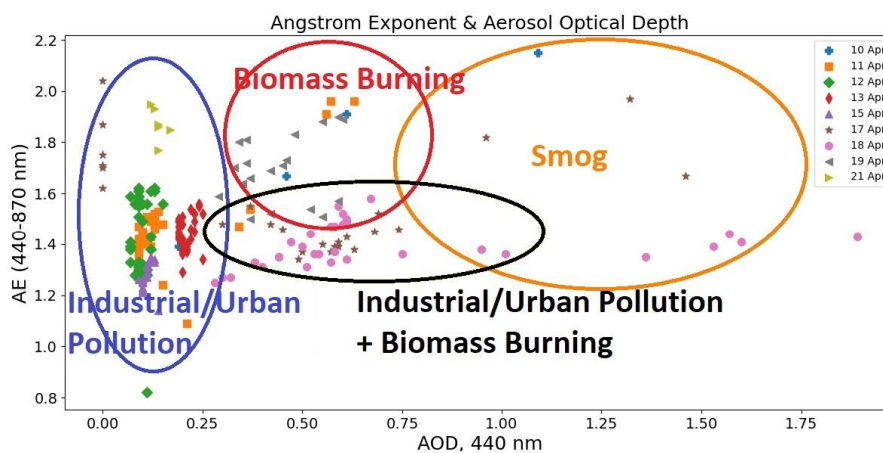
В період 23–26 березня показник Ангстрема знаходився в межах 1.4–1.5, а АОТ(440) не перевищувала значення 0.3 (рис. 6а). Така комбінація є типовою для аерозольного забруднення над Києвом і відповідає міському забрудненню, тобто пилу та різних викидів транспорту та виробництв.



(a)



(б)



(B)

Рис. 6. Залежність параметра Ангстрема для спектральних довжин хвиль 440–870 нм від аерозольної оптичної товщини (440 нм) (кластерні діаграми) та класифікація аерозольних частинок за типами згідно (Russel et al. 2010) для березня–квітня 2020 року у стовпі атмосфери над Києвом.

З 28 березня показник Ангстрема починає зменшуватися, що свідчить про наявність крупнодисперсної складової (рис. 6а) при цьому АОТ зростає, а вже 30 березня середнє значення АОТ(440) сягає 0.8 з показниками параметра Ангстрема 1.7 (рис. 6б). Такий набір параметрів свідчить про наявність в атмосфері частинок горіння біомаси. Отже напередодні, крупнодисперсну фракцію складає мінеральний пил зі згаріщ, перенесений повітряними масами. Аналогічна ситуація спостерігається для 1–9 квітня з максимумом АОТ та показника Ангстрема 8 квітня. Протягом 10–21 квітня (рис. 6в) значення АОТ та показника Ангстрема були достатньо великими для Києва, більше 0.25 та 1.8 відповідно. В період 17–18 квітня значення АОТ(440) сягали 1.5, що свідчить про екстремальну кількість аерозольного забруднення у повітрі.

Висновки

В статті представлено перші результати створеної авторами місцевої мережі приладів AirVisual з моніторингу якості приземного повітря в м. Київ за даними PM_{2.5}, яка складається з п'яти станцій, розміщених у різних районах міста. Станції визначають параметри стану якості повітря за AQI: концентрацію зважених частинок PM_{2.5}, температуру повітря, концентрацію вуглекислого газу CO₂ в даний момент часу.

Виконано порівняння результатів вимірювань концентрацій PM_{2.5} станціями AirVisual з вимірюваннями концентрацій PM_{2.5} сертифікованим за стандартами ЄС датчиком APDA-371 HORIBA, а також з даними про оптичну товщину й характеристики аерозолів у стовпі атмосфери над Києвом за спостереженнями з сонячним фотометром станції AERONET Kyiv. Порівняння дозволило визначити достовірність та оцінити точність отриманих результатів PM_{2.5}. Дані станцій AirVisual добре узгоджуються з часовими змінами значень PM_{2.5} на станції Porudrenka (рис. 4а, б). За вимірюваннями також помітна просторова відмінність між станціями AirVisual. Якщо у березні найбільші значення PM_{2.5} відзначались на станції Nauky Avenue та Artema Street, то в

квітні найбільші (екстремальні) рівні забруднення спостерігались на станції Trostyanetska. Найменші значення PM_{2.5}, як можна було очікувати, спостерігались на станції Golosiiiv, яка розміщена в лісопарковій зоні на околиці Києва. Хоча часові варіації забруднення на цій станції також повторюють часові зміни PM_{2.5} на інших станціях.

В статті детально розглянуто результати вимірювань станцій мережі AirVisual, станції APDA-371 HORIBA Popudrenka та станції AERONET Kyiv, забруднення повітря аерозольними частинками у місті Києві протягом періоду березень–квітень 2020 року під час лісових пожеж на великих площах у північній частині Київської області.

Також розглянуто властивості аерозольних частинок під час забруднення за вимірюваннями станції AERONET Kyiv. Ці дані дозволили оцінити варіації розмірів аерозольних частинок і зробити припущення щодо їх природи за параметром Ангстрема AE та його залежністю від АОТ на різних довжинах хвиль. Побудовані кластерні діаграми дозволяють визначити присутність в атмосфері продуктів горіння біомаси, а також мінерального пилу внаслідок пожеж та переносу атмосферних мас.

В перспективі авторами заплановано розвиток мережі станцій AirVisual для отримання більш детальної інформації в інших районах міста Києва і оперативного інформування мешканців Києва про стан забруднення повітря. Також заплановано проводити оцінку ризиків впливу аерозольного забруднення на здоров'я мешканців Києва на основі вимірювань в мережі AirVisual та інших існуючих засобів.

Подяки

Цю роботу частково підтримали Коледж фізики Міжнародного центру майбутньої науки Університету Цзілінь, Китай; Київський національний університет імені Тараса Шевченка, проекти 19БФ051-08, 20БФ051-02 і 19БФ023-03. Ми вдячні NASA Worldview (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>)

за можливість використання зображень; команді AERONET (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>); розробникам Zoom Earth Service (<https://zoom.earth/service>); та команді AirVisual (<https://airvisual.com/world>). Автори також вдячні підтримці проекту НАТО №G5500 та проекту SMURBS/ERA-PLANET/GEO Essential, який виконується за програмою Європейської комісії Горизонт 2020.

Список літератури

- Бовчалуок, В., Міліневський, Г., Данилевський, В., Голуб, Ф., Сосонкін, М., Юхимчук, Ю., & Подзвін, Т. (2017). Властивості аерозолі в атмосфері над Києвом за лідарними та фотометричними спостереженнями. *Космічна наука і технологія*, 23(6), 34-45.
- Bovchaliuk, A., Milinevsky, G., Danylevsky, V., Goloub, P., Dubovik, O., Holdak, A., ... Sosonkin, M. (2013). Variability of aerosol properties over Eastern Europe observed from ground and satellites in the period from 2003 to 2011. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 6587–6602. Retrieved from doi:10.5194/acp-13-6587-2013
- Boucher, O. (2015). *Atmospheric Aerosols. Properties and Climate Impacts*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London.
- Danylevsky V., Ivchenko V., Milinevsky G., Grytsai A., Sosonkin M., Goloub Ph., ... Dubovik, O. (2011). Aerosol layer properties over Kyiv from AERONET/PHOTONS sunphotometer measurements during 2008–2009. *International Journal of Remote Sensing*, 32(3), 657–669.
- Dubovik, O., & King, M. D. (2000). A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research*, 105, 20 673-20 696.
- Galytska E., Danylevsky, V., Hommel, R., & Burrows, J. P. Increased aerosols content in the atmosphere over Ukraine during summer 2010. (2018).

Atmospheric Measurement Techniques, 11, 2101–2118. doi:10.5194/amt-11-2101-2018

- Giles, D. M., Sinyuk, A., Sorokin, M. G., Schafer, J. S., Smirnov, A., Slutsker, I., ... Lyapustin, A. I. (2019). Advancements in the Aerosol Robotic Network (AERONET) Version 3 database – automated near-real-time quality control algorithm with improved cloud screening for Sun photometer aerosol optical depth (AOD) measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12, 169–209. doi: <https://doi.org/10.5194/amt-12-169-2019>
- Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., ... Smirnov, A. (1998). AERONET – A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. *Remote Sensing Environment*, 66, 1–16. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00031-5)
- Holben, B. N., Kim, J., Sano, I., Mukai, S., Eck, T. F., Giles, D. M., ... Xiao, Q. (2018). An overview of mesoscale aerosol processes, comparisons, and validation studies from DRAGON networks. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 655–671. doi:10.5194/acp-18-655-2018
- Milnevsky, G. & Danylevsky, V. (2018). Atmospheric Aerosol Over Ukraine Region: Current Status of Knowledge and Research Efforts. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 59-1–59-21. doi: 10.3389/fenvs.2018.00059
- Milnevsky, G., Danylevsky, V., Bovchaliuk, V., Bovchaliuk, A., Goloub, Ph., Dubovik, O., ... Sosonkin, M. (2014). Aerosol seasonal variations over urban–industrial regions in Ukraine according to AERONET and POLDER measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 7, 1459–1474.
- O'Neill, N. T., Eck, T. F., Smirnov, A., Holben, B. N., & Thulasiraman, S. (2003). Spectral discrimination of coarse and fine mode optical depth. *Journal of Geophysical Research*, 108(D17), 4559–4573. doi:10.1029/2002JD002975
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

- Shelestov, A., Kolotii, A., Borisova, T., Turos, O., Milinevsky, G., Gomilko, I., ... V. Choliy. Essential variables for air quality estimation. (2019). *International Journal of Digital Earth*, Retrieved from <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1620881>
- Sinyuk A., Holben, B. N., Eck, T. F., Giles, D. M., Slutsker, I., Korin, S., ... Lyapustin, A. (2020). The AERONET Version 3 aerosol retrieval algorithm, associated uncertainties and comparisons to Version 2. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13, 3375–3411. doi.org/10.5194/amt-13-3375-2020
- Turos, O., Maremukha, T., Petrosian, A., Mykhina, L., & Morhulova, V. (2019). Integral indicators as tools for air quality assessment. *Environment & Health*, 1(90), 51–55. Retrieved from <https://doi.org/10.32402/dovkil2019.01.051>

МАЛОГАБАРИТНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ МОНІТОРИНГУ АЕРОЗОЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

Кислий В.П., Інститут фізики напівпровідників імені Лашкарьова НАН України, к.ф.-м.н., с.н.с., Київ, Україна

Ліптуга А.І., Інститут фізики напівпровідників імені Лашкарьова НАН України, к.ф.-м.н., с.н.с., зав. лаб., Київ, Україна

Міліневський Г.П., Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Відділ оптики атмосфери та приладобудування, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, д.ф.-м.н., с.н.с., гол.н.с., Київ, Україна

Симон А.О., Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, інж., Київ, Україна

Чолій В.Я., Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, к.ф.-м.н., доцент, доцент, Київ, Україна

Серьожкін Ю.Г., Інститут фізики напівпровідників імені Лашкарьова НАН України, н. с., Київ, Україна

Abstract

Atmospheric aerosol is an important constituent of the atmosphere that influencing on various processes and phenomena. To a large extent aerosol forms the climate, significantly affect the thermal regime of the atmosphere and the Earth's surface. They also can cause damage to human health: aerosols contribute to respiratory infections such as coronavirus, heart disease, lung disease, diabetes and dementia. Therefore, monitoring of aerosol pollution is an important task, both for forecasting climatic events and for human health. However, insufficient attention is paid to this issue in Ukraine. There are very few aerosol pollution control stations in Ukraine. We offer a cheap, small and light mobile device for monitoring of particulate matter particles (PM), which can be easily installed on a car, unmanned

aerial vehicle or at a stationary observation point. The developed device also makes it possible to monitor aerosol contamination in real time when connected to the Internet.

Вступ

В останні десятиліття широко вивчався вплив дрібнодисперсних аерозольних частинок (PM) на здоров'я людини. Результати полягають у тому, що дрібний пил може бути серйозною небезпекою для здоров'я, що сприяє або навіть викликає респіраторні та серцево-судинні захворювання. Джерела PM є як природні, так і ті, що утворюються від діяльності людини. Тому забруднення повітря відрізняється в різних місцях. В Україні питанню контролю аерозольних частинок надається відносно мало уваги. Існує недостатньо стаціонарних станцій контролю PM для достовірних оцінок якості повітря.

Завданням цієї роботи була розробка та апробація малогабаритного, легкого, низьковартісного приладу, який міг би використовуватися, як стаціонарно, так і у мобільних умовах на рухомій платформі. Застосування такого приладу на автомобілі надасть уявлення про забруднення аерозолями наших автошляхів, а його застосування на безпілотному літальному апараті допоможе визначити розподіл PM в атмосферних шарах, що актуально для прогнозування погоди та змін клімату.

Принцип роботи оптичного сенсора PM

Основою малогабаритного приладу для моніторингу аерозольного забруднення повітря служить недорогий оптичний датчик pms5003, який дозволяє вимірювати концентрацію аерозольних частинок пилу різного розміру PM1, PM2.5 та PM10 (частинки з аеродинамічним діаметром до 1, 2.5 та до 10 мкм, відповідно) з роздільною здатністю 1 мкг м^{-3} у межах $0\text{--}1000 \text{ мкг м}^{-3}$. Робота цього датчика базується на теорії Мі, яка є рішенням рівнянь Максвелла у випадку розсіювання плоскої електромагнітної хвилі на однорідних

сферичних частинках. Схема роботи цього оптичного датчика представлена на рис. 1.

Лазерне світло розсіюється на частинках у повітрі, створюючи певний вплив на фотодетектор датчика. Електричний сигнал від фотодетектора посилюється і обробляється мікропроцесором, який у процесі обробки сигналу використовує теорію Мі (Hergert & Wriedt, 2012), що дозволяє обчислити концентрацію частинок (аерозолі) різного розміру. Таким чином для того, щоб за допомогою такого датчика отримати найбільш достовірні результати, необхідно щоб частинки аерозолі відповідали таким умовам: всі частинки аерозолі сферичні, оптично однорідні та ізотропні і на частинках не існує ні поверхневого заряду, ні поверхневого струму. Зазвичай ці умови здебільшого виконуються.

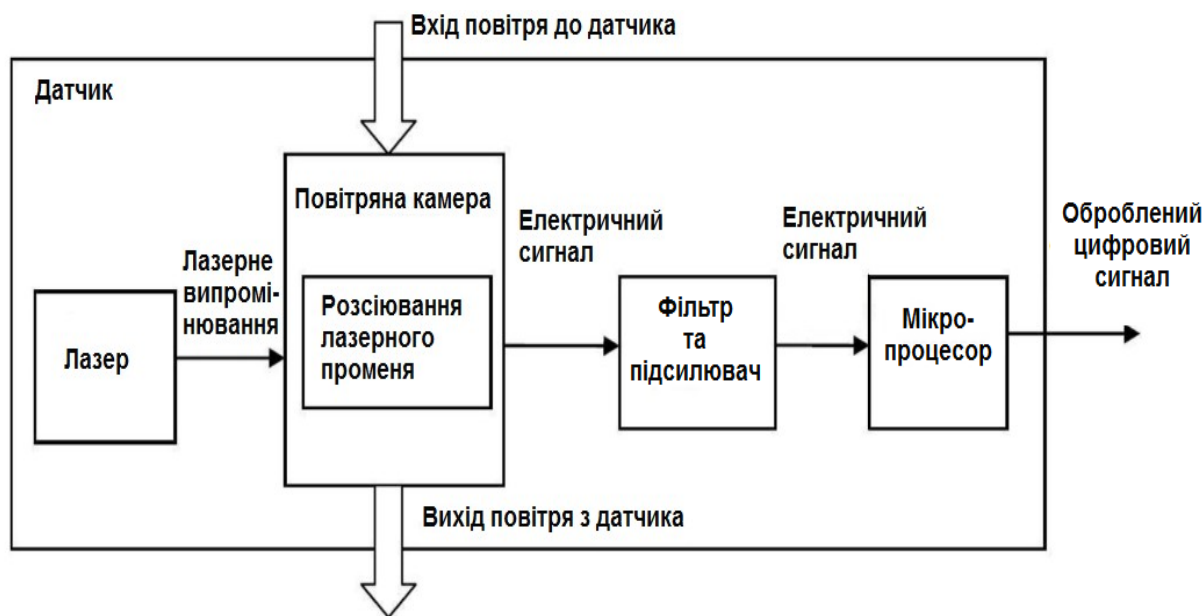


Рис. 1. Функціональна блок-схема оптичного сенсора РМ

Схема, вигляд приладу та його характеристики

Було випробувано декілька варіантів приладу реєстрації концентрації аерозолі. Найзручнішим виявився варіант, блок-схема якого представлена на рис. 2.

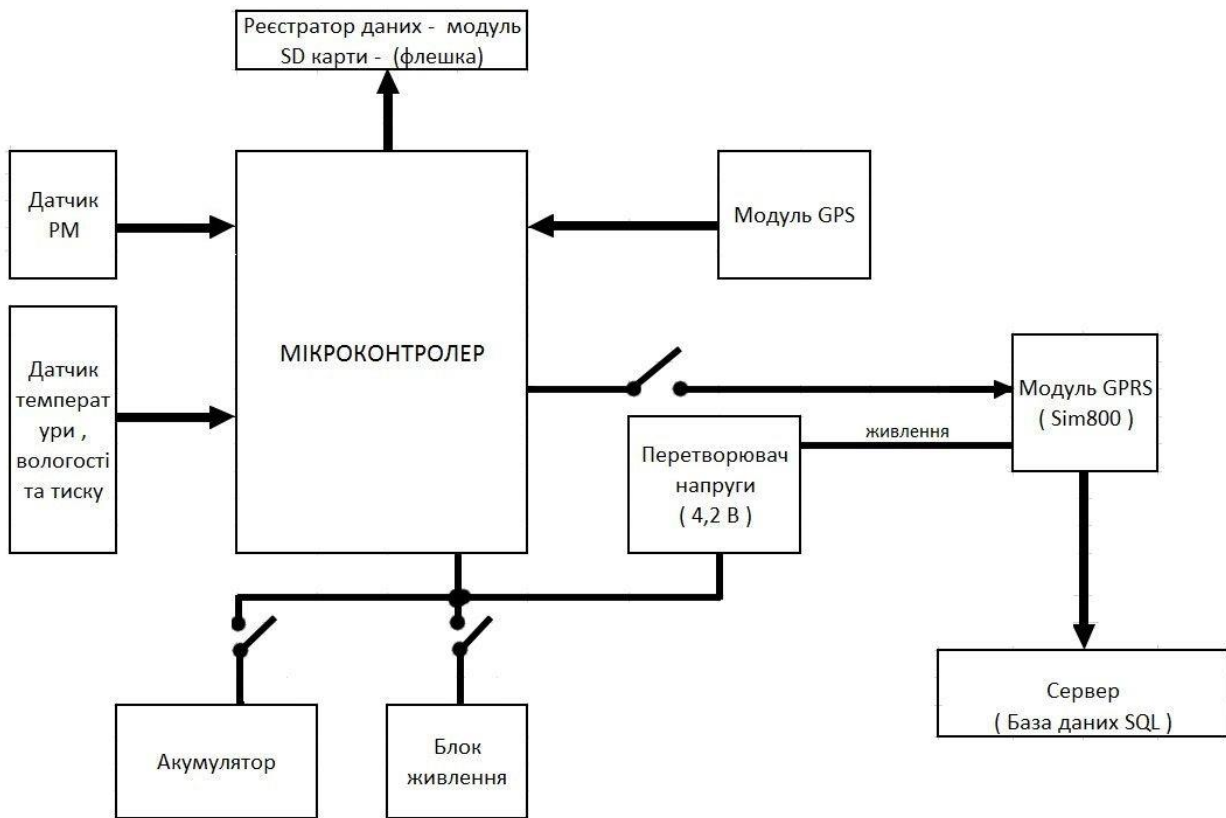


Рис. 2. Блок-схема запропонованого приладу реєстрації концентрації аерозолі

Живлення приладу у мобільному варіанті забезпечує літєвий акумулятор. При його стаціонарному розміщенні прилад живиться від мережевого блока живлення або безпосередньо від USB з'єднання з комп'ютером. Всі дані від датчиків аерозолі (PM), температури, вологості, тиску, навігаційного модуля GPS обробляються мікроконтролером і записуються на SD-карту. При необхідності отримання даних в реальному часі підключення модуля GPRS дозволяє передавати їх на віддалений сервер. Модуль GPS забезпечує відстеження таких даних: координати, дата та час вимірювань, а також висота над рівнем моря, швидкість руху, якщо прилад розташований на рухомій платформі (за вікном автомобіля або на даху автомобіля, чи на квадрокоптері). Електронна частина приладу разом з датчиком аерозолі була розміщена в поліпропіленовому корпусі, розміром 100x60x30 мм (див. рис. 3. та рис. 4).



Рис. 3. Загальний вигляд приладу реєстрації концентрації аерозолі РМ з зовнішнім акумулятором.

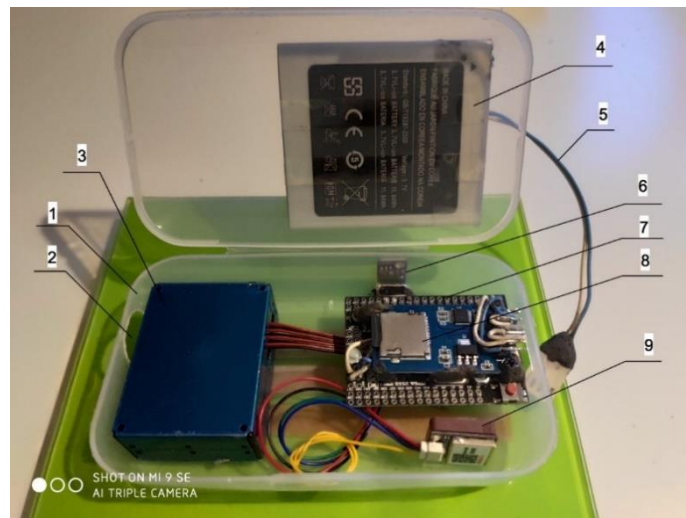


Рис. 4. Прилад реєстрації концентрації РМ аерозолі. Розташування модулів та датчиків: 1 – корпус, 2 – отвір для доступу повітря, що досліджується, 3 – датчик концентрації РМ, 4 – зовнішній акумулятор, 5 – кабель живлення, 6 – плата датчиків температури, вологості та тиску (знаходиться назовні корпусу), 7 – плата мікроконтролера, 8 – модуль SD-карти, 9 – модуль GPS.

Отвори в корпусі надають доступ повітря, що досліджується, до датчика концентрації аерозолі. Датчики температури, вологості та тиску розташовані зовні корпусу приладу, що дає змогу безпосередньо досліджувати навколишнє повітря і звільнитися від впливу розігріву електронних компонентів на показники цих датчиків. За потреби на вільному місці в корпусі розміщується GPRS модуль. Зовнішнє розміщення акумулятора живлення дозволяє його легко змінювати і використовувати за потреби легкий акумулятор але малої ємності або великої ємності з більш великою вагою.

Відносно мала вага пристрою, приблизно 0.1 кг без акумулятора, дозволяє розташовувати його на мініатюрному дроні і досліджувати вертикальний розподіл аерозольних частинок.

Основні характеристики розробленого нами приладу такі:

- Мінімальний діаметр частинок: 0.3 мкм
- Вимірювання концентрацій PM1, PM2.5 та PM10
- Діапазон вимірювання концентрації PM: 0–1000 мкг м⁻³
- Роздільна здатність: 1 мкг м⁻³
- Максимальна похибка: ± 10%
- Час одного вимірювання: <1 с, задається програмно
- Діапазон робочих температур: від –10°C до +60°C.
- Діапазон робочої вологості: 0–99%
- Живлення: акумулятор, USB або інше джерело +5V

Було проведено порівняння розробленого приладу і малогабаритного приладу SDL607. Для цього обидва прилади на 24 години були розміщені поряд в однакових умовах. На рис. 5 приведені значення вимірювань, які були зроблені нашим приладом, у відповідності до значень, отриманих приладом SDL607 у той же самий час. Як видно це лінійна регресія, нахил якої до осі абсцис трохи більше 45°, що підтверджує збіг вимірювань PM2.5 обох приладів. Проведені розробленим приладом вимірювання на стаціонарному пункті спостережень в квітні та травні 2020 року показали відповідність даних результатам стандартних станцій AirVisual, які ми використовуємо в різних районах Києва.

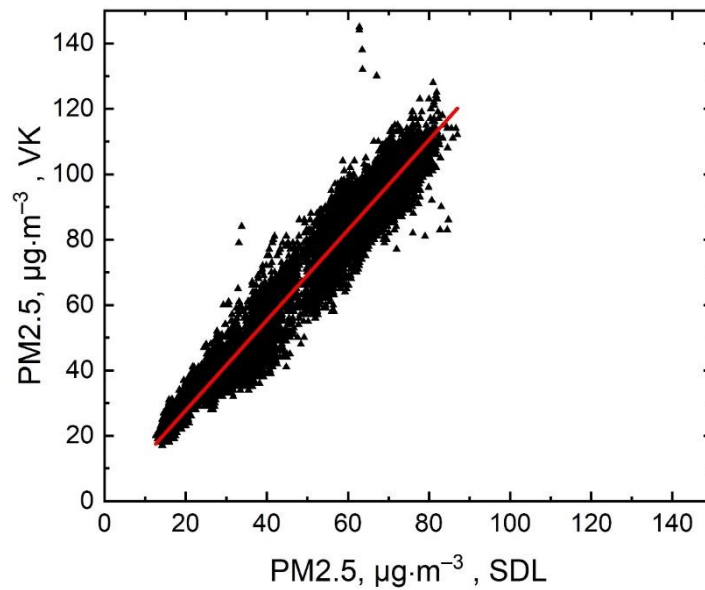


Рис. 5. Порівняльна характеристика вимірювань розробленого приладу та стандартного монітору якості повітря SDL607.

Для дослідження аерозольного забруднення на дорогах Києва прилад закріплювався за допомогою двостороннього скочу на даху автомобіля, а для його живлення використовувалася мережа автомобіля (рис. 6). Розміщувати прилад на рухомій платформі, наприклад автомобілі, треба таким чином, щоб зустрічний потік повітря не був направлений на вхідні або вихідні отвори датчика rps5003 інакше буде отримано значну похибку у вимірюваннях.



(а)



(б)

Рис. 6. (а) Розташування приладу на даху автомобіля, (б) кріплення приладу

Дослідження концентрації РМ на дорогах Києва

Протягом 2020 року нами були проведені дослідження забруднення приземної атмосфери аерозолем на дорогах Києва. На рис. 7 приведені результати таких вимірювань 19 червня 2020 року на центральних вулицях міста в залежності від часу (рис. 7а) та карта руху автомобіля з датчиком (рис. 7б).

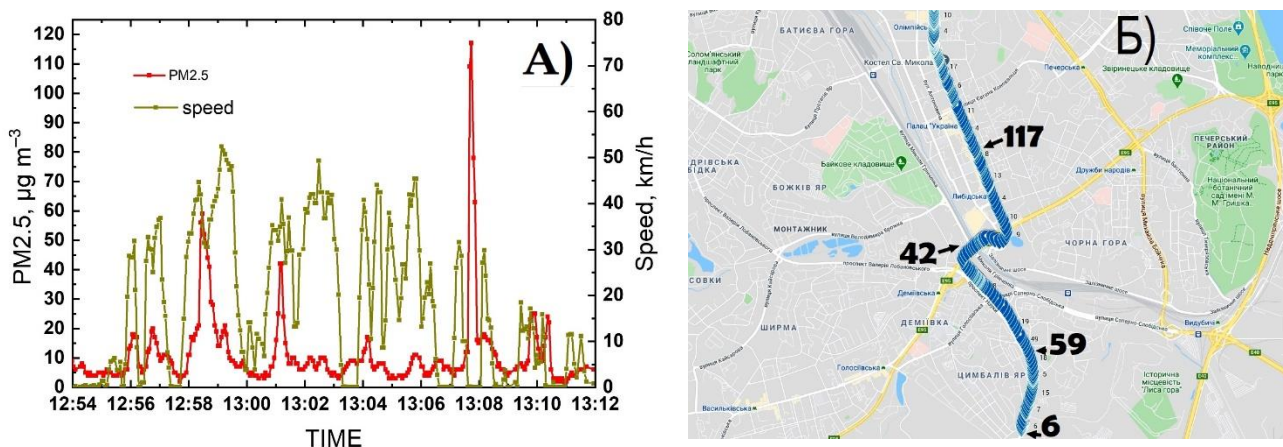


Рис. 7. (а) Залежність концентрації аерозолю PM2.5 і швидкості руху автомобіля від часу; (б) карта руху автомобіля, цифрами вказані пікові значення концентрації PM2.5 для відрізка дороги. Вимірювання виконано 19 червня 2020 року

Графік залежності швидкості автомобіля показує місця де автомобіль рухався, стояв на світлофорі чи у заторі. Відзначимо, що початок руху (рис. 7б) знаходиться біля нашої стаціонарної станції AirVisual вимірювання концентрації аерозолю Nauky Avenue і початкові значення PM2.5 нашого приладу і станції Nauky Avenue добре збігаються: 6 мкг м^{-3} та 6.8 мкг м^{-3} , відповідно. На дорогах концентрація PM2.5 зростає. Порівнюючи рис. 7а та рис. 7б відзначимо, що на завантажених перехрестях концентрація PM2.5 може суттєво зростати: на перехресті проспекту Науки та Стратегічного шосе PM2.5 дорівнює 59 мкг м^{-3} , на перехресті проспекту Науки та бульвару Дружби Народів PM2.5 дорівнює 42 мкг м^{-3} , у заторі на Великій Васильківській PM2.5 дорівнює 117 мкг м^{-3} . У різний час ми зафіксували перевищення допустимого рівня концентрації PM2.5 в декілька разів. Найбільше зафіксоване нами

значення $PM_{2.5}$ було 16 вересня 2020 року на повороті з Кільцевої дороги на селище Вишневе де концентрація $PM_{2.5}$ дорівнювала 1700 мкг м^{-3} .

Розглянемо рух автомобіля поза години пік по одному з основних проспектів Києва – проспекту Перемоги (рис. 8).

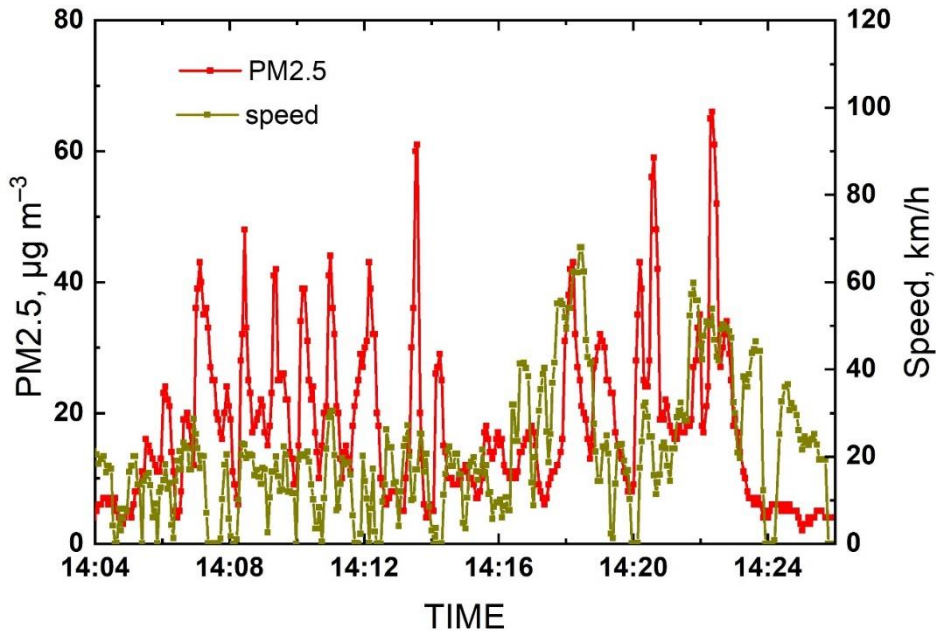


Рис. 8. Вимірювання $PM_{2.5}$ під час руху проспектом Перемоги поза години пік (14:04–14:23) та з'їду на вул. Чорнобильська (14:24–14:26).

Із-за великої кількості автомобілів рух відбувається із частими зупинками. Під час зупинки автомобілі продукують велику кількість викидів аерозолі. Значення концентрації $PM_{2.5}$ значно змінюються, досягаючи до 60 мкг м^{-3} . При з'їзді на незавантажену транспортом вулицю Чорнобильська концентрація $PM_{2.5}$ зменшилася до 5 мкг м^{-3} .

Було важливо порівняти значення концентрації аерозолів безпосередньо на дорозі та в салоні автомобіля. Два однакові прилади розмістили на даху та в салоні автомобіля і провели вимірювання вздовж Кільцевої дороги та проспекту Глушкова. В салоні автомобіля концентрація $PM_{2.5}$ досягає значно менших значень і наростає не так різко, як зовні автомобіля, але і спадає повільніше. Забрудненість аерозолями в час вимірювань (9:32–9:40, рис. 9) виявилася більшою ніж на Кільцевій дорозі.

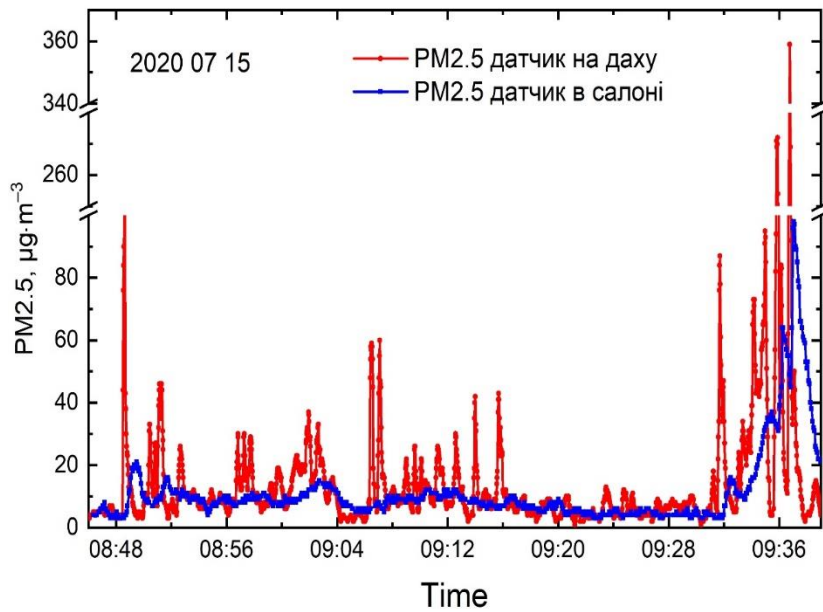


Рис. 9. Порівняння вимірювань концентрації PM2.5 приладами, розміщеними в салоні та на даху автомобіля. Вимірювання 15 липня 2020 року на Кільцевій дорозі та проспекті Глушкова.

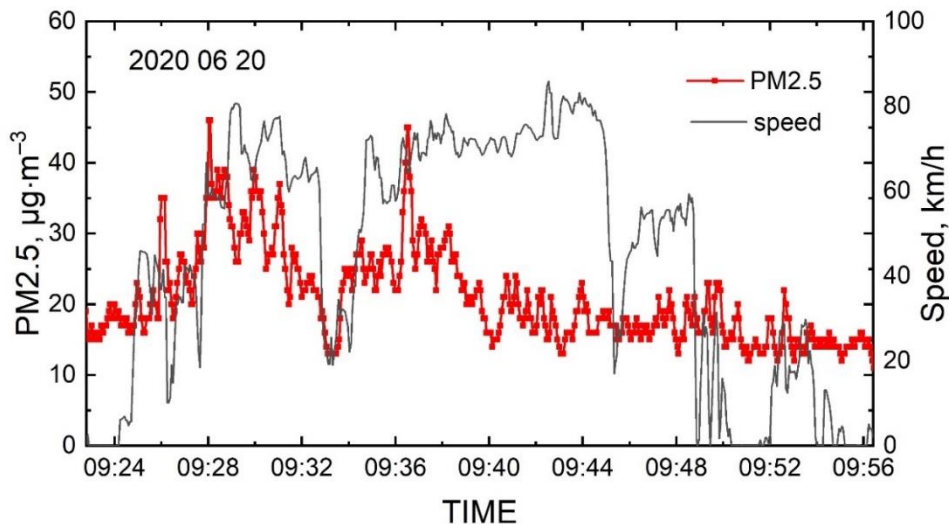


Рис. 10. Вимірювання концентрації PM2.5 по Житомирській трасі біля Києва (час 9:25–9:48) та лісовій дорозі (час 9:48–9:56), зроблені 20 червня 2020 року.

Дослідження проведені нами поза межами міста Київ показали нижчий рівень концентрації аерозолів ніж на дорогах Києва (рис. 10). Сплески концентрації можна було спостерігати при проїзді через села або під час зустрічі з вантажівкою, трактором. На Житомирській трасі спостерігалися ділянки підвищеної концентрації PM2.5 до 40 мкг м^{-3} , а на лісовій дорозі значення PM2.5 дорівнювало 15 мкг м^{-3} .

Розглянемо хід концентрації PM2.5 при проїзді трактора на відстані 1.5 м від нерухомого приладу (рис. 11). У цьому випадку концентрація PM2.5 стрімко зростає і після проїзду трактора майже так само стрімко спадає. При щільному русі аерозольні викиди автомобілів не встигають розсіюватися і спостерігається підвищений рівень концентрації аерозольних частинок РМ на дорозі у порівнянні з місцями без автомобільного руху, наприклад, сквером.

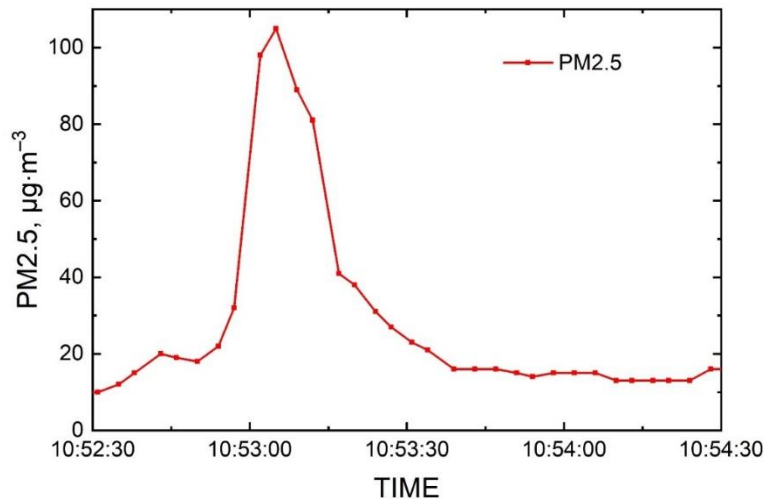


Рис. 11. Вимірювання концентрації PM2.5 при проїзді трактора на відстані 1.5 м від нерухомого приладу

Дослідження концентрації РМ на дорогах Львова

Окрім досліджень в місті Києві, що проводилися протягом 2020 року, нами були проведені вимірювання РМ у Львові. Вимірювання концентрації РМ були розпочаті у Брюховичах, проходили проспектом Чорновола, який можна вважати за частину Кільцевої дороги, і закінчилися у центрі Львова на вулиці Герцена (рис. 12). Інтенсивність автомобільного руху була звичайною. Як можна бачити на рис. 13 піки концентрації аерозольних частинок PM2.5 виникають, в основному, на початку руху автомобіля після зупинок на світлофорах та у заторах. У місті Брюховичі значення PM2.5 складало 1–4 мкг м^{-3} , як і повинно бути в курортній зоні. Мінімальні значення PM2.5 у Львові були трохи вищі за 4 мкг м^{-3} . Піки концентрації аерозольних частинок у Києві значно вищі ніж у Львові, а загальний характер поведінки РМ збігається.

Тож можемо відзначити, що аерозольне забруднення від автомобілів у Києві суттєво вище ніж у Львові.

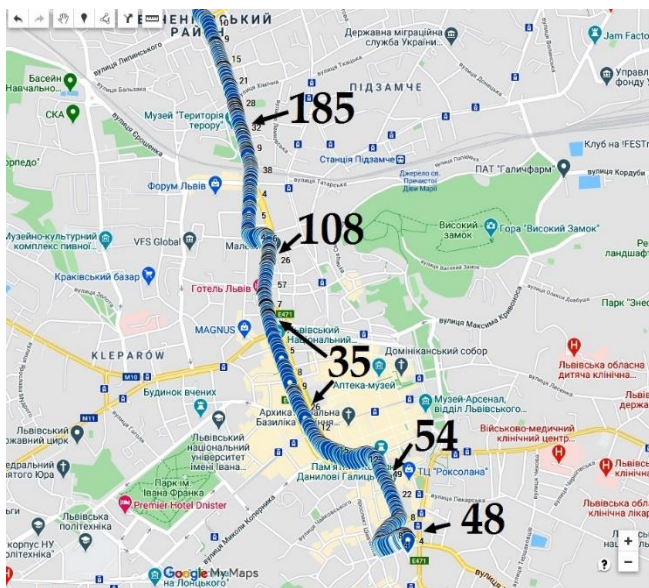


Рис. 12. Траекторія руху містом Львів автомобіля з приладом вимірювання РМ

Великими цифрами вказані пікові значення концентрації РМ_{2.5} для ділянки шляху.

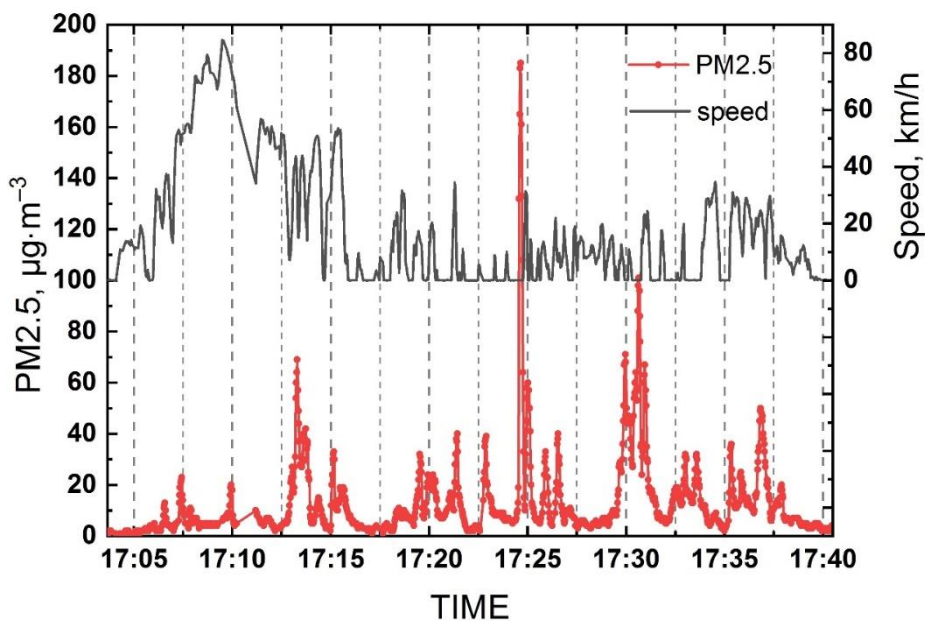


Рис. 13. Концентрація РМ_{2.5} на під'їзді до Львова зі сторони Брюховичів – відрізок часу 17:05–17:16 та на вулицях Львова – відрізок часу 17:16–17:41. Вісь абсцис для графіка швидкості руху автомобіля зміщена вгору.

Вимірювання висотних профілів з квадрокоптером

Вимірювання висотних профілів вмісту аерозолів за допомогою розробленого приладу вимірювання концентрації РМ та квадрокоптера дозволяють оцінити розподіл аерозолу за висотою та висоту так званого атмосферного граничного шару (boundary layer). В ясний сонячний день висота граничного шару над містом може сягати 1–2 км і більше (Yu, Liu & Dickinson, 2002). Нічне охолодження поверхні шляхом теплового інфрачервоного випромінювання стабілізує приземне повітря, утворюючи нічну інверсію глибиною близько 100 м із залишковим шаром над ним. Таким чином, граничний шар завдяки контролю над поверхневими потоками є головним елементом поверхневої кліматології, включаючи циклічність водяної пари, аерозолу та забруднюючих газів. Наявність аерозолів в граничному шарі здатна змінювати потоки випромінювання шляхом розсіювання та поглинання сонячного випромінювання та, меншою мірою, шляхом поглинання та випромінювання в інфрачервоному діапазоні (Coakley Cess & Yurevich, 1983; Charlson et al., 1992; Penner, Dickinson & O'Neill, 1992).

З метою визначення розподілу аерозолу з висотою та для оцінки висоти граничного шару нами було створено вимірювальний комплекс, що складався з квадрокоптера DJI Mavic Pro та приладу вимірювання РМ, який розроблений і обговорюється в цій статті.

Відповідно до сучасного законодавства України, всі польоти на висоті більше 120 метрів над рівнем поверхні землі мають бути узгоджені з організацією УкрАероРух (<https://avia.gov.ua/>). Стандартна процедура передбачає реєстрацію пілота (особи, що керує безпілотним судном) та подачу заявки на резервування повітряного простору з визначенням об'єму простору та часу його використання. Заявки подаються за 10 діб до дати польотів.

Перш ніж переходити до вимірювань РМ з квадрокоптером було виконано ряд тестових польотів, під час яких вивчалася робота всіх датчиків приладу та їх відгук на швидку зміну висоти (квадрокоптер здатен розвинути

швидкість підйому та спуску до 5 м с^{-1}). В результаті були отримані графіки порівняння значень висоти (рис. 14), що визначалися з датчика GPS та з барометра, які працювали одночасно. На графіках прослідковується лінійна залежність між цими двома показниками та наявність зсуву нуля-пункту.

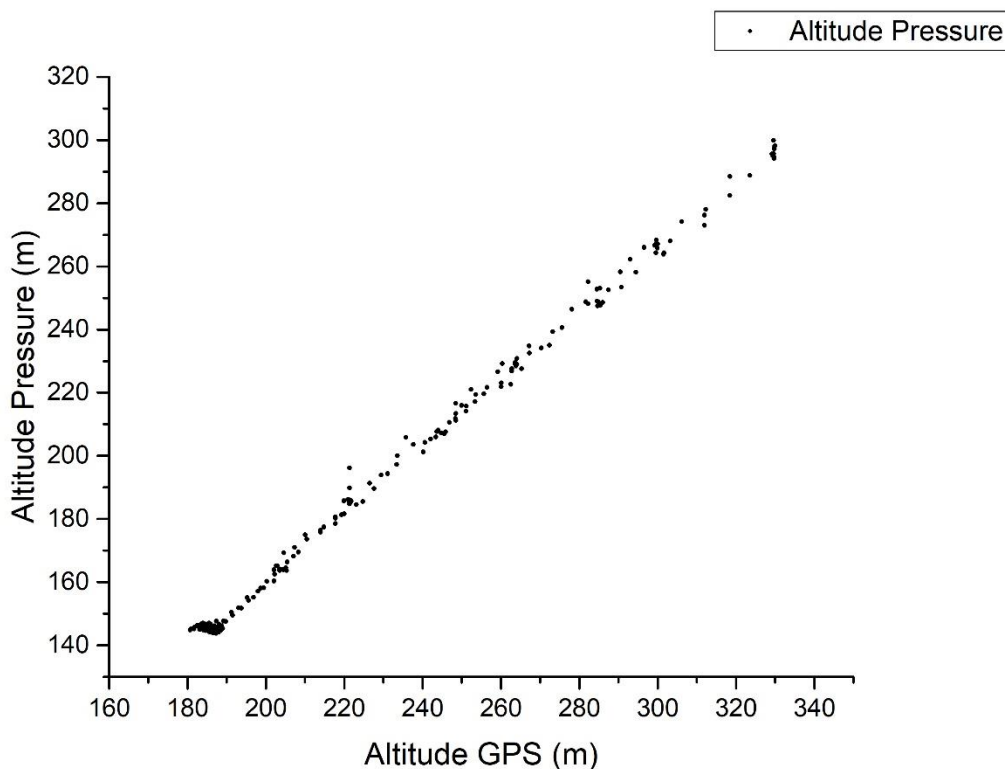


Рис. 14. Залежність висот квадрокоптера, визначених за допомогою датчика GPS та барометра.

За звичайних умов вдень нам не вдалося отримати дані про достовірні зміни вмісту аерозолів з висотою, оскільки відчутні зміни концентрації аерозолію мають відбуватись достатньо високо і найчастіше є недосяжними для даного квадрокоптера (в зв'язку з програмним обмеженнями по висоті в 500 м). Проте в умовах низької хмарності та наявності поблизу джерела аерозолів були отримані залежності PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ та PM_{1} від висоти. Вимірювання проводилися після заходу Сонця, що теж сприяло отриманню якісного результату (рис. 15).

Під час вимірювань спостерігалось збільшення концентрації аерозольних частинок PM_{10} з висотою до 150 метрів над поверхнею, після чого вміст

аерозолів різко зменшувався і при подальшому збільшенні висоти залишався сталим. За цими даними можна оцінити висоту граничного шару у 150–170 м над поверхнею (350–370 м над рівнем моря, рис. 15).

До висоти 120 метрів підйом відбувався з кроком 20 метрів, після набору яких квадрокоптер лишався на набраній висоті впродовж 30–60 секунд для проведення вимірювання концентрації аерозольних частинок РМ. Вище 120 м зупинки квадрокоптера здійснювались на висотах 150, 200 та 300 м.

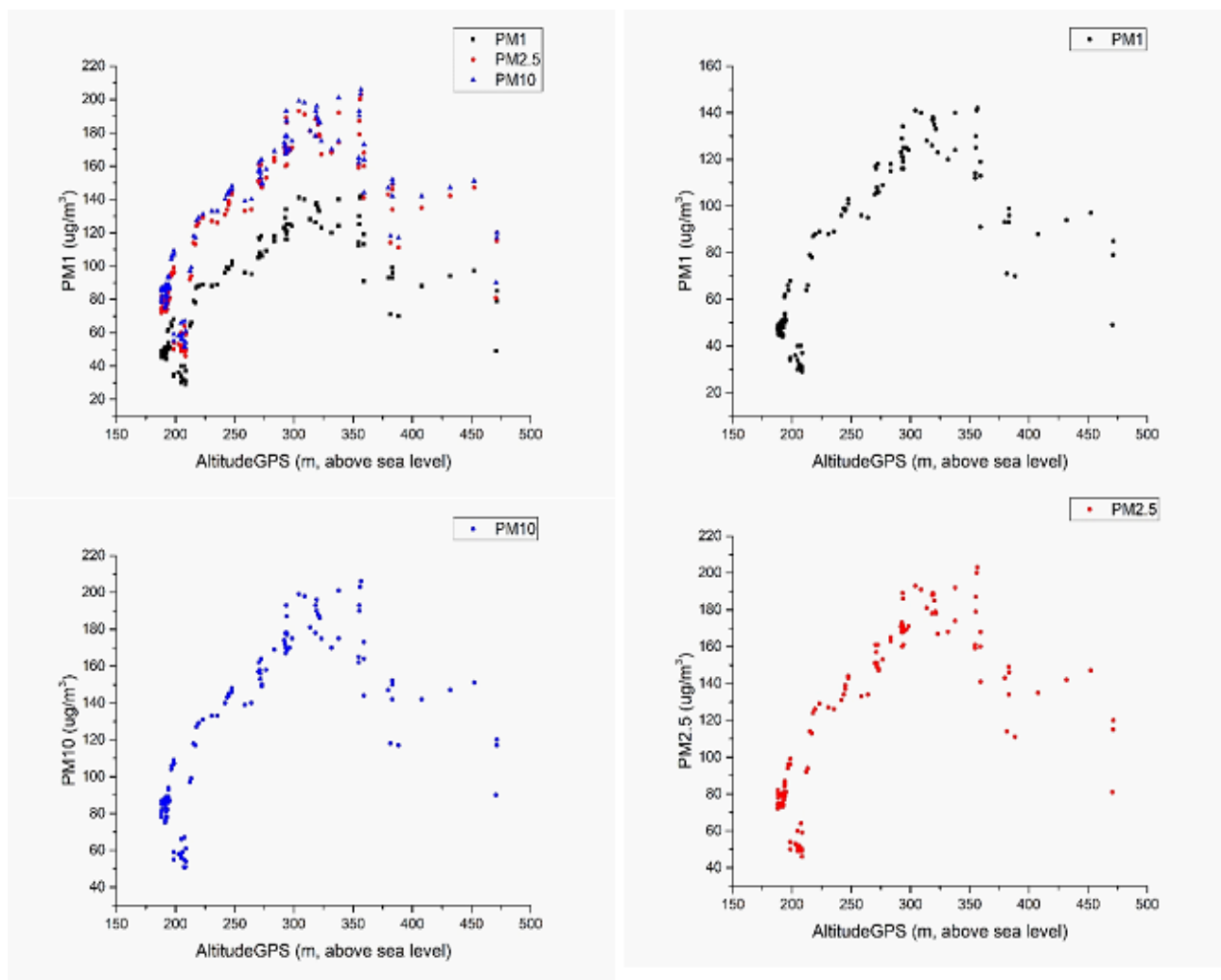


Рис. 15. Залежність концентрацій РМ1, РМ2.5, РМ10 від висоти над рівнем моря за вимірюваннями з розробленим приладом, встановленим на квадрокоптері.

Оскільки попередні тестові польоти приладу на квадрокоптері показали, що для більш якісного вимірювання концентрації аерозолів зміна висоти має відбуватися з невеликою швидкістю, на графіках представлені лише дані під час набору висоти. Спуск апарату відбувався зі сталою швидкістю без зупинок,

що, в першу чергу, було зумовлено обмеженнями часу польоту зі сторони батареї квадрокоптера. Також слід відзначити, що під час польоту швидкість вітру значно зросла на висоті 200–220 м. Під час тестових польотів критичне для виконання польотів зростання швидкості вітру відбувалося і на більших висотах (300–350 м, вдень за ясної погоди).

Висновки

Розроблено компактний, легкий (вага 0.1 кг) прилад для дослідження забруднення аерозольними частинками PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ на дорогах міста, який може також використовуватися безпілотними літальними апаратами для досліджень вертикального розподілу аерозолів.

Проведені дослідження цим приладом показали, що концентрація аерозолів на дорогах може в декілька разів перевищувати допустимі норми якості повітря.

На завантажених автомобілями київських дорогах і трасах концентрація PM значно вище, ніж на вулицях у середмісті. Підвищене забруднення частинками аерозолію PM на дорогах, які досліджувалися, без сумніву створюють автомобілі. Внесок вантажних автомобілів більш помітний ніж легковиків. На перехрестях із завантаженим рухом концентрація частинок PM суттєво зростає. Максимальні значення PM_{2.5} спостерігались на вулицях і трасах Києва від 110 до 1700 мкг м⁻³. Суттєвої залежності значень концентрації PM_{2.5} від швидкості руху автомобіля, на якому проводяться спостереження, не спостерігалось. Однак під час зупинок автомобіля концентрація частинок PM_{2.5} як правило збільшувалась.

Проведено випробування розробленого приладу при використанні на квадрокоптері для отримання розподілу частинок аерозолію PM з висотою та визначення висоти граничного шару над Києвом. Для умов польоту висота граничного шару була оцінена в 150–170 м над поверхнею.

В перспективі ми плануємо виготовити невелику партію малогабаритних приладів для вимірювань забруднення повітря аерозольними частинками РМ для створення мобільної мережі контролю якості повітря в місті.

Подяки

Цю роботу частково підтримав Київський національний університет імені Тараса Шевченка, проекти 19БФ051-08, 20БФ051-02. Автори також вдячні підтримці проекту НАТО №G5500 та проекту SMURBS/ERA-PLANET/GEO Essential, який виконується за програмою Європейської комісії Горизонт 2020.

Список літератури

- Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. H., Cess, R. D., Coakley Jr., J. A., Hansen, J. E., Hofmann, D. J. (1992). *Climate forcing by anthropogenic aerosols*. *Science*, 255, 423–430. doi:10.1126/science.255.5043.423.
- Coakley, Jr. J. A., Cess, R. D., Yurevich, F. B. (1983). The effect of tropospheric aerosols on the Earth's radiation budget. *A parameterization for climate models*. *J. Atmos. Sci.*, 40, 116–138, doi:10.1175/1520-0469(1983)040<0116:TEOTAO>2.0.CO;2.
- Hergert, W., & Wriedt, T. (2012). *The Mie Theory*. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-28738-1.
- Penner, J. E., Dickinson, R. E., & O'Neill, C. A. (1992). Effects of aerosol from biomass burning on the global radiation budget. *Science*, 256, 1432–1434. doi:10.1126/science.256.5062.1432.
- Yu, H., Liu, S. C., & Dickinson, R. E. (2002). Radiative effects of aerosols on the evolution of the atmospheric boundary layer. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D12), AAC-3. doi:10.1029/2001JD000754.

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ НАСЛІДКИ ВІД РУСЛОВИХ ВОДОСХОВИЩ: ВІТЧИЗНЯНИЙ ТА МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД

Безсонов Є.М., Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології,
Україна

Abstract

The results of the study are a generalized analysis of negative ecosystem changes and the reduction of economic value of ecosystem services of the river, which are caused by riverbed reservoirs. The synthesis of international and Ukrainian experience in the field of river flow regulation has allowed to outline the list of abiotic and biotic parameters of the freshwater ecosystem that degrade after the creation of water-retaining hydraulic structures in its basin. Particular attention is paid to changes in the productivity of aquatic ecosystems and their properties for self-purification, due to the leveling of seasonal dynamics of runoff (for example, the Southern Bug River). The losses suffered by the industrial complex of the region due to the lack of awareness of the river as a functionally unified system and the aggravation of the water management situation during periods of low-water runoff are estimated. The ecological danger and hopelessness of creation of reservoirs in the context of sustainable development, balanced nature management and integrity of ecosystem services flows of the river are proved.

Вступ

Прісна вода є стратегічно важливим ресурсом для розвитку будь-якої держави, одним із ключових елементів її національної безпеки. Проте, в Україні та світі проблема деградації прісноводних екосистем щорічно посилюється внаслідок зарегулювання басейнового стоку в умовах стійкого зменшення показників водності, погіршення якості водних ресурсів, збідніння видового

різноманіття гідробіонтів, зміни клімату та дії інших антропогенних чинників (Bezsonov, Mitryasova, Smyrnov & Smyrnova, 2017). Оскільки природний режим стоку річок в переважній більшості випадків характеризується сезонною динамікою та нерівномірністю, він знаходиться у різкому протиріччі з режимом його споживання більшістю галузей промисловості. З усіх можливих способів задоволення зростаючих потреб людини у воді, найбільш поширеним у наш час стало зарегулювання басейнового стоку водосховищами.

Глобальний масштаб проблеми зарегулювання річкового стоку отримав міжнародне визнання у документах відповідного рівня. Зокрема, у доповіді Генерального секретаря Організації Об'єднаних Націй E/C.142000/2 (Вопросы..., 2000) зазначено, що зміна природних гідрологічних режимів внаслідок сільськогосподарської діяльності, водозабору, перенаправлення вод, зарегулювання стоку і забруднення буде завжди викликати небажані екологічні та економічні зміни в районах, які розташовані вниз за течією або низинних місцевостях. Тому потрібно зберігати місцеві цінності, пов'язані з водотоками і водоймами, з метою не тільки охорони краси природи і біологічного різноманіття, а й для забезпечення продовження використання їх людиною в різних важливих цілях, що залежить від підтримки певного рівня води і щорічних режимів затоплення.

У протоколі про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер (Протокол по проблемам воды..., 2000) і в Організації Об'єднаних Націй (ООН) (Обзор прогресса..., 1996) визначено соціальну, економічну та екологічну цінність води, а щодо управління водними ресурсами, то його слід здійснювати таким чином, щоб забезпечити найбільш задовільне та збалансоване поєднання цих цінностей.

Незважаючи на високе міжнародне визнання цінності екосистем річок у житті людини та біосфери загалом (Future we want, 2012), на державному рівні це питання знаходиться у певному дисонансі еколого-економічних поглядів.

Зокрема, в Україні у 2015 році оприлюднено Водну стратегію до 2025 року (Водна стратегія України..., 2015), яка зобов'язує розглядати річку від витoku і до гирла як єдину функціональну систему та обов'язково враховувати економічні, екологічні та соціальні наслідки для екосистеми під час прийняття управлінських та господарських рішень на місцевому, регіональному та державному рівнях. Крім цього, одним із основних завдань стратегічної цілі «Охорона і відновлення якості водних ресурсів» визначено «відновлення водних об'єктів до стану, що забезпечує поновлення природних процесів самоочищення води». У той же час у 2016 році Кабінет Міністрів України затвердив Програму розвитку гідроенергетики на період до 2026 року (№552-р від 13.07.2016), де зазначено курс держави на нарощування енергетичних потужностей на річках, а, власне, гідроелектростанції (ГЕС) позиціонуються як альтернативне джерело енергії. І це незважаючи на величезний міжнародний та вітчизняний негативний досвід у цьому напрямку використання річкових екосистем (Дніпро; Дунай; Амазонка; Ніл; Волга і Каспійське море; Дон і Азовське море; Амудар'я, Сирдар'я і Аральське море; Янцзи; Колорадо; Міссісіпі і багато інших).

З огляду на вище викладене, відсутність комплексного усвідомлення річкових екосистем, відмінність пріоритетів галузей народного господарства та сучасні тенденції у диверсифікації джерел електричної енергії, є нагальна практична необхідність узагальнення комплексу негативних еколого-економічних наслідків від гідроелектростанцій для обґрунтування неальтернативності і безперспективності (у більшості випадків) цього джерела енергії у контексті реалізації положень сталого розвитку.

Таким чином, метою дослідження є визначення та узагальнення негативних еколого-економічних наслідків від будівництва та експлуатації руслових водосхових на річках для обґрунтування їх недоцільності і екосистемної збитковості. Лише комплексний погляд на проблему регулювання річок дозволить вирішити конфлікт економічної, екологічної та

соціальної складових розвитку держави. Тому завданнями даного дослідження є:

- аналіз змін абіотичних параметрів річок внаслідок спорудження руслових дамб для цілей промисловості;
- аналіз змін у біотичному різноманітті;
- оцінювання екологічних та економічних збитків, які завдають руслові водосховища екосистемам річок.

Таким чином, виконання вище наведених завдань дозволить сформувати комплексний висновок щодо перспективності, альтернативності і доцільності гідроенергетики у промисловості держави в розрізі глобальних змін клімату, зростаючого вододефіциту та стратегічної цінності прісноводних ресурсів.

Негативні зміни абіотичних параметрів річкової екосистеми

Хімічні і фізичні зміни, які зазнає річкова вода, коли починає затримуватися греблею, можуть серйозно погіршити нормальні показники водного середовища у водосховищі і у річці вниз за течією. Масштаб погіршення якості води, як правило, залежить від періоду водообміну у водному об'єкті.

Вода, у нижньому б'єфі водосховища, зазвичай прохолодніше влітку і тепліше взимку (не так, як у річці), в той час як вода з вихідних отворів поблизу верхньої межі водосховища буде теплішою, ніж річкова вода протягом всього року. Потепління або охолодження води в річці впливає на кількість розчиненого в ній кисню, зважених речовин і на хімічні реакції у водному середовищі. Зміна природної сезонної динаміки температури може порушити життєві цикли водних істот – розмноження, «вилуплення» і метаморфізм личинок гідробіонтів (Анисимова и Лавровский, 1983).

Теплі зимові скиди у регіонах з холодним кліматом будуть перешкоджати утворенню льоду вниз за течією. Скорочення крижаного покриву робить небезпечним або неможливим використання замерзлих річок в якості зимових

доріг: наприклад, в північній Скандинавії зведення греблі означає, що саами (місцеві жителі) більше не можуть використовувати більшість своїх традиційних зимових маршрутів перегону оленів замерзлими річками. Холодне зимове повітря, що проходить над відносно теплими водними дзеркалами деяких величезних російських і канадських водойм, викликає довготривалі періоди крижаного туману.

Оскільки греблі у посушливому кліматі сильно збільшують площу поверхні води, яка взаємодіє із теплим повітрям і сонячними променями, це призводить до випаровування великої кількості води, яка, по суті, втрачається в річці нижче за течією. Зі світових водосховищ щороку випаровується близько 170 км³ води. Це більше 7% від загальної кількості прісної води, яка споживається усіма видами діяльності людини. Середньорічна кількість води, що випаровується з водосховища Насер за високою Асуанської греблею, становить 11,2 км³. Це близько 10% об'єму водосховища і майже дорівнює загальному обсягу забору води для побутового та комерційного використання по всій Африці (Winton, Calamita & Wehrli, 2019).

Величезна кількість води випаровується з водосховищ річки Колорадо (близько однієї третини стоку річки). Це основна причина, чому солоність річки зросла до руйнівних і дуже коштовних рівнів. Високі концентрації солі є отруйними для водних організмів і роз'їдають труби та обладнання: підвищена солоність річки Колорадо обходиться водокористувачам Південної Каліфорнії в мільйони доларів на рік.

Крім цього, слабка засоленість більшості ґрунтів в посушливих західних районах США є здебільшого природною, однак вони стають остаточно солоними під час іригації. Далі, зрошувальна вода інфільтрується через ґрунт, «збираючи» солі, а потім повертається в річку. За даними Winton et al. (2019), на річці Колорадо одну і ту ж воду можна використовувати для поливу 18 разів. Таким чином, на фоні величезних об'ємів випаровування та багатоциклічності поливу, рівень мінералізації води в річці підвищується. Солоність води у

водосховищі Мід (найбільшому в США), створеного греблею Гувера, збільшилася в середньому з 785 частин на мільйон (ppm) в період з 1941 по 1969 роки до понад 900 ppm в 1990 році. А вже у XXI сторіччі цей показник перевищує значення 1200 ppm (стандарт США для питної води становить 500 ppm).

На початку 1960-х років, зростання мінералізації викликало різке зниження врожайності на полях в Мехікалі, одному з найбільш продуктивних сільськогосподарських районів Мексики, який використовує американську воду з річки Колорадо. Мехіко виступив з офіційним протестом до Вашингтону і в 1974 році між двома країнами підписали угоду, згідно з якою солоність річки Колорадо на кордоні з Мексикою не повинна перевищувати 1020 ppm. «Програма з контролю солоності» Бюро меліорації, розпочата після укладення договору з Мексикою, тільки у 1993 році обійшлася платникам податків в 660 млн. доларів (Winton et al., 2019).

Аналогічні явища спостерігають у басейні Південного Бугу. За результатами польових досліджень, проведених автором у липні 2020 року, встановлено, що солоні лиманні води піднімаються по руслу Південного Бугу на 100 км, а по Інгулу – на 20 км. Затримання прісного стоку цих річок зумовлює деградацію гирлових комплексів під періодичною дією вод Чорного моря.

Щодо США, що за останні 100 років вони стали світовими лідерами в будівництві гребель. Уряд перегороджував і використовував річки для різних цілей: гідроенергетики, іригації, боротьби з повеннями і зберіганням води. Інженерний корпус армії США вніс в каталог не менше 90000 дамб висотою понад 20 метрів, які затримують стік річок і струмків. Крім цього, існують десятки тисяч додаткових невеликих ставків (How dams damage rivers, 2019).

Так, греблі приносять користь суспільству, проте вона не еквівалентна шкоді, яка завадається річкам. Греблі виснажують рибний промисел, спричиняють деградацію річкових екосистем і змінюють рекреаційні

можливості останніх. Нині багато водосховищ і ставків, які колись були в епіцентрі існування населених пунктів, застаріли, екологічно небезпечні і не виконують свого функціонального призначення (How dams damage rivers, 2019; Bezsonov et al., 2017).

Греблі, які акумулюють воду для виробництва електроенергії і покриття пікових навантажень, часто зневоднюють ділянки річок, що знаходяться униз за течією (How dams damage rivers, 2019) (рис. 1).



Рис. 1. Відсутність санітарного попуску на Олександрівському водосховищі (Миколаївська область, Вознесенський район, 29.07.2020)

У вересні 2020 року, наприклад, на ділянці річки Південний Буг від нижнього б'єфу Первомайської ГЕС до с. Конецпіль, внаслідок відсутності попусків, повністю висохло русло. Завдані збитки оцінюються мінімум на рівні 17 мнл. гривень.

В даний час, згідно з Wei et al. (2009), існують дві протилежні думки про вплив будівництва гребель на водне середовище річок. Деякі дослідження показали, що таким чином погіршується якість води і послаблюється здатність до самоочищення води у зв'язку з розкладанням затопленої рослинності, виділенням фосфору з біогенних відкладень, повільне поширення

забруднюючих речовин і т. д. Інша ж точку зору стверджує, що водосховища є свого роду відстійниками, де вода набуває кращих споживчих якостей.

Тим не менше, за результатами досліджень Wei et al. (2009), які базуються на аналізі даних 20-річних спостережень за Манванським водосховищем (р. Меконг, Китай), стверджується про те, що греблі погіршують якість води і суттєво знижують здатність річок до самоочищення у межах водосховищ. Великі греблі в цілому роблять більш негативний вплив на річкову екосистему і призводять до незворотної втрати екосистем, включаючи погіршення якості води.

Як зазначалося вище по тексту, водосховища викликають локальні зміни клімату, які проявляються у підвищенні вологості повітря і частішому утворенні туманів, зменшенні хмарності в денний час над акваторією і середньорічних сум опадів, зміні напрямку вітру і його швидкості (Кошелев и др., 1989).

Справедливо буде зазначити, що кількість та інтенсивність перерахованих негативних явищ може бути наслідком неправильного проектування, неоптимального режиму експлуатації. До функцій гребель часто відносять стабілізацію і вирівнювання сезонних коливань стоку річки (боротьба з так званою «негативною дією вод»). Однак питання про те, чи дійсно ця мета є мудрою і науково обґрунтованою, залишається відкритим.

За дослідженнями деяких авторів (Анисимова и Лавровский, 1983; Кошелев и др., 1989; Акимова и Хаскин, 2012), нераціональний перерозподіл річкового стоку якісно змінює гідрологічний режим: грунт не насичуються весняними паводками, міліють і зникають озера уздовж річок. Повені та паводки – це необхідність для функціонування екосистем і їх компонентів, які майже повністю нейтралізуються водосховищами. Рисунок 2 демонструє зміну гідрологічного режиму річки Дон навесні і вирівнювання її стоку в результаті зарегулювання русла Цимлянським водосховищем.

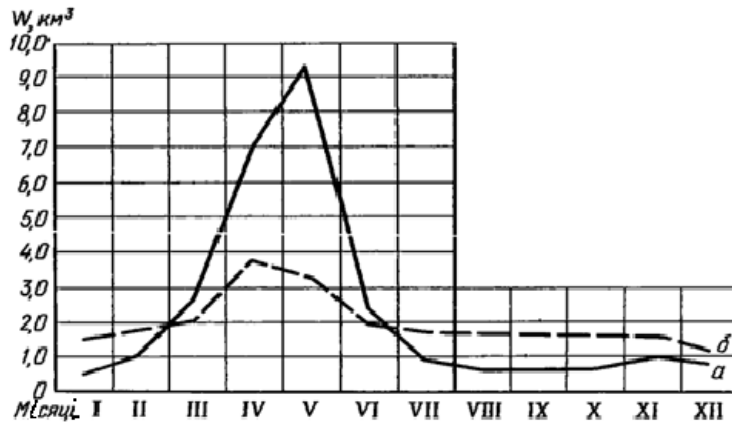


Рис. 2. Середньомісячний стік річки Дон у природних та зарегульованих умовах: а – 1891-1952, б – 1952-1965 (Водохранилища и их воздействие..., 1986)

Аналогічна ситуація характерна для Дніпра (Жукинський и др., 1989; Шапар, 2010; Шапар и Скрипник, 2013), Дністра (Стратегічні напрями адаптації..., 2015; Пилипович та Ковальчук, 2017), Південного Бугу (Магась та Трохименко, 2013; Безсонов и Андреев, 2016) та багатьох інших українських річок. Зокрема на Південному Бугу, з початком будівництва Южно-Українського атомного енергокомплексу, одразу почалося вирівнювання стоку річки (рис. 3).

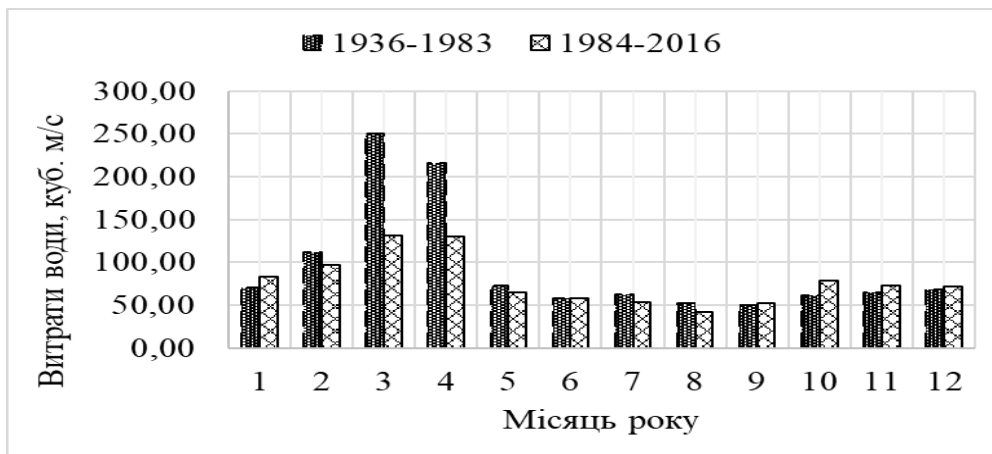


Рис. 3. Зміна середньомісячних витрат води у р. Південний Буг до (1936-1983 рр.) та після введення в експлуатацію (1984-2016) Південно-Української АЕС

По суті, ситуація є абсурдною, адже одному підприємству у користування віддали ділянку русла річки від с. Олександрівка до м. Південноукраїнськ

(згодом, у 1999 році було введено в експлуатацію Олександрівське водосховище, яке вважається компонентом атомного енергокомплексу і ще більше загальмувало стік води у нижню течію).

Важливим питанням, яке необхідно висвітлити, є процес забезпечення стоку з водосховища, необхідного для функціонування річкової екосистеми униз за течією. Зазвичай воно виглядає так: об'єм водосховища повинен бути достатнім для забезпечення гарантованого санітарного стоку (мінімального необхідного господарського скиду) води в маловодний період. У такому формулюванні річка фактично приречена на повільну загибель, оскільки функціонування будь-якої природної системи має динамічний характер, багатоводні роки змінюються маловодними, і гідробіота вже звикла до цієї циклічності. Коли ж постійно тримати екосистему на мінімумі, то це однозначно призведе до її структурних і функціональних змін нижче за течією. Тому, важливо першочергове право на задоволення потреб у воді віддавати компонентам річкової системи (як це зроблено на законодавчому рівні у Австралії, Європейському Союзі, Казахстані, Молдові), зберігаючи механізм паводкових чисток русла річки (Безсонов и Андреев, 2015).

Відповідно до вітчизняних стандартів (СанПиН 3907-85, 1985), санітарний попуск (environmental flows) – це мінімальні витрати води, які забезпечують дотримання нормативів якості води і сприятливі умови водокористування в нижньому б'єфі водосховища. На міжнародному рівні санітарний попуск (environmental flows) тлумачиться набагато ширше – це величина, терміни і якість водних потоків, необхідних для підтримки прісноводних і гирлових (естуарних, лиманних) екосистем, забезпечення умов для існування і благополуччя людини, яка залежить від цих екосистем (The Brisbane Declaration, 2007).

Вирішення питання пріоритетизації потреб у воді можна, шляхом законодавчого закріплення норми, яка однозначно і чітко врегулює відносини в сфері водокористування в період дефіциту води на річках (меженні періоди),

віддаючи першочерговість екологічній системі, а не економічному розвитку. Крім цього, це не дозволить віддавати у користування одному або декільком суб'єктам господарювання ділянки річки, що перегороджуються русловим водосховищем.

Що стосується гідрохімічних, гідрофізичних та гідрологічних змін на річках, після створення водосховищ, то відповідно до вітчизняної та міжнародної практики, вони зміщуються в бік гірших значень, що загострює питання водозабезпечення униз за течією та збереження сталості потоків екосистемних послуг.

Наслідки гідробіологічних змін після створення водосховищ

Оскільки водосховища, у зв'язку з повільним водообміном, є накопичувачами біогенних часток, вони формують сприятливі умови для евтрофікації водойм (Васильев и Хрисанов, 1991). За високої інтенсивності останньої, у воді з'являється неприємний запах і смак, забиваються промислові водозабори, знижується рекреаційна привабливість водного об'єкту, відбуваються замори риби. Дуже часто цвітіння водоростей в неглибоких застоюаних водоймах роблять воду непридатною для побутового або господарського використання.

За даними Winton et al. (2019), протягом перших років після заповнення водосховища розкладання затопленої рослинності і ґрунтів може різко виснажити рівень кисню у воді. Водосховища часто «догнивають» протягом десятиліття, хоча в тропіках може знадобитися багато десятиліть або навіть століть для розкладання більшої частини органічної речовини. Ретельне очищення рослинності в зоні занурення перед заповненням водосховища може зменшити цю проблему, але, оскільки це складно і надмірно дорого, особливо для великих водосховищ, в кращому випадку це робиться лише частково.

Найбільш відомі приклади масштабних затоплень лісів відбулися в Південній Америці. Так, під час введення в експлуатацію греблі Брокопондо в

Суринамі, було затоплено 1500 км² тропічних лісів – 1% території країни. Розкладання органічної речовини у водосховищі сильно дезоксигенувало воду і викликало масові викиди сірководню. Робочі на греблі повинні були носити маски протягом двох років після того, як в 1964 році почалося заповнення водосховища. Вартість усунення збитків, завданих турбінам Брокопондо кислотною, деоксигенованою водою, в 1977 році оцінювалася в 4 мільйони доларів, що становить понад 7% загальної вартості проекту. Дослідження, проведені в 1967 році, показали, що рівень кисню в річці почав відновлюватися тільки за 110 км нижче за течією від греблі, позбавивши багато прибережних населених пунктів питної води і риби.

Незважаючи на законодавчу вимогу прибирати рослинність з усіх районів, які планується заповнювати водою, енергокомпанія Бразилії Eletronorte очистила менше однієї п'ятої від 2250 км² тропічних лісів, затоплених потім водосховищем ГЕС Тукуруї, і тільки 2% від 3150 км² лісів – водосховищем ГЕС Балбіна. Очищення всього водосховища Тукуруї підвищило б вартість проекту приблизно на 440 мільйонів доларів, або на 9%. Оскільки скид Балбіни знаходиться на самому дні 50-метрової греблі (скидають придонні води), то річка Уатуман, притока Амазонки, отримує майже повністю безкисневому воду з водосховища. У цьому контексті вважається, що знекиснення води в результаті розкладання рослинності у нещодавно заповненому водосховищі за греблею Ясірета, що на кордоні між Аргентиною і Парагваєм, вбило понад 120 000 риб, знайдених вниз за течією після першого випробування турбін греблі в серпні 1994 року.

Збагачені поживними речовинами тропічні водойми особливо схильні до заселення водоростями. Дуже щільні угруповання з плаваючих рослин можуть заважати рибальським човнам і сітям, блокувати світло для інших організмів, засмічувати турбіни і сприяти розмноженню шкідників, таких як комарі та равлики, в яких знаходиться паразит шистосомоза. За допомогою транспірації водні рослини знижують рівень водосховищ: втрати води від випаровування в

покрытих «водними бур'янами» водоймах можуть бути в шість разів вище, ніж у відкритих водах.

Найстрашнішим «бур'яном» амазонських водосховищ є водяний гіацинт (*Eichhornia crassipes*), який поширюється з надзвичайною швидкістю в евтрофних водоймах, в значній мірі перешкоджаючи зусиллям по їх знищенню шляхом фізичного видалення рослин або обприскування гербіцидами (що призводить до нових екологічних проблем). Через два роки після того, як Брокпондо почали заповнювати, більше половини його водного дзеркала було покрито водним гіацинтом. Пізніше, поширення цієї рослини було частково взято під контроль довгостроковою програмою повітряного обприскування канцерогенним гербіцидом 2,4-Д, який також отруїв багато інших рослин і тварин. Разом із амазонськими серйозно постраждали від водних гіацинтів і африканські водосховища. Згідно з Winton et al. (2019), за один рік 20% поверхні водосховища Кариби – понад 1000 км² – була задушена водоростями.

Вчені лише порівняно недавно дізналися про те, що поширеною проблемою забруднення водосховища є накопичення високих рівнів ртуті в рибі. У багатьох ґрунтах ртуть природним чином присутня в нешкідливій неорганічній формі. Однак бактерії, що харчуються затопленою органічною речовиною в новому резервуарі, перетворюють неорганічну ртуть в метилртуть, токсин для центральної нервової системи, і включають її у харчовий ланцюг. Рухаючись по ньому, вона все більше концентрується в тілах тварин (консументах вищих порядків).

Підвищені рівні ртуті у лімнофільних риб (що живуть переважно в стоячих водах) були вперше помічені в Південній Кароліні в кінці 1970-х років. З тих пір вони були зареєстровані в Іллінойсі, північній Канаді, Фінляндії та Таїланді, що говорить про глобальність проблеми.

Найбільш вивченим прикладом розповсюдження метилртуті є гідрокомплекс La Grande в Квебеку, який є частиною величезного проекту James Bay. Через десять років після того, як у водосховищі Ла-Гранде-2 вперше

були виявлені рівні ртуті в щуках та судаках, їх концентрація зросла у шість разів, у порівнянні з рівнем до появи водосховища, і не було жодних ознак стабілізації. Оскільки риба є основною частиною традиційного раціону місцевих жителів Кри, рівень вмісту ртуті в їх організмі підвищився до небезпечних рівнів. За даними Winton et al. (2019), до 1984 року, через шість років після завершення будівництва греблі Ла-Гранде-2, у 64% Кри, що живуть в гирлі річки Ла-Гранде, рівень ртуті в крові набагато перевищував допустиму межу, встановлену Всесвітньою організацією охорони здоров'я.

Греблі змінюють екосистеми і біорізноманіття річок (Васильєв и Хрисанов, 1991). У старих промислово-розвинених країнах в даний час взято напрямок на зняття з експлуатації гребель, а не на будівництво нових, але в багатьох країнах, що розвиваються, експлуатація річок має екстенсивний характер. Крім цього, у багатьох випадках негативні наслідки від водосховищ можуть бути більш значними в тропічних регіонах, ніж в помірних і бореальних (Jansson, 2006).

Будівництво великих гребель зіграло важливу роль в період індустріалізації Європи і Північної Америки. Тому не дивно, що нові проекти будівництва гребель стоять на порядку денному в багатьох країнах Азії, Африки і Латинської Америки. Але поява греблі приводить до великих змін в річкових екосистемах, і багато видів ссавців зникли або значно зменшилися в результаті затоплення і зміни навколишнього середовища греблями.

Як правило, греблі завжди призводять до зменшення біорізноманіття, але кількісні і якісні наслідки дуже залежать від масштабу. Приблизно 25-30% ендемічних видів рослин повністю зникли з територій Швеції, які були затоплені водосховищами і межують з ними (Jansson, 2006).

Згідно з Jansson (2006), гідроенергетика сьогодні розглядається як первинна загроза для приблизно 5% видів тварин, що знаходяться під загрозою зникнення, і 3% видів рослин з таким же статусом.

У тропічних і субтропічних регіонах багато видів мають дуже обмежене географічне поширення і значну частку флори і фауни, яка може бути унікальною для окремих річкових систем. У той час як річкові системи в помірних і бореальних регіонах мають мало ендемічних видів риб, більше половини фауни риб можуть бути ендемічними в річках більш низьких широт.

Наприклад, 50% рибної фауни в річці Оліфантс на півдні Африки і в річці Йордан є ендемічним, а також 42% видів риб в Червоній річці (Юань Цзян), яка протікає через Китай і В'єтнам. Інші ріки також мають багато ендеміків. Наприклад, як в Меконг, так і в Янцзи (Чіангцзян) є ендемічні види зграй тісно пов'язаних між собою черевоногих моллюсків (більше 100 видів на річку). Експлуатація водосховищ може не тільки зробити їх зникаючими видами, але й привести до повного вимирання (Jansson, 2006).

Греблі можуть також сприяти вторгненню чужорідних видів (інвазії). Будівництво греблі зазвичай означає, що ділянки вгору за течією від греблі затоплені і постійно знаходяться під водою. У деяких випадках робилися спроби переміщати великих тварин, коли водосховище починало заповнюватися, але це лише затримувало вимирання на деякий час.

У деяких випадках навіть робилися спроби перемістити рослини, які повинні були бути втоплені. Це сталося, коли гребля Ітайпу на кордоні між Бразилією і Парагваєм повинна була бути заповнена, що загрожувало декільком рідкісним рослинам. Однак транспортування було безуспішним.

Деякі греблі вражають такі великі площі, що єдине середовище проживання певних організмів виявляється під водою. Одним із прикладів є прибережна рослина *Myricaria laxiflora*, генетичний матеріал якої помістили в спеціальне сховище, коли гребля Три ущелини на річці Янцзи в Китаї була повністю заповнена в 2009 році (Jansson, 2006; Wang, Zhang, Ding, Zhu & Deng, 2020). Ця рослина сильно пристосована до свого унікального прибережного середовища: вона дримає з травня по жовтень, а потім швидко зростає і висіває насіння протягом зими, коли рівень води в річці низький. Насіння

поширюються вітром і течією річки, коли є можливість конкурувати з іншими рослинами.

У водосховищі, як правило, менше видів, ніж у річці, яку воно замінює. Так, прибережна рослинність уздовж водосховищ в Швеції і Канаді в середньому скоротилася на 84% видовим різноманіттям і на 34% – за чисельністю видів, у порівнянні з незарегульованим станом річки. У довгостроковій перспективі продуктивність водосховища буде зменшуватися, оскільки єдиним фотосинтезуючим організмом, здатним впоратися з коливаннями рівня води, є пелагічний фітопланктон, а фауна обмежується пелагічним зоопланктоном і рибами.

За даними Jansson (2006), є твердження, що збіднення видів є тимчасовим і що відновлення відбувається в той час, коли види, які зникли під час заповнення водосховища, поступово починають реколонізуватися. Мало що відомо про ситуацію в тропічних регіонах, але на півночі Швеції, де гідроенергетична експлуатація річок почалася приблизно 100 років тому, були проведені дослідження відновлення аборигенної рослинності з плином часу.

Ніхто не проводив жодних досліджень, коли будувалися перші греблі. Тому порівнювалися водойми різного віку, від декількох до 70 років. З'ясувалося, що певне відновлення дійсно мало місце. Видове багатство рослин, що відновлюються, зросла протягом перших 30-35 років, ймовірно, в результаті послідовної реколонізації. Проте видове багатство було невелике в порівнянні з вільно текучими річками в регіоні, і в водосховищах, яким було від 35 до 70 років, багатство видів зменшувалася зі збільшенням віку.

Інший приклад – ущелина Кіхансі в горах Удзунгва в Танзанії. Гори Удзунгва мають один з найстаріших у світі тропічних лісів. Стабільний клімат протягом мільйонів років дозволив розвиватися великій кількості ендемічних видів з невеликим географічним розподілом. У 1994 році почалося будівництво греблі на річці Кіхансі, частково за допомогою Швеції. Дамба перекрила потік води. Після того, як будівництво греблі вже почалося, в яру була виявлена

ендемичний різновид жаб *Nectophrynoides asperginis*, а також велика кількість нових видів комах і мінімум чотири ендемічних види рослин, включаючи нові види кави. Всі ці види залежали від річкового потоку в ущелині, де постійно утворювався невеличкий туман навколо русла. Але, незважаючи на це відкриття, будівництво греблі тривало, і замість того, щоб подавати частину річкової води для проходження через ущелину, там була встановлена вдосконалена спринклерна система, яка мала замінити бризки і туман від порогів і водоспадів ущелини Кіхансі. У результаті штучна система врятувала рослини але жаба Кіхансі, на думку вчених, вимерла в дикій природі. За іронією долі, смертельний удар для виду був, ймовірно, грибковою інфекцією, яка, можливо, була ненавмисно введена інсталювачами розпилювача або біологами в їх спробах врятувати різновид. Жаба Кіхансі в даний час зустрічається тільки в терраріях зоопарку Бронкса і Толедоса в США (Jansson, 2006).

Життєвий простір і міграції важливі для більшості річкових видів, оскільки водне середовище, як правило, є динамічним і неодноразово змінюється. Отже, види повинні мати можливість поширюватися і колонізувати новостворені райони в якості заміни зниклим.

Доступ до корму і ресурсів варіюється в часі і просторі, тому для багатьох тварин важливо використовувати різні частини річкової системи протягом життєвого циклу. Дамби виступають як бар'єри, що перешкоджають активному і пасивному переміщенню організмів у воді.

Найбільш відомий приклад – це лосось, який не зможе піднятися уверх за течіє, до місць нересту. Оскільки більшість видів лосося в Північній Америці і Європі сьогодні знищені або перебувають під загрозою вимирання, були розроблені заходи, щоб мігруючі риби могли обходити греблі. Але побудувати ефективні рибоходи складно, оскільки лососеві риби, як правило, йдуть по найсильнішому потоку, який, зазвичай, є стоком з електростанції.

У тропічні річки багато видів риби заходять з моря, однак греблями ці сторічні шляхи руйнуються. На Перловій річці (Чжуцзян), наприклад, з 1950 року було побудовано більше трьох тисяч дамб. Це практично знищило рибу *Tenulosa reevesii*, яка була предметом прибуткового промислу.

Популяції інших ендемічних видів риби, таких як китайський осетер (*Acipenser sinensis*), осетер Янцзи (*Acipenser dabryanus*) і веслонос китайський (*Psephurus gladius*), різко скоротилися, оскільки греблі також перешкоджали доступу до нерестовищ. Там, де були побудовані рибоходи, конструкція була скопійована з лососевих сходів, і вони часто виявлялися неефективними, оскільки у цих риби немає можливості лососевих риби підніматися, перестрибуючи вгору по сходах. Аналогічна ситуація склалася і з греблею Пак Мун в Таїланді, де рибними сходами за 800 000 доларів місцева іхтіофауна не змогла скористатися, і основа промислу місцевих жителів була втрачена.

Крім мігруючих риби страждають і багато інших груп організмів. Наприклад, багато прив'язаних до води комах досягають нових районів мимоволі пливучи за течією. Велика кількість насіння поширюється аналогічним чином. Так чи інакше, транспортування як комах, так і насіння блокується греблями.

У бореальних річках велика кількість насіння багатьох видів розсіюється під час весняних паводків. Деякі насіння можуть бути розсіяні на дуже великі відстані (експериментально встановлено відстань у 150 км).

Плаваюче насіння може обходити греблі тільки в тому випадку, якщо його засмоктало в турбіні на електростанції (що малоймовірно), або якщо вони проходять через ворота, коли вони відкриті (що рідко). Через бар'єрний ефект гребель берегова флора уздовж річок досить сильно фрагментована.

Видовий склад відрізняється від прибережних зон річки вгору і вниз за течією від греблі, навіть незважаючи на те, що територія річки в основному схожа. В основному це види, чиї плоди і насіння погано плавають у воді і зустрічаються тільки на одній стороні греблі. Цілком ймовірно, що в багатьох

випадках цим видам важко прорватися через греблю, оскільки вони ризикують потонути до того, як у них з'явиться шанс пройти. Види, насіння яких плавають протягом тривалого часу, мають більше шансів пройти. Взаємозв'язок між розсосередженням прибережних рослин і гребель була продемонстрована тільки для річок на півночі Швеції, але дамби, як правило, є бар'єром для розселення і в інших районах (Jansson, 2006).

Більшість річкових систем в даний час містять велику частку видів, що походять з інших континентів. У багатьох випадках зміни в навколишньому середовищі, спричинені вирубкою лісів, сприяли поширенню чужорідних видів за рахунок місцевих видів. Багато гребель, як розглядалося раніше, скидають холодну донну воду. Це трансформує навколишнє середовище нижче за течією, особливо у спекотних регіонах, на шкоду місцевим видам.

Річка Колорадо на заході Північної Америки раніше налічувала 32 види риб, дві третини з яких були ендемічними. Дамби перетворили річку з каламутною теплою водою (кілька місцевих видів були сліпі) в річку з холодною і чистою водою. В даний час там виявлено 68 видів чужорідних видів, багато з яких адаптовані до холодної води, а місцеві види знаходяться на межі знищення або знищені.

На південному заході США тамариск (*Tamarix*spp.), чагарник з Азії, також поширився вздовж річок і в даний час переважає на великих територіях за рахунок місцевої тополі і видів верб. Тамариску сприяли гідрологічні зміни, викликані греблями: сильних потоків, які затоплюють береги річки і зволожують ґрунт, стало набагато менше після спорудження водосховища. Оскільки чагарник має глибоке коріння, яке може проникати до підземних вод, він менш залежний від режиму природного стоку і захоплює нові території (Jansson, 2006).

Досить показова, з точки зору негативного впливу водосховищ на річкову екосистему, ситуація сьогодні спостерігається на річці Південний Буг в Україні, де після створення Південноукраїнської атомної електростанції (ПУ АЕС) та

каскаду водосховищ в середній течії, кардинально змінився як гідрологічних режим, так і видове різноманіття гідробіонтів унизза течією.

Варто зазначити, що за результатами ретроспективних досліджень продуктивності Південного Бугу, серед козаків ця річка вважалася найкращим місцем риболовлі (Амброз, 1956). Нині рибного промислу майже немає. Крім цього, суттєво інтенсифікувався браконьєрський вилов, який призводить до спустошення рибних запасів, особливо в великих масштабах під час нерестового ходу (Лебедев, 1960).

Відомо, що зарегулювання стоку річки порушує умови розмноження прохідних (мігруючих) і реофільних (прив'язаних до порожистого русла і швидкої течії) риб (осетрові, лососеві, оселедцеві), створюючи умови для розвитку менш цінних лімнофільних видів – ляща, коропа, судака, карася, окуня, плотви, щуки і ін. (рис. 4) (Васильєв и Хрисанов, 1991).

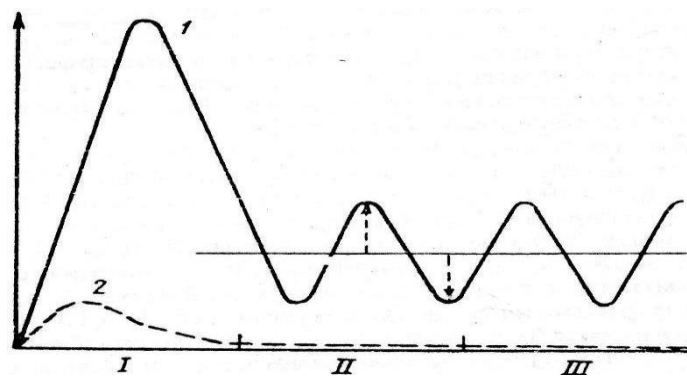


Рис. 4. Багаторічне коливання чисельності популяції риб:

I – початкова стадія формування водосховища; II – проміжна; III – стадія стабілізації;

1 – лящ; 2 – стерлядь

Тому, твердження про те, що створення водосховища відкриває нові потужності рибогосподарського комплексу одностороннє і характеризує тільки споживчу кількісну складову, і не враховує якісну (збереження видового складу після зарегулювання і їх чисельність).

Протягом 30-х і початку 40-х рр. XX ст. отримано перші негативні повідомлення про вплив на риб зарегулювання Південного Бугу греблею Олександрівської (Вознесенської) ГЕС, побудованої в 1927 році. Наведемо

деякі показники по динаміці зменшення промислового вилову вирезуба (риба сімейства коропових) як напередодні будівництва, так і після зведення греблі: 1926 – 196,6 т, 1927 – 113,8 т, 1929 – 37,6 т, 1931 – всього 1,3 т (Лебедев В.Д., 1960).

Нова Олександрівська ГЕС, введена в експлуатацію в 1999 році, своєю греблею остаточно зруйнувала історичні шляхи нерестової ходи вирезуба, який є найбільшим серед коропових видів і досягав ваги в середньому декількох кілограмів, а іноді 8-10 кг.

Нині в зарегульованому Південному Бугу налічується 63 види риб, які представлені 53 родами і 15 родинами, в порівнянні з більш ніж 80 видами на початку 50-х років ХХ століття. За оцінками автора, у тривалому погіршенні стану екосистеми Південного Бугу головне місце займає саме зарегулювання стоку (Bezsonov, Andreev & Smurnov, 2016; Bezsonov et al., 2017). Зокрема, це доводиться результатами проведених польових досліджень на предмет стенобіонтної індикації середовища, за якими визначено відповідний індекс екологічної безпеки (рис. 5).

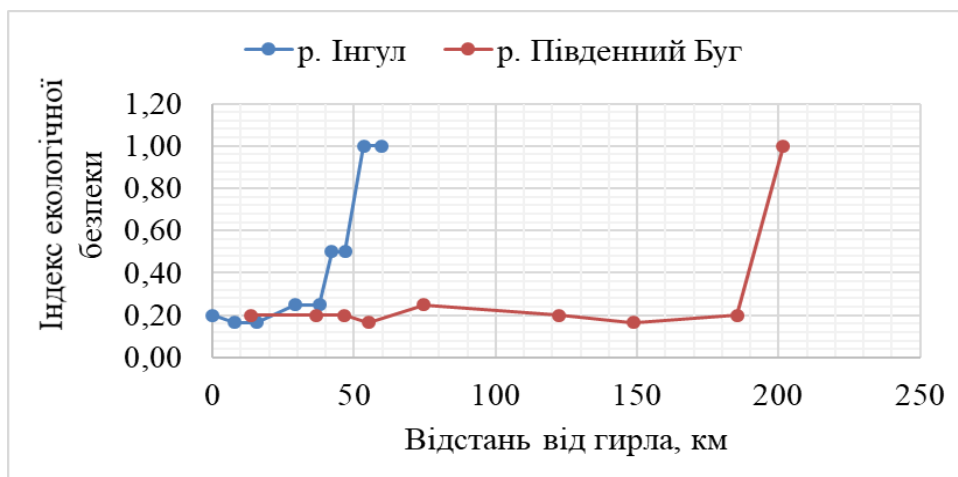


Рис. 5. Динаміка індексу екологічної безпеки водної екосистеми річок Інгул та Південний Буг

Анісімова та Лавровський (Анисимова и Лавровский, 1991) вказують на те, що кількість видів риб, які ведуть осілий спосіб життя, у вільно текучій річці невелика (представники коропових, деякі бички сімейства *Gobiidae*). У

більшості риб обов'язковим етапом життєвого циклу є міграція – періодичне сезонне переміщення в певному напрямку і в певний час. Тому, міграція є одним з найважливіших етапів існування виду, оскільки призначена для забезпечення продовження роду. Однак початок цього процесу залежить не тільки від підготовленості організму до змін умов життя (вміст жиру, повнота, стан зрілості гонад і ін.), але і від зовнішніх факторів (температури, наявності відповідної швидкості течії).

Протягом перших років існування дніпровських водосховищ кількість видів і підвидів риб в них скоротилася на 7-11 таксонів. У зв'язку з різким зменшенням водообміну та швидкостей течії, збільшенням глибини і ширини водних акваторій, чисельність реофільних видів у водосховищах значно скоротилося.

Факти скорочення продуктивності і життєздатності популяцій різних видів риб від зарегулювання і зменшення природного стоку вже відомі (Комплексное использование..., 1985; Васильев и Хрисанов, 1991). Причому негативно це явище позначилося не тільки на річках, але й на внутрішніх морях, в які вони впадають. Так, в Каспійському морі, в результаті зниження рівня води на 4 метри в кінці 70-х років, рибопродуктивність зменшилася на 75% і продовжує знижуватися разом з рівня моря.

Всі цінні риби боляче переносять підвищення показників солоності. При середньому її значенні у 16 ‰, ареал проживання рибця, судака, шемаї, тарані і ляща скорочується в 14-15 разів, а менш чутливих (осетрів, чехоні, сазана і сома) – у 5 разів.

Тим не менше, для водосховищ показники солоності не є вирішальними з точки зору рибного різноманіття. За даними Васильєва та Хрисанова (1991), чисельність лімнофільної іхтіофауни і фітопланктону обернено пропорційна коефіцієнту водообміну водосховища – відношення кількості води, що надходить у водосховище, до його середнього обсягу за рік. У випадку малого

водообміну, створюються оптимальні умови для розвитку синьо-зелених водоростей і евтрофікації.

Таким чином, до 30-х років ХХ століття чисельність деяких представників іхтіофауни лімітувалася природними факторами і ступенем рибогосподарського використання водойм, а з середини ХХ століття – головним чином, гідротехнічним навантаженням на водойми.

Встановлено також значний вплив роботи турбін ГЕС на іхтіофауну водосховища, якщо аналізувати результати роботи Дністровської ГЕС, через водоводи турбін якої в нижній б'єф потрапляє значна кількість мертвої молоді риб, особливо після зливових дощів (Лебедев, 1960; Комплексное использование..., 1985).

Узагальнюючи вище викладене, очевидно, що зарегулювання русла річки має негативні наслідки для водної екосистеми та прилеглих природних комплексів, населених пунктів і промисловості.

Екологічні та економічні наслідки створення руслових водосховищ

Об'єктами господарювання, що залежить від водопостачання з річки Південний Буг є комунальні господарства міст Первомайська, Південноукраїнська, Вознесенська, Нової Одеси і Миколаєва, промислові підприємства цих міст, жителі прибережних сіл, зрошувальні системи сільськогосподарського призначення. Характерною особливістю споживачів є збільшення потреб у воді в літній період, що дуже загострює проблему водозабезпечення в меженний період.

Найпотужнішим споживачем води є Південноукраїнська атомна електростанція, до складу якої входить Ташлицьке водосховище-охолоджувач та Олександрівське водосховище. При роботі АЕС лише одна третина виділеної енергії перетворюється в електричну, а дві третини відводяться в атмосферне повітря шляхом випаровування води з поверхні водосховища.

Для забезпечення роботи кожного з трьох ядерних блоків-мільйонників треба випаровувати близько одного кубометра води за секунду. Компенсація втрат води з Ташлицького водосховища здійснюється підкачкою з річки (Олександрівське водосховище). На основі статистичного аналізу гідрологічних даних було визначено господарські ризики та величину потенційних економічних збитків у період вододефіциту на Південному Бузі (Bezsonov et al., 2017) (рис. 6).

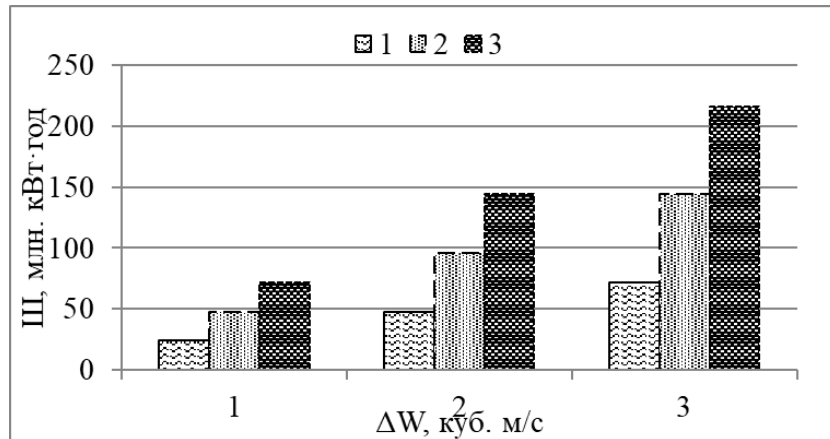


Рис. 6. Залежність зменшення електровиробництва (I) від скорочення забору води з річки (ΔW): 1 – тривалість обмеження 1 доба, не працює один блок; 2 – тривалість обмеження 2 доби, на працює 2 блока; 3 – тривалість обмеження 3 доби, зупинка АЕС

Очевидно, що чим довше триватимуть обмеження у зв'язку з нестачею водного ресурсу (величину санітарного попуску з Олександрівського водосховища визначено на рівні $17 \text{ м}^3/\text{с}$), тим більші збитки зазнаватиме як підприємство, так і дотичні до неї галузі промисловості. Проте в усіх документах з розвитку, нині в Україні економічний розвиток займає пріоритетне місце. Але навіть значення проведеної оцінки частини екосистемних послуг нижньої течії річки Південний Буг майже ідентичне річній продуктивності ПУ АЕС.

Яскравим прикладом збалансованого управління ресурсами є рибопродуктивність водної екосистеми.

Так, на основі аналізу чисельності елементів однієї з ланок ланцюга живлення (хижих риб (в даному випадку – консументів III порядку)) Дніпро-

Бузького лиману доведено незбалансованість сучасної системи управління ресурсами водної екосистеми.

Враховуючи той факт, що річна продуктивність продуцентів Дніпро-Бузького лиману оцінена в розмірі близько $52,328 \cdot 10^{15}$ Дж (Bezsonov, 2018), використовуючи біосферний закон розподілу енергії у ланцюзі живлення (правило 10%), визначено розміри енергетичної ніші хижих риб у водній екосистемі – $12,5 \cdot 10^9$ ккал. У речовинному еквіваленті це складатиме близько 12 тис. т риби (для людини, як кінцевого консументу – 1,2 тис. т). Основними хижаками Дніпро-Бузького лиману, які є найбільш цінними в промисловому значенні та чисельними з-поміж інших хижих видів, є судак, щука, окунь, жерех, сом. На початку 50-х років ХХ століття сумарний об'єм їх вилову складав майже 981,6 т (20% загального вилову) або 10^9 ккал у енергетичному еквіваленті (що цілком узгоджується із закономірностями біосфери для консументів 4-го порядку – людина практично повністю вибирала вироблений екосистемою ресурс у межах своєї енергетичної ніші – $1,25 \cdot 10^9$ ккал), у другій половині 70-х – 219,6 т (3%), а сьогодні таких даних взагалі немає. Деградація продуктивності очевидна.

Крім цього, енергетику екосистеми Південного Бугу оцінено і в матеріальному еквіваленті. За даними автора (Безсонов, 2018), уже близько 30 років (з початком 1990-х років) збитки для рибпромислового комплексу від деградації Дніпро-Бузького лиману складають 240 млн. гривень щороку. І це без врахування широкого спектру екосистемних послуг, які річки надають господарству людини та споживаються на побутовому рівні.

Мільйони гривень, які витрачаються на днопоглиблення, риборозведення, очищення і відновлення русла можна було б зекономити, якщо б природокористування у басейні було сталим і враховувало закономірності функціонування річки як цілісної системи, яка самостійно щовесни очищується, продукує органічну речовину без втручання людини та ускладнюється. Кожна

річка це вулик, з якого потрібно брати лише чітко обґрунтовану частину ресурсу, щоб забезпечити сталий потік екосистемних послуг.

Висновки

За результатами проведеного дослідження доведено, що зарегулювання стоку річок русловими греблями запускає механізм деградації річкових екосистем, який інтенсифікується промопропорційно віку водосховища.

Міжнародний та вітчизняний досвід засвідчує, що негативні наслідки від зведення гідротехнічних споруд, з метою задоволення певних виробничих і побутових потреб, у кінцевому випадку мають мінімум басейновий масштаб: порушується функціональна цілісність водної екосистеми та зменшується потік екосистемних послуг. Інколи, будівництво водосховищ спричиняло зникнення біологічних видів у біосфері загалом.

Загалом, дослідження наслідків зарегулювання за компонентами водної екосистеми дозволяє констатувати наступне:

1) зазнають змін гідрологічні (стік річки уні за течією, випаровування та ін.), гідрофізичні (температура води, прозорість, швидкість течії та ін.) та гідрохімічні (розчинений кисень, кислотно-лужний баланс, доступність важких металів, збільшення концентрацій азоту та фосфору з органіки та ін.) абіотичні параметри водної екосистеми. Крім цього, інтенсифікуються негативні геологічні процеси на сусідніх територіях: підтоплення за засолення земель, затоплення ландшафтів, ерозія берегів та погіршення якості ґрунтових вод;

2) спорудження водосховищ негативно впливає на видовий та кількісний склад біорізноманіття річки: руйнуються шляхи міграції більшості видів риби, частішають замори, з'являються інвазії, зменшується кількість ендеміків, збільшується чисельність «сорних» (еврибіонтних) видів. При цьому, практика створення рибоходів є малоефективним технічним рішенням;

3) дуже часто, типово для вододефіцитних періодів у посушливих регіонах, греблі, які віддані у власність приватним компаніям, не здійснюють

санітарних попусків, залишаючи річку та прилеглі населені пункти без води. Як наслідок, збитки від такої діяльності значно перевищують отримані вигоди у вигляді електроенергії;

4) оцінювання екологічних збитків від зарегулювання стоку річки виявило, що відносно невелика ділянка річки (на прикладі Дніпро-Бузького лиману) за показниками продуктивності в енергетичному еквіваленті майже ідентична великому техногенному об'єкту, який зумовлює деградацію водної екосистеми на ділянці русла приблизно у 200 км;

5) зарегулювання стоку річки завдає значних економічних збитків промисловості на місцевому, регіональному і державному рівнях. Розмір цієї шкоди вимірюється сотнями мільйонів доларів. Основна причина цього – пріоритет економічних інтересів над екосистемними і несприйняття річкових басейнів як функціонально цілісних систем.

Таким чином, якщо екстраполювати отримані результати на українську стратегію розвитку, очевидно, що від Програми розвитку гідроенергетики на період до 2026 року (як і будь-яких інших галузевих стратегічних цілей) необхідно відмовитися.

Список літератури

- Bezsonov, Ye., Andreev, V., & Smyrnov, V. (2016). Assessment of safety index for water ecological system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(10-84), 24-34. Retrieved from <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/86170/83775>
- Bezsonov, Ye., Mitryasova, O., Smyrnov, V., & Smyrnova, S. (2017). Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4(10-88), 20-28. Retrieved from <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/108322/103974>

Ресурс: Future we want. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/futurewewant.html>

Ресурс: How dams damage rivers. Retrieved from <https://www.americanrivers.org/threats-solutions/restoring-damaged-rivers/how-dams-damage-rivers/>

Jansson, R. (2006). The effect of dams on biodiversity. *Dams under Debate. Swedish Research Council Formas.* 77-84.

The Brisbane Declaration. (2007). *Ресурс: Proclaimed at the 10 International Riversymposium and International Environmental Flows Conference, Brisbane, Australia, on 3-6 September.* Retrieved from <https://riversymposium.com/about/brisbane-declaration/>

Wang Q., Zhang S.-D., Ding B., Zhu X., & Deng H.-P. (2020). The complete chloroplast genome of *Myricaria laxiflora* (Tamaricaceae): an endemic and endangered species from China. *Mitochondrial DNA Part B*, 5:2, 1153-1154, doi: 10.1080/23802359.2020.1730266

Wei, G., Yang, Z., Cui, B. et al. (2009). Impact of Dam Construction on Water Quality and Water Self-Purification Capacity of the Lancang River, China. *Water Resources Management* 23, 1763–1780. doi.org/10.1007/s11269-008-9351-8

Winton, R. S., Calamita, E., & Wehrli, B. (2019). Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification. *Biogeosciences*, 16, 1657–1671. doi.org/10.5194/bg-16-1657-2019

Акимова, Т. А., & Хаскин, В. В. (2012). *Экология*: 3-е изд., перераб. и доп. ЮНИТИ.

Амброз, А. И. (1956). *Рыбы Днепра, Южного Буга и Днепроовско-Бугского лимана*. Издательство Академии наук УССР.

Анисимова, И. М., & Лавровский, В. В. (1983). *Ихтиология*. Высшая школа.

Анисимова, И. М., & Лавровский, В. В. (1991). *Ихтиология*: 2-е изд., перераб. и дополн. Агропромиздат.

- Безсонов, Є. М. (2018). *Визначення рівня екологічної безпеки регіону методом токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів водних екосистем.* (кандидатська дисертація). Retrieved from https://lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/9253/dis_bezsonov.pdf
- Безсонов, Є. М., & Андрєєв, В. І. (2015). Екологічна складова сталого розвитку: обґрунтування пріоритетності та шляхи забезпечення. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 6 (123), 23–29. Retrieved from <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12024/1845-1875-1-SM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Безсонов, Є. М., & Андрєєв, В. І. (2016). Забезпечення екологічної безпеки Південного Бугу в контексті сталого розвитку м. Миколаїв. *Наукові праці: науково-методичний журнал*, вип. 276. т. 288. *Екологія*, 18–26. Retrieved from http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Npchdue_2016_288_276_5.pdf
- Васильєв, Ю. С., & Хрисанов, Н. И. (1991). *Экология использования возобновляющихся энергоисточников.* Издательство Ленинградского университета.
- (2015). *Ресурс: Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи)* Retrieved from http://iwpim.com.ua/wp-content/uploads/2015/10/11_03_2015.pdf
- Авакяна, А. Б., & Воропаєва, Г. В. (Eds). (1986). *Водохранилища и их воздействие на окружающую среду.* Наука.
- Ресурс: Вопросы, касающиеся территориального планирования (включая минеральные ресурсы) и водных ресурсов. Доклад Генерального секретаря. Комитет по энергетическим и природным ресурсам в целях развития. Вторая сессия (14–25 августа 2000 года).* Retrieved from <http://repository.un.org/handle/11176/231710>

- Жукинський В. Н., Журавлева Л. А., Иванов А. И. и др. (1989) *Днепровско-Бугская эстуарная экосистема*. Отв. ред. Зайцев Ю. П. Наукова думка.
- Юшманов, О. Л., Шабанов, В. В., Галямина, И. Г. и др. (Eds). (1985). *Комплексное использование и охрана водных ресурсов*. Агропромиздат.
- Кошелев, А. А., Ташникова, Г. В. и др. (1989). *Экологические проблемы энергетики*. Наука. Сибирское отделение.
- Лебедев, В. Д. (1960). *Пресноводная четвертичная ихтиофауна европейской части СССР*. Издательство МГУ.
- Магась, Н. І., & Трохименко, А. Г. (2013). Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. *Екологічна безпека*, 2(13), 48-52. Retrieved from [http://www.kdu.edu.ua/EKB_journal/2013_2\(16\)/Pdf/48.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_journal/2013_2(16)/Pdf/48.pdf)
- Ресурс: Обзор прогресса в решении вопросов, связанных с водными ресурсами: рассмотрение институциональных и правовых вопросов управления водными ресурсами. Экономический и Социальный Совет ООН. Третья сессия (6-17 мая, 1996 года)*. Retrieved from: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N96/071/79/PDF/N9607179.pdf?OpenElement>
- Пилипович, О. В., & Ковальчук, І. П. (2017). *Геоекологія річково-басейнової системи верхнього Дністра*: монографія. ЛНУ ім. Івана Франка.
- Ресурс: Протокол по проблемам воды и здоровья к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер 1992 года. Экономический и Социальный Совет ООН. Вторая сессия (23-25 марта 2000 года)*. Retrieved from http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/water_protection.shtml
- СанПиН 3907-85. *Ресурс: Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ*. Retrieved from <http://www.vashdom.ru/sanpin/3907-85/>

- Ресурс: Стратегічні напрями адаптації до зміни клімату в басейні Дністра.*
(2015). Retrieved from
https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Dniester_ukr_web.pdf
- Шапар, А. Г. (2010). Тільки стогне, але вже не реве. *Екологія і природокористування*, 13, 6-14. Retrieved from
<http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/57395/02-Shapar.pdf?sequence=1>
- Шапар, А. Г., & Скрипник, О. О. (2013). Недолугість, бездушність чи непорозуміння визначають долю Дніпра? *Екологія і природокористування*, 16, 282-289. Retrieved from
<http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/57505/33-Shapar.pdf?sequence=1>

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF SURFACE WATER BODIES OF LVIV CITY (UKRAINE)

Pohrebennyk V., Lviv Polytechnic National University, Dr. Sc., Prof., Prof. of Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity, Lviv, Ukraine

Shybanova A., Lviv Polytechnic National University, Dr., As. Prof., As. Prof. of Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity, Lviv, Ukraine

Abstract

In Lviv City and the suburban area there are more than 40 water bodies. Unfortunately, the trend towards the pollution of open natural water streams and reservoirs by unauthorized discharges of household sewage effluents has not undergone any positive changes. The purpose of the work is to assess the ecological state of surface water bodies of Lviv City. The most polluted water bodies in Lviv in 2017 were discovered. The level of excessive MPC exceeded by such indicators as total iron, ammonia, phosphates, suspension substances, BOD₅, synthetic surface-active substances and the change of these indicators compared to 2016 for the most polluted water bodies. The water pollution index was calculated and the most polluted water bodies quality class of Lviv was determined, the tendency of changes in water quality in time was determined. According to the determined values of the index of water pollution, it can be assumed that the investigated water objects of Lviv have not yet reached the critical limit of pollution and have the potential for self-purification.

Introduction

Environmental pollution, caused by natural processes and human activities, remains the main problem all over the world (Gatica, Almeida, Mallea, Del

Corigliano & Gonzalez, 2012; Mustapha, Aris, Juahir, Ramli & Kura, 2013, Васенко, Рибалова та Коробкова, 2017). The growth of economic activity and scientific and technological progress lead to an increase in anthropogenic pressure on the environment, which exacerbates socio-economic problems and causes the imbalance in the natural environment.

At the same time, due to the use of non-renewable raw materials and energy reserves pollution of the environment, especially water resources and atmospheric air, is increasing, forest areas and fertile lands are reduced, certain types of plants and animals disappear.

Co-operation and coordination of the activities of all international organizations and states are necessary to solve the global problem of providing humanity with water.

According to experts, Ukraine is considered to be one of the least provided countries in Europe with reserves of local water resources – 1 thousand m³ per inhabitant. For comparison, in Sweden and Germany – 2,5 thousand m³, France – 3,5 thousand m³, Great Britain – 5 thousand m³. At the same time, their use is ineffective and irrational.

Despite the significant reduction in water use and the corresponding reduction in the technogenic load on water bodies, the ecological state of surface and underground water sources is not improving. Every year, into the surface water bodies in the country, are dumping large volumes of not enough cleaned municipal and household and industrial wastewater, which is the result of the inefficiency of water treatment systems. Water pollution causes the degradation of Rivers, reservoirs, lake systems and deterioration of water quality, which negatively affects people's health – through food, drinking, washing, bathing in contaminated water bodies. In particular, the use of such water leads to many infectious diseases, namely viral hepatitis A, typhoid and diseases of the digestive system, cardiovascular, endocrine system, contributes to the emergence of allergic reactions.

In order to preserve the quality of natural water bodies, first of all, it is necessary to take measures to prevent their pollution. Any wastewater before getting into the surface water must be cleaned (Pohrebennyk, Cygnar, Mitryasova, Politylo & Shybanova, 2016; Shybanova, Pohrebennyk & Mitryasova, 2016; Погребенник, Шибанова & Політило, 2016; Cleuvers, 2003; Clara, Strenn & Kreuzinger, 2004; Mitryasova, Pohrebennyk & Bogatel, 2016). Treatment of sewage in treatment facilities should provide such degree of purification that corresponds to the normative documents and the established MPC. Conducting systematic environmental monitoring of reservoirs is a prerequisite for water quality control and can provide an operational response to unauthorized entry into the environment of pollutants. So, it can be avoided adverse effects on the environment.

Improving the quality of the environment, in particular water resources, involves the use of various methods for determining the parameters of the environment and measuring equipment (Petruk, Pohrebennyk, Kvaternyuk, Bondarchuk & Cygnar, 2016; Karpinski, Pohrebennyk, Bernatska, Ganczarczyk & Shevchenko, 2018; Mitryasova, Pohrebennyk & Kardasz, 2016; Pohrebennyk, Mitryasova, Dzhumelia & Kochanek, 2017).

Currently, systematization and analysis of accumulated experience in developing generalized indicators of water quality and substantiation of the expediency of their application in a wide spectrum of scientific and practical works on water resources protection remain relevant.

Surface water quality assessment is extremely important. It is covered in the works of both foreign (Staddon, 2016; Obolewski et al., 2018; Meyer, Klein, Fünfroeken, Kautenburger & Beck, 2019; Kapelewska et al., 2019; Schickele, Leroy, Beaugrand, Francour & Raybaud, 2020), scientists and domestic ones (Rahman et al., 2011; Shrestha & Kazama, 2007; Sharma, Bora & Shukla, 2013). The solution of this issue will prevent the spread of toxic chemicals and pathogenic microorganisms, deterioration of the quality of drinking water, reduce the biological productivity of surface waters and their ability to self-purify.

The purpose of the work is to assess the ecological state of surface water bodies of Lviv City.

In order to achieve this purpose, it is necessary to establish the degree of exceeding the MAC indicators of surface water quality in Lviv city in 2016/2017 and to determine the quality class of surface water according to the water pollution index.

Materials and methods

The state monitoring system is an important information system that collects, preserves and processes information on the status and quality of water for institutional and integrated assessment and forecasting of the state of water resources, the development of sound recommendations for the adoption of effective management decisions.

The data of the National report show that during 2016 water users of Lviv region disposed of surface water bodies of 206.2 million m³ of return water. Compared to 2015, total discharges decreased by 1.5 million m³, in line with the reduction of water intakes from natural water bodies. In the reporting year there was a slight increase in discharges of contaminated wastewater (from 45.08 million m³ in 2015 to 46.08 million m³ in 2016, i.e. 1.08 million m³). The discharges of purified water increased by 0.5 million m³ (from 143.8 million m³ in 2015 to 144.3 million m³ in 2016). The discharges of clean water decreased from 18.84 million m³ in 2015 to 15.72 million m³ in 2016, i.e. 3.12 million m³.

The discharge of untreated sewage from treatment facilities is carried out in the basins of transboundary Rivers (Dniester, West Bug). Pollution of surface waters of transboundary Rivers can lead to negative consequences for European countries (Poland, Moldova). The second major problem that leads to pollution of surface water in the region is the lack of water protection zones and coastal protective strips of water objects in the area (Pohrebennyk et al., 2016; Shybanova et al., 2016; Погребенник та ін., 2016).

Water quality assessment methodology based on a complex index – Water Pollution Index (WPI) is recommended for use by the State Hydrometeorological Units. This is one of the simplest methods of integrated water quality assessment. The estimation by the indicator of the WPI allows comparing the quality of water of different water bodies with each other, regardless of the presence of various pollutants, to identify the tendency of water quality changes in time (table 1).

WPI is calculated by the formula

$$WPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{MPC_i}$$

where C_i – the average concentration of one of the n indicators of water quality; MPC_i – the maximum permissible concentration of each of the n indicators of water quality.

Usually, the WPI is calculated by six or seven hydrochemical indicators, for example: the composition of dissolved oxygen, hydrogen index, BOD, and others.

The starting data for the work was the materials of the laboratory analysis of water from control ranges what was conducted by specialists of the Department of Ecology and Natural Resources in Lviv region.

Table 1

Criteria for assessing the quality of water by WPI

Water quality class	WPI value	Text description
I	<0.3	Clean
II	>0.3 – 1	Relatively Clean
III	>1 – 2.5	Moderately Polluted
IV	>2.5 – 4	Polluted
V	>4 – 6	Dirty
VI	>6 – 10	Very Dirty
VII	>10	Extremely Dirty

To compare water quality in different ranges, the definition of their dynamics is used as criteria for water quality classes:

1. Class I includes water, the least affected by anthropogenic load. The value of their hydrochemical and hydrobiological indicators is close to natural values for a given region.

2. For waters of the II class, there are certain changes in comparison with natural ones, but these changes do not violate the ecological balance.

3. Class III includes waters that are under significant anthropogenic influences, the level of which is close to the limit of ecosystem stability.

4. Waters of the IV-VII classes – these are water with disturbed ecological parameters, their ecological status is assessed as ecological regression.

Results and discussions

During 2017, in Lviv, the municipal enterprise "Administrative and Technical Administration" of Lviv City Council selected samples from lakes, ponds (including decorative), streams and rivers. A total of 35 points were analyzed and 140 samples of surface water were selected. The highest number of exceedances was recorded for such pollutants: suspended matter (at 34 monitoring points), total iron (at 34), BOD5 (at 19), ammonia (at 26), phosphates (at 11) (table 2).

The most polluted water objects in Lviv are the Bilohorskyi Stream (Shyroka street, the entrance to the village Bilohorshcha), the Vodiani Stream (Zaliznychnyi district, Aviatsiina street, 7), Zubra River (Zubra village, the bridge (300 m from the sewage pumping station), Marunka River (Lychakivskyi district, Private Joint-stock company "Enzym" (500 m from the Lviv-Vynnyky road)), the Lysynitskyi Stream (Lychakivskyi district, Trakt Hlynianskyi street, 150), the Kryvchytskyi Stream, pond (Lychakivskyi district, Bohdanivska street / Plastova street (middle), pond (Shevchenkiivskyi district, Panas Sotnyk street, 5), pond of Regional Landscape Park "Znesinnia" (Marunka street, 19). In all of these water bodies, an excess of the MPC from 5 to 6 hydrochemical indicators was recorded.

The most MPC excess surface water quality indicators in 2017 observed in Lychakivskyi district – the Lysynitskyi Stream (the content of total iron exceeded the

MPC by 2 times, the content of ammonia – by 2.15 times, the content of suspended matter – by 2.9 times), the Kryvchytskyi Stream (the content of total iron exceeded the MPC by 1.6 times, the content of ammonia – by 3.3 times, the content of suspended matter – by 3.7 times). The Bilohorskyi Stream, which is located in Zaliznychnyi district, has a significant excess of MPC: the content of total iron exceeded the MPC by 4 times, the content of ammonia – by 12 times, the content of suspended matter – by 3,8 times.

The change in the surface water quality indicators of Lviv in 2016-2017 is demonstrated in Fig. 1. – Fig. 6

For all the aforementioned water bodies in 2017, an increase in the total iron content in comparison with 2016 is characteristic.

The reason for the high content of iron may be a relatively high corrosion activity of water.

In 2017, the content of ammonia and phosphates increased significantly in the Bilohorskyi Stream; the content of synthetic surface-active substances (SSAS) increased in the Lysynitskyi Stream and decreased in the Kleparivskyi Stream.

Mineral phosphorus compounds are introduced into natural waters as a result of weathering and dissolution of rocks containing orthophosphates (apatites and phosphorus) and inflow from the surface of the catchment in the form of ortho-, meta-, pyro- and polyphosphate ions, and also formed in the biological processing of animal residues and plant organisms. The excess phosphate content in water, especially in groundwater, may be a sign of the presence of fertilizer fertilizers, components of household sewage in a water body.

Excess of MPC indicators of surface water quality in Lviv in 2017

№	Name of the watercourse (reservoirs) and location of sampling point (address)	MPC excess, times					
		Total iron	Ammonia	Phosphates	Suspended matter	SSAS	BOD-5
<i>MPC of water indicators for public and domestic water supply (mg/dm³)</i>		0.3	2.0	3.5	15	0.5	15.0
1.	Pond, Shevchenkivskyi district	1.3	–	–	2.87	1.2	1.35
2.	The Holoskivskyi Stream	1.67	2.15	–	3.2	1.0	1.15
3.	The Lysynitskyi Stream	2.0	2.15	1.09	2.9	2.6	1.07
4.	The Kryvchytskyi Stream	1.67	3.3	1.11	3.7	–	1.2
5.	Marunka River	3.3	1.2	–	3.54	1.0	1.52
6.	The Bilohorskyi Stream	4.0	12.9	2.14	3.83	1.16	1.45
7.	The Vuletskyi Stream	2.0	–	–	3.23	1.0	–
8.	The Kleparivskyi Stream	2.33	2.85	–	2.55	1.0	1.01
9.	The Sknylivok Stream, village Sknyliv	4.53	3.2	–	4.81	–	1.59
10.	The Vodianyi Stream	3.33	5.75	1.49	3.6	1.2	1.28
11.	Zubra River	2.67	2.1	1.26	2.01	1.6	1.27
12.	The Medovo-Pecherskyi Stream	1.93	1.03	–	2.09	–	–
13.	Pond, Forest Park “Horikhovyi Hai”,	2.0	–	–	3.46	–	1.13
14.	Pond, Frankivskyi district	2.33	–	–	5.67	–	–
15.	Pond, Stryiska-Naukova street	2.33	–	–	4.93	–	–

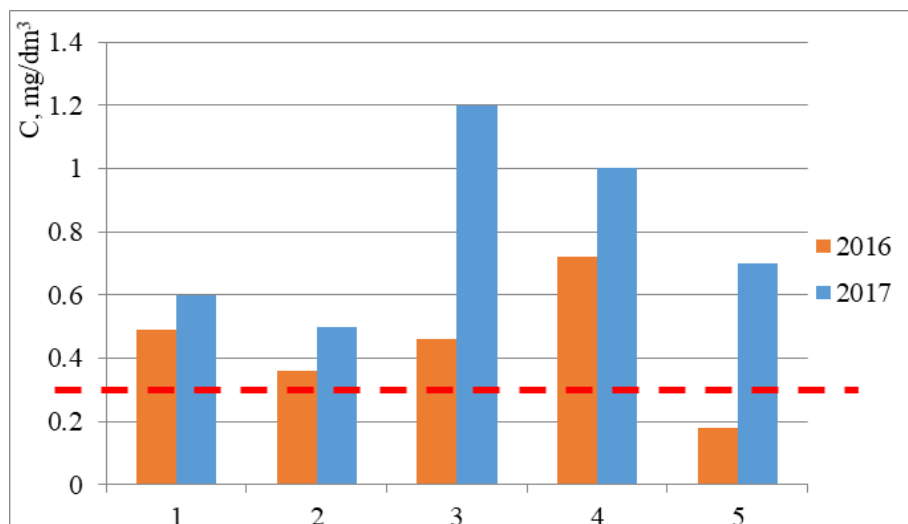


Fig. 1. Change of the total iron content in the surface waters of Lviv in 2016-2017 (1 – the Lysynitskyi Stream, 2 – the Kryvchytskyi Stream, 3 – the Bilohorskyi Stream, 4 – Marunka River, 5 – the Kleparivskyi Stream)

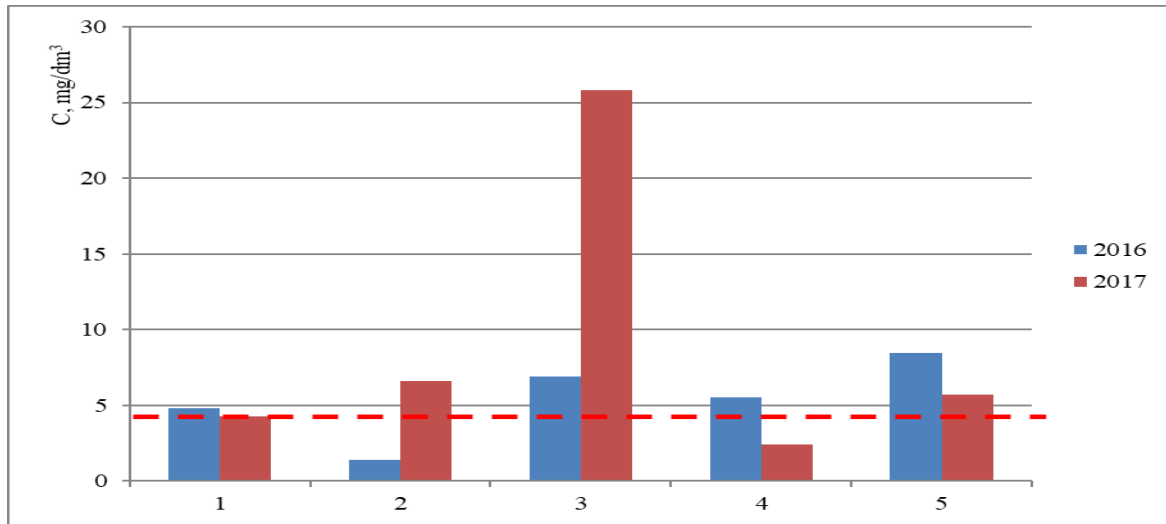


Fig. 2. Change of the ammonia content in the surface waters of Lviv in 2016-2017 (1 – the Lysynitskyi Stream, 2 – the Kryvchytskyi Stream, 3 – the Bilohorskyi Stream, 4 – Marunka River, 5 – the Kleparivskyi Stream)

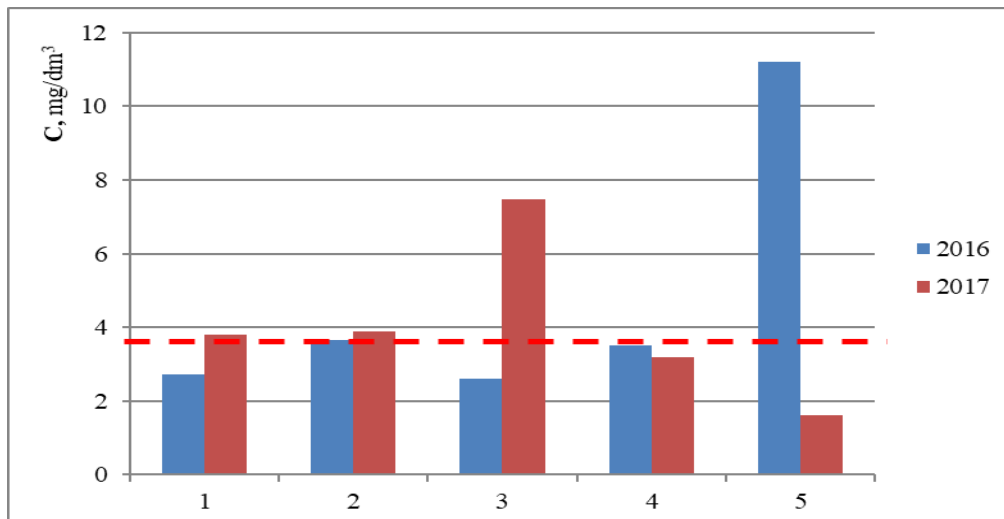


Fig. 3. Change of the phosphates content in the surface waters of Lviv in 2016-2017 (1 – the Lysynitskyi Stream, 2 – the Kryvchytskyi Stream, 3 – the Bilohorskyi Stream, 4 – Marunka River, 5 – the Kleparivskyi Stream)

Suspended substances affect the transparency of water and the penetration of light into water, temperature, dissolved components of surface water, adsorption of toxic substances, as well as the composition and distribution of sediments and the rate of sedimentation. Water, in which a lot of suspended matter, is unsuitable for recreational use for aesthetic reasons.

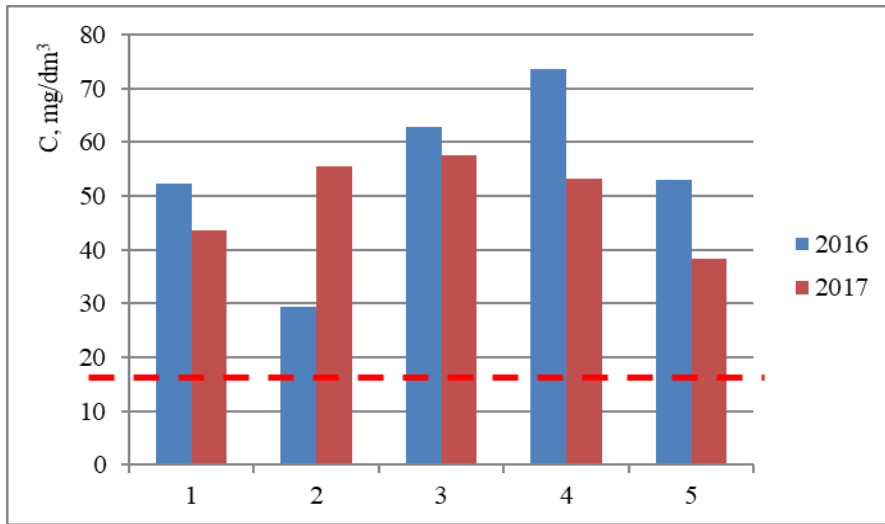


Fig. 4. Change of the suspended matter content in the surface waters of Lviv in 2016-2017 (1 – the Lysynitskyi Stream, 2 – the Kryvchytskyi Stream, 3 – the Bilohorskyi Stream, 4 – Marunka River, 5 – the Kleparivskyi Stream)

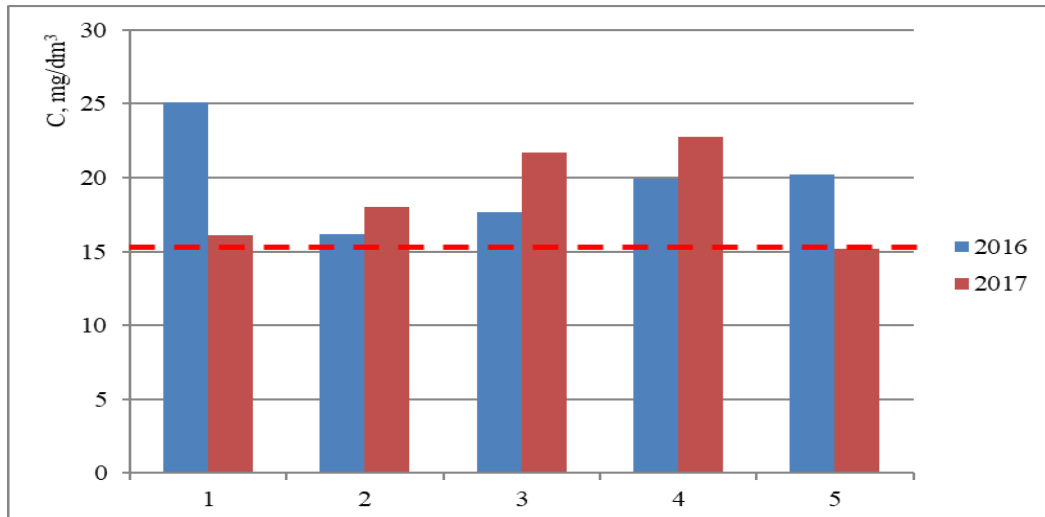


Fig. 5. Change of BOD₅ content in the surface waters of Lviv in 2016-2017 (1 – the Lysynitskyi Stream, 2 – the Kryvchytskyi Stream, 3 – the Bilohorskyi Stream, 4 – Marunka River, 5 – the Kleparivskyi Stream)

Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) is the amount of oxygen in milligrams needed to oxidize organic substances, contained in 1 liter of water, by aerobic bacteria to CO₂ and H₂O for 5 days without access to air and light.

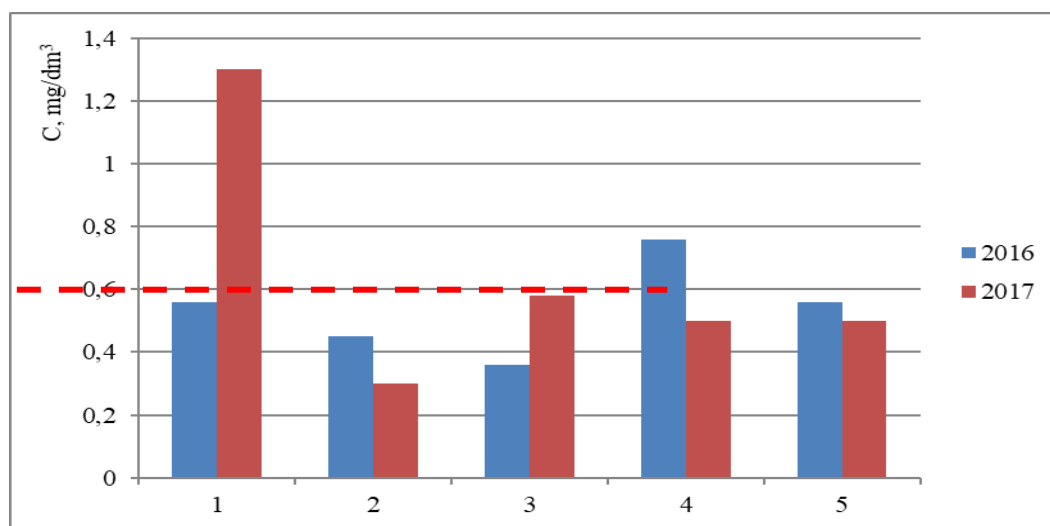


Fig. 6. Change of SSAS content in the surface waters of Lviv in 2016-2017
(1 – the Lysynitskyi Stream, 2 – the Kryvchytskyi Stream, 3 – the Bilohorskyi Stream,
4 – Marunka River, 5 – the Kleparivskyi Stream)

BOD₅ is an important ecological indicator of the state of natural reservoirs. Due to the high content of organic substances in the water, aerobic bacteria are rapidly multiplying, and oxygen is essential for their vital functions. This may result in a decrease in the content of dissolved oxygen, to create hypoxic conditions and the death of certain species of hydrobionts. BSK₅ does not include the cost of nitrification.

Stable accumulations of foam on the surface of water could be formed due to the high concentration in the runoffs of synthetic surfactants. The presence of these substances in River waters is very dangerous, since, in addition to the deterioration of the smell and taste of water, its biochemical purification capacity decreases, the development of aquatic vegetation is suppressed or stopped altogether.

The WPI is calculated and the quality class of such water objects is established: Lysynitskyi, Kryvchytskyi, Bilohorskyi, Kleparivskyi Streams, Marunka River.

A comparative characteristic of water quality is calculated based on estimated WPI of these water objects in 2016/2017 years (table 3).

According to the determined values of the index of water pollution, it can be assumed that the investigated water bodies of the city of Lviv have not yet reached the critical limit of pollution and have the potential for self-purification. Water users

need to only maintain and improve this potential. To do this, it is necessary to prevent the possibility of flushing out of production areas and to create a biological barrier for the protection of water bodies, the detaining and disposal of surplus nutrients and toxic compounds.

the Lysynytskyi Stream is characterized by a slight increase in water pollution index in 2017 compared to 2016, the water quality class has not changed – III, Moderately Polluted Water.

Table 3

Water pollution indexes and surface water quality classes in Lviv in 2016/2017

Water sampling point	Value WPI		Water quality class	
	2016	2017	2016	2017
The Lysynytskyi Stream	1.11	1.15	III Moderately Polluted	III Moderately Polluted
The Kryvchytskyi Stream	0.75	1.14	II Relatively Clean	III Moderately Polluted
The Bilohorskyi Stream	1.19	2.29	III Moderately Polluted	III Moderately Polluted
Marunka River	1.31	1.13	III Moderately Polluted	III Moderately Polluted
The Kleparivskyi Stream	1.05	0.98	III Moderately Polluted	II Relatively Clean

Marunka River and the Kleparivskyi Stream are characterized by a slight decrease in the water pollution index in 2017 compared to 2016.

The Bilohorskyi Stream is characterized by an increase in the water pollution index in 2017 compared to 2016 (the water quality class does not change – III, Moderately Polluted). With a further approximation to the value of WPI = 2.5, there will be a change in the water quality class from III to IV (Polluted Water).

The growth of the water pollution index for the Kryvchytskyi Stream in 2017 is established in comparison with 2016. Also, the water quality class II (Relatively Clean Water) changed in 2016 to III (Moderately Polluted Water) in 2017.

Based on the environmental legislation and normative acts in force in Ukraine, the Cabinet of Ministers of Ukraine prepared the Integrated Environmental Program for Lviv for 2017-2022. It is primarily oriented towards the fulfillment of the strategic goals and objectives defined by the Law of Ukraine "On the Basic Principles

(Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period until 2020" dated December 21, 2010 No. 2818-VI. At the local level, the Program focuses on ensuring the environmental priorities identified by the Integrated Development Strategy of Lviv for 2012-2020, which was approved by the decision of the Lviv City Council No. 851 dated 20.10.2011.

In order to improve the surface water quality in Lviv, the program provides for the following measures: creation of a hydrogeological map of Lviv, creation of recreational zones near urban reservoirs, their improvement and monitoring of their pollution, construction of a drainage station on the territory of the first stage of the sewage treatment plants on Plastova street, 13.

Consequently, contamination of surface water is a significant cause of poor water, which stimulates the development of various diseases and reduces the average life expectancy of people. The dynamics of pollution of surface waters of Lviv was investigated and it was shown that in 2016-2017 there is a tendency towards its increase, one of the reasons being the housing and communal services and industrial objects of Lviv. The main measures for improvement of the state of the surface water bodies of Lviv are the reconstruction of treatment facilities, construction, and maintenance of networks of domestic water drainage. This will allow to reduce the volume of discharges of insufficiently treated return water in the surface waters of Lviv.

Conclusions

It was established that the highest pollution level of water bodies in Lviv in 2017 are the Bilohorskyi Stream, the Vodiany Stream, the Lysynitskyi Stream, the Kryvchytskyi Stream, Zubra River, Marunka River, pond (Lychakivskyi district, Bohdanivska street / Plastova street (middle)), pond (Shevchenkivskyi district, Panas Sotnyk st., 5), pond of Regional Landscape Park "Znesinnia" (Marunka street, 19). In all of these waters there is an excess of 5 to 6 hydrochemical indicators.

For the most polluted surface water bodies of Lviv in 2017, it is characterized of exceeding the MPC for the total iron content by 2-4 times, for ammonia by 2-12 times, suspended matter by 2-6 times, SSAS up to 2.5 times, phosphates up to 2 times, BOD5 up to 1.5 times.

For all of the aforementioned water bodies in 2017, an increase in the total iron content in comparison with 2016 is characteristic. In 2017 the content of ammonia and phosphates increased significantly in Bilohorskyi Stream, of synthetic surface-active substances – in the Lysynytskyi Stream, and decreased – in the Kleparivskyi Stream.

The Lysynytskyi and the Bilohorskyi Streams are characterized by an increase of water pollution index in 2017 compared to 2016, the water quality class was not changed – III, Moderately Polluted Water. Marunka River and the Kleparivskyi Stream are characterized in 2017 by a slight decrease of water pollution index. The Kryvchytskyi Stream is characterized by an increase of water pollution index in 2017 and by a change in the water quality class from II (Relatively Clean Water) in 2016 to III (Moderately Polluted Water) in 2017.

According to the determined values of the index of water pollution, it can be assumed that the investigated water objects of Lviv have not yet reached the critical limit of pollution and have the potential for self-purification.

References

- Clara, M., Strenn, B., & Kreuzinger, N. (2004). Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behavior of carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration *Water Research*, 38 (4), 947–954.
- Cleuvers, M. (2003). “Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology Letters*, 142 (3), 185–194.
- Gatica, E. A., Almeida, C. A., Mallea, M. A., Del Corigliano, M. C., & Gonzalez, P. (2012). “Water quality assessment, by statistical analysis, on rural and urban

areas of Chocancharava River (Río Cuarto), Córdoba, Argentina” *Environ. Monit. Assess.*, 184, 7257–7274

Kapelewska, J., Kotowska, U., Karpińska, J., Astel, A., Suchta, J., & Algrzym, K. (2019). “Water Pollution Indicators and Chemometric Expertise for the Assessment of the Impact of Municipal Solid Waste Landfills on Groundwater Located in Their Area”. *Chemical Engineering Journal*, 359, 790-800.

Karpinski, M., Pohrebennyk, V., Bernatska, N., Ganczarczyk J., & Shevchenko, O. (30 June – 06 July, 2018). “Simulation of artificial neural networks for assessing the ecological state of surface water”. *Conferences Proceeding. 18th International Multidisciplinary scientific Geoconferences SGEM 2018* (pp. 693–700). Albena, Bulgaria. Vol. 18, Issye 2.1, Sofia, Bulgaria.

Meyer, A. M., Klein, C., Fünfroeken, E., Kautenburger, R., & Beck, H. P. (2019). “Real-time Monitoring of Water Quality to Identify Pollution Pathways in Small and Middle Scale Rivers”. *Science of the Total Environment*, 651, 2323-2333.

Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., & Bogatel N. (2016). “Wastewater management system of the brewing industry,” *Water Supply and Wastewater Removal: Monografie – Politechnika Lubelska*, edited by Henryk Sobczuk, Beata Kowalska, Lublin, 117–131.

Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., & Kardasz P. (30 June – 06 July, 2016). “Hydrochemical aspects of surface water quality assessment,” In *Conferences Proceeding. 18th International Multidisciplinary scientific GEOCONFERENCES SGEM 2018*. (pp. 513–520). Albena, Bulgaria. Vol. 18, Issye 5.2, Sofia, Bulgaria.

Mustapha, A., Aris, A. Z., Juahir, H., Ramli, M. F., & Kura, N. U. (2013). “River water quality assessment using environmentric techniques: Case study of Jakara River Basin,” *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 20, 5630–5644

Obolewski, K., Glińska-Lewczuk, K., Szymańska, M., Astel, A., Lew, S., & Paturej, E. (2018). Patterns of Salinity Regime in Coastal Lakes Based on Structure of

Benthic Invertebrates. *PLoS ONE*, 13(11), e0207825

- Petruk, R., Pohrebennyk V., Kvaternyuk S., Bondarchuk O., & Cygnar M. (2016). Multispectral television monitoring of contamination of water objects by using macrophyte-based bioindication. In *Conferences Proceeding 16th International Multidisciplinary scientific Geoconferences SGEM. Vol. II. Book 5.* 597–601.
- Pohrebennyk, V., Cygnar, M., Mitryasova, O., Politylo, R., & Shybanova, A. (2016). Efficiency of sewage treatment of company "Enzyme". In *Conferences Proceeding. 16th International Multidisciplinary scientific Geoconferences SGEM, Vol. II. Book 5.* 295–302.
- Pohrebennyk, V., Mitryasova, O., Dzhumelia, E., & Kochanek, A. (2017). Evaluation of surface water quality using water quality indices in mining and chemical industry. *Conference Proceeding. 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017 Vol. 17. Issue 51*, 425-432.
- Rahman, I. M. M., Islam, M. M., Hossain, M. M., Hossain, M. S., Begum, Z. A., Chowdhury, D. A., Chakraborty, M. K., Rahman, M. A., Nazimuddin, M., & Hasegawa, H. (2011). Stagnant surface water bodies (SSWBs) as an alternative water resource for the Chittagong metropolitan area of Bangladesh: physicochemical characterization in terms of water quality indices. *Environ. Monit. Assess*, 173, 669–684.
- Schickele, A., Leroy, B., Beaugrand, G., Francour, P., & Raybaud, V. “Modelling European Small Pelagic Fish Distribution: Methodological insights”. (2020). *Ecological Modelling*, 416, 108902.
- Sharma, A., Bora, C. R., & Shukla, V. (2013). “Evaluation of seasonal changes in physico-chemical and bacteriological characteristics of water from the Narmada River (India) using multivariate analysis,” *Nat. Resour. Res.*, 22, 283–296.
- Shrestha, S., & Kazama, F. (2007). “Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the fuji river basin, Japan”

Environ. Model. Softw., 22, 464–475.

Shybanova, A., Pohrebennyk, V., & Mitryasova, O. (2016). “Wastewater treatment of company “Ternopil milk plant”. In *Water security: Monograph*. Mukolaiv: PMBSNU – Bristol: UWE, Editors: prof. Olena Mitryasova, prof. Chad Staddon. 227-241.

Staddon C. (2016). *Managing Europe’s Water Resoirces: Twenty-first Century Challenges*, UK, University of the West of England.

Васенко, О. Г., Рибалова, О. В., & Коробкова, Г. В. (2017). “Экологическое нормирование качества поверхностных вод с учетом региональных особенностей”. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1 (44), 21-33.

Погребенник, В. Д., Шибанова, А. М., & Політило, Р. В. (2016). *Гідроекологія: навч. посібник*, Львів: Видавництво Львівської політехніки».

ІНДИКАТОРНА ОЦІНКА ВПЛИВУ УРБАНІЗАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ НА СТАН ПРИРОДНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

Васютинська К.А., Одеський національний політехнічний університет, к.х.н.,
доцент, доцент кафедри прикладної екології та
гідрогазодинаміки, м. Одеса, Україна

Барбашев С.В., Одеський національний політехнічний університет, д.т.н.,
професор, професор кафедри атомних станцій, м. Одеса,
Україна

Abstract

The article is devoted to the development of a methodology for assessment the hazards of emergencies in the conditions of urbanization in the Ukraine regions. The main aim of the article was to develop and to apply an indicator method for analysis of regional features of the emergency dynamics and individual risks in link of the nature of urbanization processes. The work solved the problem of determination and evaluation of the integral indicators of the urbogenic load of regions, which are based on fundamental environmental laws. It was shown that insufficient knowledge of the impact of urbanization processes on the dynamics of emergencies situations reduced the efficiency of the safety management at the regional and state level. The ecological urbanization which determines the sustainability of natural systems is emphases among the various components of the urbanization process. The index of ecological-demographic urbanization was proposed and calculated by means of the indicator of real urbanization and the indicator of ecological urbanization. The indicators of the number of emergencies of natural and man-made origin and individual risks to the population for the period 2010 – 2019 were calculated and normalized. The Ukraine regions were differentiated by the frequency of natural and man-made hazards into 4 groups. The regions with increased level of the frequency of emergencies of

technogenic nature according to the high urbanization were differentiated. The assessment of the citizens' individual risks to die in an area of a single emergency was carried out. We analyzed the relation between individual risk and the index of ecological and demographic urbanization and concluded that the high level of correlation between these indicators was noted in the range of average and above average level of urbanization index. The rise of the urbogenic load causes an dramatically increase in the individual risks , regardless of the emergencies frequency

Вступ

Стихійні природні та антропогенні катастрофи протягом всієї історії людства забирали життя, завдавали матеріальні та фінансові втрати, створювали широкомасштабні проблеми на територіях різних країн та континентів. До сих пір ніякі наукові чи технічні досягнення не можуть повноцінно захистити людину та місця її проживання від наслідків надзвичайних ситуацій будь-якого генезису.

Урбанізація, яка за останнє сторіччя стала основним трендом розвитку світу, тільки підсилила негативні зміни навколишнього середовища. Зростаюча агресивність довкілля, втрата сталості урбанізованими територіями, які все більше захоплюють природні ландшафти, обумовлюють підсилення гостроти проявів небезпечних процесів та явищ. Висока щільність населення, яке проживає в районах розміщення небезпечних об'єктів техносфери чи на територіях з високим ризиком природних лих, роблять міста більш уразливими для різних небезпек з широкомасштабними наслідками.

Здатність протистояти викликам, обумовленими надзвичайними ситуаціями (НС), захистити населення, підвищити безпеку міст з оточуючими територіями безпосередньо залежить від ефективності та надійності всієї системи прогнозування катастрофічних подій, попередження і мінімізації наслідків. Натомість, існуючі заходи щодо забезпечення екологічної безпеки

окремих адміністративно-територіальних одиниць (АТО), країни в цілому, практично не враховують динамічні зміни, зумовлені урбанізаційними процесами, екстенсивний розвиток міст та поглинання територій, які мають визначальне значення для екологічного балансу.

Актуальним напрямом вирішення проблеми є врахування чинників урбанізаційного процесу для вивчення основних закономірностей проявів надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження, що формують рівень екологічної небезпеки регіонів та представляють основу розробки інструментів управління територіальними та індивідуальними ризиками.

Мета – розроблення та застосування індикаторного методу проведення аналізу регіональних особливостей динаміки виникнення надзвичайних ситуацій різного генезису та індивідуальних ризиків населення в залежності від характеру урбанізаційних процесів.

В рамках означеної мети **завдання** дослідження наступні:

- визначення та розрахунок інтегральних показників урбогенної насиченості регіонів України;
- проведення комплексної оцінки впливу екологічних аспектів урбанізації на показники небезпек надзвичайних ситуацій адміністративних областей.

Наукова **новизна** дослідження обумовлена розробленням методологічних основ врахування впливу чинників урбанізації на характер проявів техногенних та природних небезпек та їх наслідки для населення регіонів країни на основі кількісних показників, які характеризують еколого-демографічні особливості урбанізаційного процесу.

Методи дослідження

В дослідженні використані методи статистичного та графічно-аналітичного аналізу. В якості емпіричної бази використані статистичні дані за означені періоди часу (Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy 2020; Publikatsiia

dokumentiv Ministerstva finansiv Ukrainy, 2020). Загальні та регіональні показники екологічної безпеки розраховані на основі даних з щорічників «Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні» за періоди до 2018 року (Ministry of Emergencies of Ukraine, 2020), та дані Інформаційно-аналітичної довідки про виникнення надзвичайних ситуацій в Україні у 2019 році (Derzhavna sluzhba nadzvychainykh sytuatsii v Ukraini, 2019). Вихідні дані для розрахунку показників урбанізації та показників небезпек були нормалізовані за алгоритмом, наведеним авторами в роботі (Vasutynska & Barbashev, 2018). Графічний аналіз виконувався із застосуванням програмного забезпечення MS Office Excel.

Виклад основного матеріалу

1. Характер небезпек виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження в міському просторі

Сила міст як соціально-економічних, технологічно-промислових, культурних центрів має свої недоліки. Основні джерела екологічних ризиків в містах, в цілому, обумовлені наступними чинниками:

- зростання чисельності та щільне проживання населення;
- зростаюча залежність образу життя та праці від складних систем інфраструктури і послуг;
- промисловий розвиток, збільшення та концентрація в межах селітебних територій небезпечних об'єктів промисловості, транспорту, енергетики;
- розширення забудованих земель на території з високою ймовірністю стихійних лих;
- посилення ролі міст як осередків кліматичних змін;
- будівництво житла в районах, схильних до небезпечних геодинамічних процесів;
- недоліки міського планування, безсистемна забудова багатоповерхівками, використання неякісних будівельних матеріалів;

- стресові фактори міського простору, накопичення забруднюючих речовин, надмірне споживання ресурсів;
- соціальна напруженість, бідність, інші соціальні виклики, які пов'язані із міським образом життя.

Сьогодні урбанізація є всеохоплюючим процесом, який впливає на всі сторони життя. Тож, в світовій науці існують різні напрямки дослідження причин та наслідків зростання природних та техногенних загроз на урбанізованих територіях. Найбільш широко використовуються геоінформаційні технології для вивчення таких негативних процесів та катастрофічних подій, як зсуви (Cui et al., 2019), карстові процеси (Gutiérrez, Parise, De Waele & Jourde, 2014), повені (Bathrellos, Karymbalis, Skilodimou, Gaki-Papanastassiou & Baltas, 2016), землетруси (Kalman Šipoš & Hadzima-Nyarko, 2017). Актуальні дослідження, викладені в роботах (PRESS-RELYZ Mezhravytelstvennoi hruppy ekspertov po yzmenenyiu klymata, 2018; Zhou, Wu, Xu & Fujita, 2018), присвячені вивченню зв'язків між урбогенними змінами клімату та ініціацією стихійних лих разом з підвищенням вразливості міського населення.

Розроблення інструментів виявлення, оцінки та управління екологічними ризиками в містах, як показано в роботах (Sterzel et al., 2020), (Tang, Wang, Li & Zhao, 2018), проводиться в напрямку впровадження політики безпеки, оптимізації структур менеджменту, підвищення готовності до стихійних лих.

В Україні широко досліджені закономірності проявів надзвичайних ситуацій (НС) (Kolesnik, Borysovs'ka, Pavlychenko & Shirin, 2017; Tiutiunyk, 2015; Ivanets, 2016; Ivanets & Tolkunov, 2018; Vasutynska & Barbashev, 2017), в основному, аналітичними методами. Так, оцінка інтенсивності виникнення НС в областях України проведена методом векторно-статистичного аналізу (Tiutiunyk, 2015), для оцінки ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального походження в адміністративних областях України застосований статистичний аналіз (Ivanets, 2016). Із урахуванням потенційних

регіональних ризиків запропонована комплексна модель моніторингу та забезпечення ліквідації наслідків НС (Ivanets & Tolkunov, 2018). Авторами означених робіт відзначалось зменшення загальної кількості надзвичайних ситуацій, а авторами роботи (Kolesnik et al., 2017) встановлене 1,3-кратне перевищення техногенних загроз над природними в більшості регіонів країни.

Але, необхідно зауважити, що причини стійкого зменшення числа НС як техногенного, так й природного походження не знайшли пояснення в означених роботах.

На думку авторів, представлений в роботі (Vasutynska & Barbashev, 2017) аналіз методів ранжування регіонів України за рівнями екологічної безпеки та станом навколишнього середовища показав розбіжність оцінок, отриманих методами індексних та ризикових показників. В переважній більшості, безпекові рейтинги адміністративних областей не враховують вклад міських систем у формування загального стану екологічної небезпеки. В загальному випадку, недостатня вивченість впливу урбанізаційних процесів на динаміку надзвичайних ситуацій суперечить принципам організації безпекових заходів на регіональному рівні та знижує ефективність управління екологічною безпекою на рівні держави.

2. Характер сполучення динаміки показників природної та техногенної небезпеки за період 1997 – 2017 роки та демографічними змінами, що відображують характер урбанізаційних процесів в Україні

В попередніх дослідженнях, представлених в роботі (Vasutynska & Barbashev, 2018), охарактеризовані взаємозалежності між демографічними змінами, що відображують характер урбанізаційних процесів в Україні, та динамікою показників природної та техногенної небезпеки за період 1997 – 2017 роки.

Зазначимо, що характер урбанізації в Україні різко відрізняється від аналогічних процесів в світі тим, що відбувається на тлі різкого скорочення не

тільки загального, алей й міського населення. На рис. 1 представлена уточнена за статистичними даними (Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2020) діаграма змін щільності населення та рівня урбанізації, який вимірюється відсотком міського населення. Для коректного порівняння показники урбанізації (Urb) та щільності населення (D) розраховані в нормалізованому вигляді.

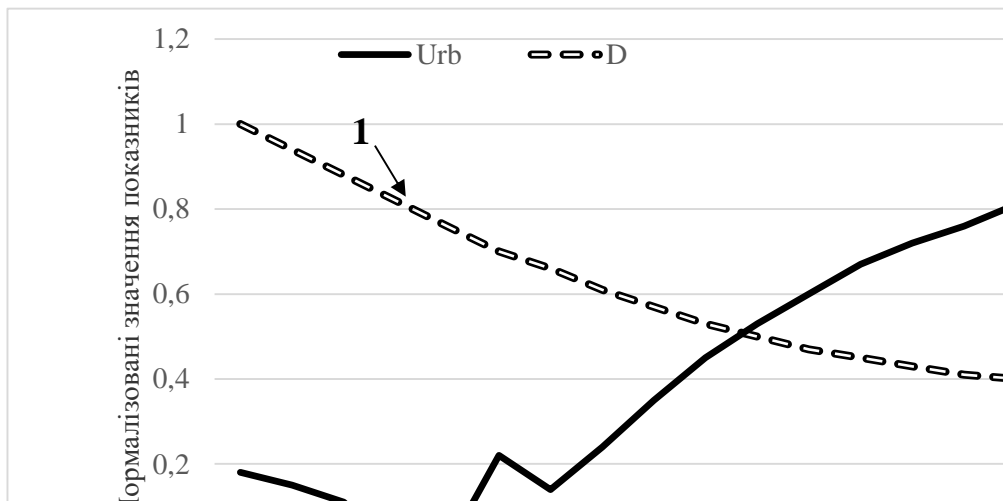


Рис. 1. Динамічні зміни параметрів рівня урбанізації та щільності населення за період 1997 – 2019 роки: 1 – нормалізований показник рівня урбанізації (Urb); 2 – нормалізований показник щільності населення (D)

З одного боку, урбанізація призвела до збільшення вразливості населення до небезпек природного чи техногенного походження, що демонструє зростання матеріальних збитків від катастрофічних подій протягом всього періоду часу за даними (Ministry of Emergencies of Ukraine, 2020). Але, стрімке падіння щільності населення (D), в тому числі, міського, є вагомим чинником зменшення загального числа надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження за розглянутий період часу. Цей факт підтверджується визначенням функціональної залежності нормалізованого показника числа НС від показника (D) за означений період (рис. 2).

Протилежна тенденція ліній тренду показників Z_t і Z_{nt} в області високої щільності населення та більш високий рівень кореляції лінії тренду показника Z_{nt} свідчать про вплив соціального фактору, що необхідно враховувати при організації рятувних заходів в місцях підвищеної концентрації населення.

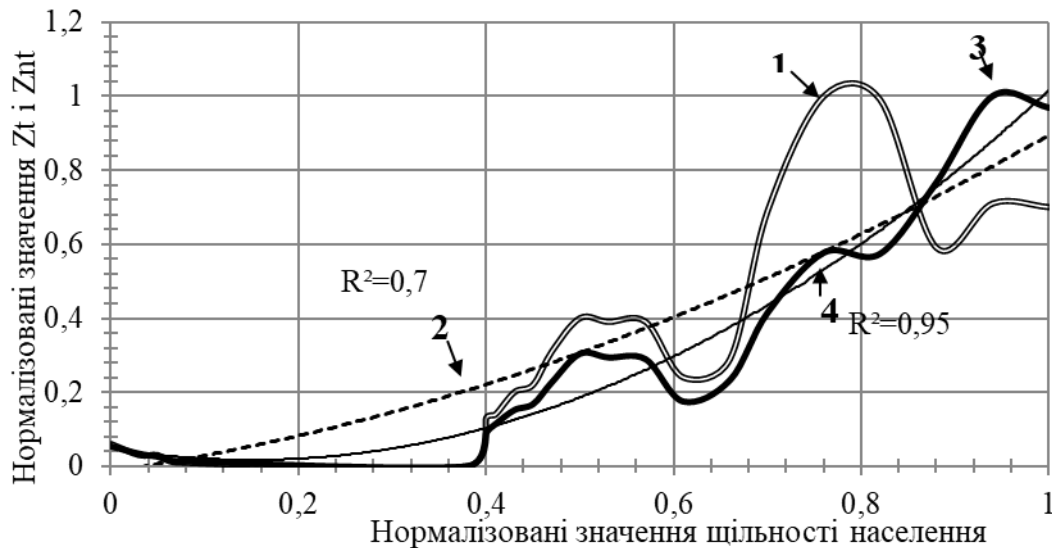


Рис. 2. Функціональна залежність числа надзвичайних ситуацій від щільності населення за період 1997 – 2017 роки: 1 – нормалізований показник загальної кількості надзвичайних ситуацій (Z_t); 2 – лінія тренду показника Z_t ; 3 – нормалізований показник суми надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження (Z_{nt}); 4 – лінія тренду показника Z_{nt}

Проведений ризик-аналіз за період 1997 – 2017 роки також виявив тенденцію падіння показників індивідуального ризику загибелі (R_i) та ризику постраждати від НС будь-якого походження (R_t) відповідно зменшенню чисельності та щільності населення за роками (рис. 3). Протилежний характер трендів в області дуже малих ($< 0,05$) та дуже великих ($> 0,85$) значень щільності населення, різний рівень кореляції ризиків від параметру D свідчать про складний та неоднозначний характер впливу демографічних та урбанізаційних процесів на показники небезпек. Сукупність об'єктивних та суб'єктивних факторів формує ризику НС, тому вразливість міст до стихійних лих і техногенних катастроф може суттєво відрізнятися між собою та від загальнонаціонального рівня

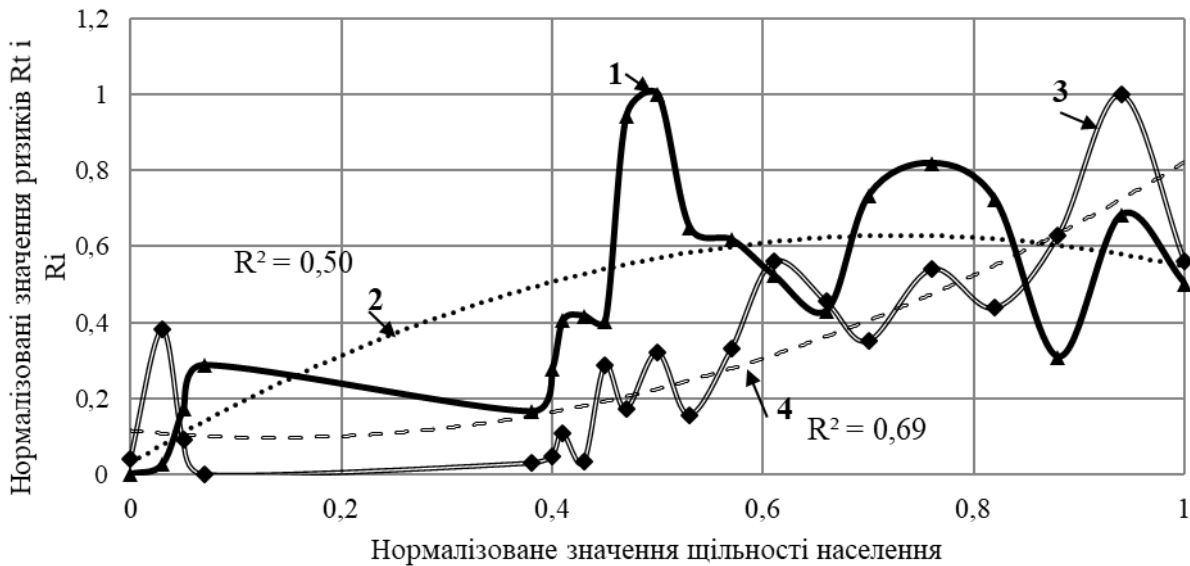


Рис. 3. Функціональна залежність ризиків від щільності населення за період 1997–2017 роки:

- 1 – нормалізований показник індивідуального ризику (R_i); 2 – лінія тренду показника R_i ;
 3 – нормалізований показник ризику постраждати та загинути в зоні надзвичайної ситуації (R_t); 4 – лінія тренду показника R_t

Ризик-аналіз, проведений для оцінки динаміки пожеж техногенного походження за період 1999 – 2017 роки та висвітлений в роботі (Vasutynska & Barbashev, 2018), також показав залежність показників небезпек техногенних пожеж від демографічних чинників. Зростання питомих показників кількості пожеж загалом, та в міських системах пояснено об'єктивно високими ризиками техногенно-урбогенного довкілля та суб'єктивними чинниками людського фактору.

Зазначимо, що за статистичними даними (Derzhavna sluzhba nadzvychainykh sytuatsii v Ukraini, 2019) в 2019 показники небезпек виникнення НС зросли практично у всіх адміністративних областях, в цілому по країні кількість НС у порівнянні з 2018 роком зросла в 1,14 разів, причому число НС техногенного походження збільшилось на чверть. Техногенні пожежі, як і раніше, викликають найбільш масштабні негативні наслідки як за матеріальними втратами, так й за людськими жертвами. Наприклад, тільки в Одеській області за 2019 рік в пожежах загинуло 36 людей.

Швидка зміна негативної динаміки виникнення НС на позитивну вказує на те, що характер впливу фактора урбанізації на основні показники екологічної небезпеки вивчений недостатньо. Природні лиха як і техногенні аварії, проявляють високу ступінь ймовірності, мають циклічний характер та вимагають проведення більш тривалих, ніж двадцятирічні, досліджень. Немаловажним є той факт, що впливи міст на навколишнє середовище не обов'язково є лінійними. Великі міські агломерації не завжди створюють більше екологічних проблем, ніж невеликі міські поселення. Практично не вирішеними залишаються питання аналізу ризиків НС, коли деструктивні процеси охоплюють території різних областей чи навіть країн.

Застосування традиційних демографічних показників рівня урбанізації обмежує визначення особливостей проявів надзвичайних ситуацій різного генезису в умовах зростаючого урбогенно-техногенного тиску.

Для вирішення проблеми кількісної оцінки впливу складних урбанізаційних процесів на частоту виникнення НС природного і техногенного походження та відповідні ризики населення доцільно застосовувати інтегральні показники урбанізації.

3 Розроблення індикаторного підходу для визначення особливостей урбанізаційного процесу

Підходи до системного аналізу показників небезпек різного генезису в умовах урбанізації ґрунтуються на розробленій та викладеній в роботах (Vasiutynska, 2020; Васютинська, Барбашев та Кімінчиджи, 2020) методології визначення інтегрального показнику урбогенності. Такий індикатор віддзеркалює комплекс взаємозалежних складових урбанізаційного процесу (рис. 4), які сумарно визначають екологічний стан територіальних систем. Дуалізм екологічної урбанізації (на схемі позначений подвійною стрілкою) полягає в наступному.



Рис. 4. Структурна схема складових урбанізаційного процесу (складене авторами):

→ – внесок складової в загальний урбанізаційний процес;

← – лімітуючий вплив екологічної урбанізації

З одного боку, місто здійснює прямий техногенно-урбогенний вплив на природні системи прилеглих територій, який порушує рівновагу системи «місто – навколишнє середовище». Як наслідок, за механізмом позитивної зворотної дії, деградоване довкілля викликає певну послідовність несприятливих явищ і процесів в міському середовищі, що збільшує загальний потенціал небезпек та їх негативні наслідки (Васютинська та ін., 2020). Одночасно зменшується якість та кількість природних ресурсів, придатних для використання, що стримує розвиток самих міст. Тож, міське середовище через деструктивні впливи на довкілля опосередковано продукує природні кордони свого подальшого розвитку.

На думку авторів, саме екологічна урбанізація через обмеження сировинних, енергетичних, територіальних ресурсів лімітує соціально-економічний, науково-технічний розвиток суспільства. Ще більш важливим для поширення урбогенних територій є встановлення екологічних кордонів, обумовлених необхідністю зберегти поза антропогенним навантаженням частину екосистем, так званої «дикої природи», для збереження глобальної сталості територій.

Під екологічною урбанізацією автори статті розуміють визначену сукупність негативних процесів (деградацію і виснаження мінеральних ресурсів, зміни продуктивності та біорізноманіття екосистем, ландшафтні втрати, зміни природних циклів), яка визначає межі стійкості природних систем під тиском урбогенних-техногенних впливів. Екологічна урбанізація визначається масштабами міського простору (місто з прилеглими територіями, які знаходяться під його прямими та опосередкованими впливами), та залежить від чинників частки урбанізованої території та щільності міського населення, яке впливає на інтенсивність використання природно-ресурсного потенціалу, а також визначає характер землекористування.

Індикатор екологічної урбанізації ($I_{ec.urb}$) був розрахований як лінійна комбінація нормалізованих показників щільності урбанізованого населення ($\rho_{pop.urb}$) і частки території, зайнятої міськими населеними пунктами (S_{urb}) від загальної площі регіону, взятих з рівними ваговими коефіцієнтами у відповідність з методологією (Vasutynska & Barbashev, 2018). Представлений в роботі (Васютинська та ін., 2020) аналіз регіонів України за діапазонами індикатору $I_{ec.urb}$ дозволив впорядкувати адміністративні території різного функціонального призначення і різного ступеню агрегації населення за рівнем урбогенної насиченості. Індикаторний метод також був застосований для встановлення урбогенного характеру небезпеки створення дефіциту водних ресурсів в областях України (Holts, 2002).

Але необхідно враховувати той факт, що обрані показники не можуть дати повну картину всіх екологічних проблем, пов'язаних із зростанням і розвитком міст. Хоча індикатор екологічної урбанізації визначає ключові тенденції, проте являє тільки перший крок у створенні більш комплексних індексів, здатних вимірювати екологічну стійкість території по відношенню до руйнівних процесів природного та техногенного походження.

В цьому напрямку дуже важливо розглянути регіональні урбанізаційні процеси через систему розселення у великих, середніх, малих містах та мегаполісах.

Відмінність України від інших високоурбанізованих країн Україна не обмежується стрімким зменшення чисельності населення, в тому числі міського (падіння в 1,33 разів всього населення та в 1,2 рази міського (Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2020; Publikatsiia dokumentiv Ministerstva finansiv Ukrainy, 2020)).

Регіональна диференціація швидкості та інтенсивності урбанізаційних процесів призвела до значних відмінностей між областями не тільки за рівнем урбанізації (від 37 % для Закарпатської області до 90 % для Донецької області). Адміністративно-територіальні одиниці відрізняються кількістю малих, середніх і великих міст, які займають лише 3 % загальної площі країни та нерівномірно розподілені за областями. Параметри щільності міських жителів не збігаються з рівнем урбанізації.

Тож, для оцінки демографічної складової урбанізаційного процесу із врахуванням систем розселення мешканців різних регіонів був застосований показник реальної урбанізації ($I_{\text{реальн.урб}}$), запропонований Г. Гольцем (Holts, 2002) та розглянутий для груп областей України в роботі (Vasutynska & Barbashev, 2018). Індикатор реальної урбанізації розрахований за наступною формулою:

$$I_{\text{реальн.урб}} = \sqrt[4]{X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4},$$

де:

X_1 – частка міського населення в загальному населенні регіону (рівень урбанізації регіону);

X_2 – частка міських поселень у загальній кількості поселень;

X_3 – частка міст з населенням більше 50 тис. у міському населенні;

X_4 – частка міст у загальній кількості міських поселень.

Параметри X_1 , X_2 , X_3 , X_4 були розраховані на основі статистичних даних (Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2020; Publikatsiia dokumentiv Ministerstva finansiv Ukrainy, 2020), а значення показника $I_{\text{реальн.урб}}$ нормалізовано за стандартною процедурою.

На основі лінійної комбінації індикаторів реальної та екологічної урбанізації із рівними ваговими коефіцієнтами розрахований комплексний індекс еколого-демографічної урбанізації (I_{edu}), значення якого у порівнянні із нормалізованим показником рівня демографічної урбанізації для регіонів країни представлено на діаграмі рис. 5.

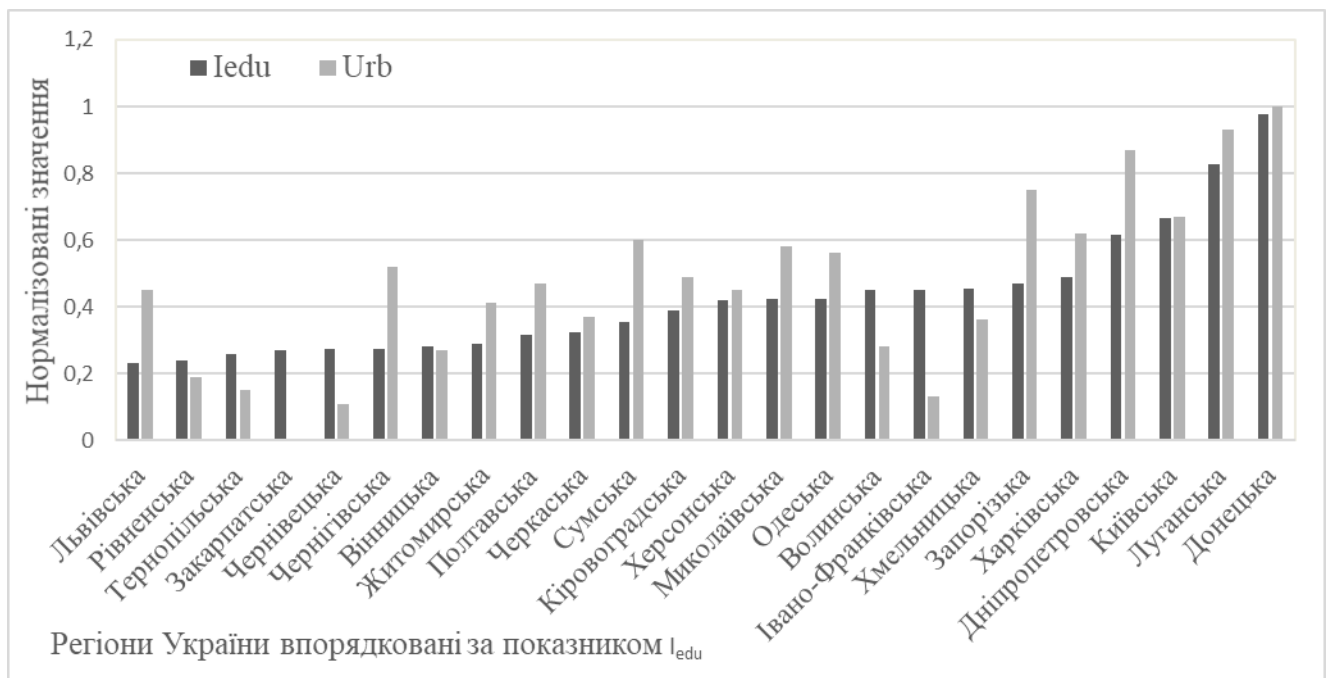


Рис. 5. Значення індексу еколого-демографічної урбанізації у співвідношенні до рівня демографічної урбанізації в регіонах України

Тож, інтегральний показник, індекс еколого-демографічної урбанізації, враховує суттєві чинники урбанізаційних процесів, які впливають на вразливість урбанізованих територій до небезпек різного генезису.

Відмітимо також, що в розрахунках всіх вищезначених показників місто Київ розглядалось не як окрема адміністративна одиниця, а в складі Київської області, що є умовою врахування впливу мегаполісу на прилеглі території.

4. Дослідження впливу урбанізаційних процесів на характер проявів надзвичайних ситуацій та індивідуальні ризики населення в регіонах країни

Для дослідження впливу урбанізаційних процесів на формування рівня екологічної небезпеки адміністративних областей України були розраховані на основі статистичних даних (Ministry of Emergencies of Ukraine, 2020; Derzhavna sluzhba nadzvychainykh sytuatsii v Ukraini, 2019) та нормалізовані за стандартною процедурою показники кількості НС природного (показник $HC_{п'}$) та техногенного (показник $HC_{т'}$) походження за період 2010 – 2019 роки.

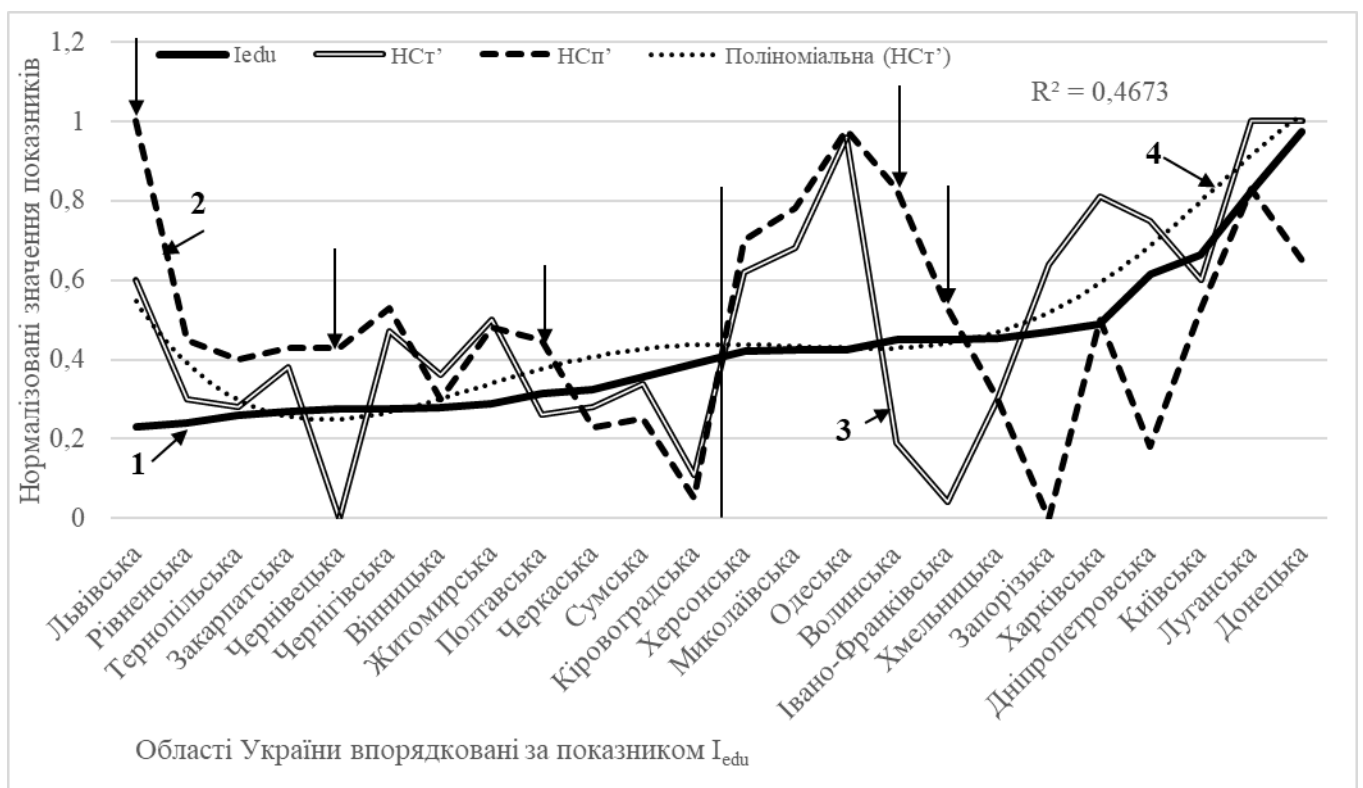


Рис. 6. Залежність показників техногенної та природної небезпек від індексу еколого-демографічної урбанізації: 1 – індекс I_{edu} ;

2 – показник числа проявів НС природного походження ($HC_{п'}$);

3 – показник числа проявів НС техногенного походження ($HC_{т'}$);

4 – лінія тренду показнику $HC_{т'}$

Проведений аналіз співвідношення показників урбогенної насиченості регіонів та показників небезпек (рис. 6) показав наступні закономірності. За

характером прояву природних та техногенних небезпек можна виділити наступні групи областей:

I – Регіони з надвисоким рівнем стихійних лих: Львівська, Рівненська, Херсонська, Миколаївська, Одеська, Волинська, серед яких тільки Одеська область має приблизно рівний рівень природної та техногенної небезпеки.

II – Регіони з середнім рівнем показник HC_{II}' , проте який більше значення показника HC_{I}' , що порушує встановлені в роботах (Tiutiunyk, 2015; Ivanets, 2016; Ivanets & Tolkunov, 2018) закономірності щодо перевищення кількості HC техногенного походження над природними лихами. До групи II відносяться Чернівецька, Полтавська, Тернопільська, Івано-Франківська області.

Індекс еколого-демографічної урбанізації для областей групи I низький, але збільшується до середнього та вище середнього для областей групи II. Це може свідчити про наростання урбогенного впливу на території, особливо у випадку південних Одеської, Херсонської, Миколаївської областей, схильних до негативних екзогенних геологічних та гідрологічних процесів.

III – Регіони з низьким та середнім рівнем техногенної небезпеки. Групу складають численні області західної та центральної частин України з відповідно низьким та середнім значенням індексу еколого-демографічної урбанізації.

IV – Регіони з різко підвищеним рівнем частоти проявів HC техногенного походження та високими значеннями індексу I_{edu} , до яких відносяться Донецька, Луганська, Київська, Дніпропетровська, Харківська, Запорізька. Всі області характеризуються потужним промислово-енергетичним комплексом, в якому переважають вкрай небезпечні об'єкти важкої та видобувної промисловості, атомної енергетики. Господарський комплекс областей склався в умовах довготривалої урбанізації, яка не супроводжувалась інноваційно-технологічним прогресом, сучасним переоснащенням виробництва. Застарілі (чи зруйновані на тимчасово невідконтрольованих територіях Донецької та

Луганської області) об'єкти інфраструктури, промисловості, енергетики представляють реальні загрози масштабних техногенних аварій.

Із врахуванням індексу еколого-демографічної урбанізації проведена оцінка індивідуальних ризиків загибелі людини в зоні одиначної НС. Показник $R_{\text{інд}}$ розрахований за даними кількості загиблих в окремій області на 100 тис. населення за період 2009 – 2019 роки та нормалізований (показник $R_{\text{інд}}'$) за стандартною процедурою. Результати аналізу означених показників (рис. 7) дозволяють умовно виділити 3 групи областей за типом їх співвідношення.

До першої групи відносяться Львівська, Рівненська, Тернопільська, Закарпатська, Чернівецька, Чернігівська, Вінницька області, для яких низькі значення обох показників небезпек корелюються з таким же низьким рівнем урбогенного навантаження.

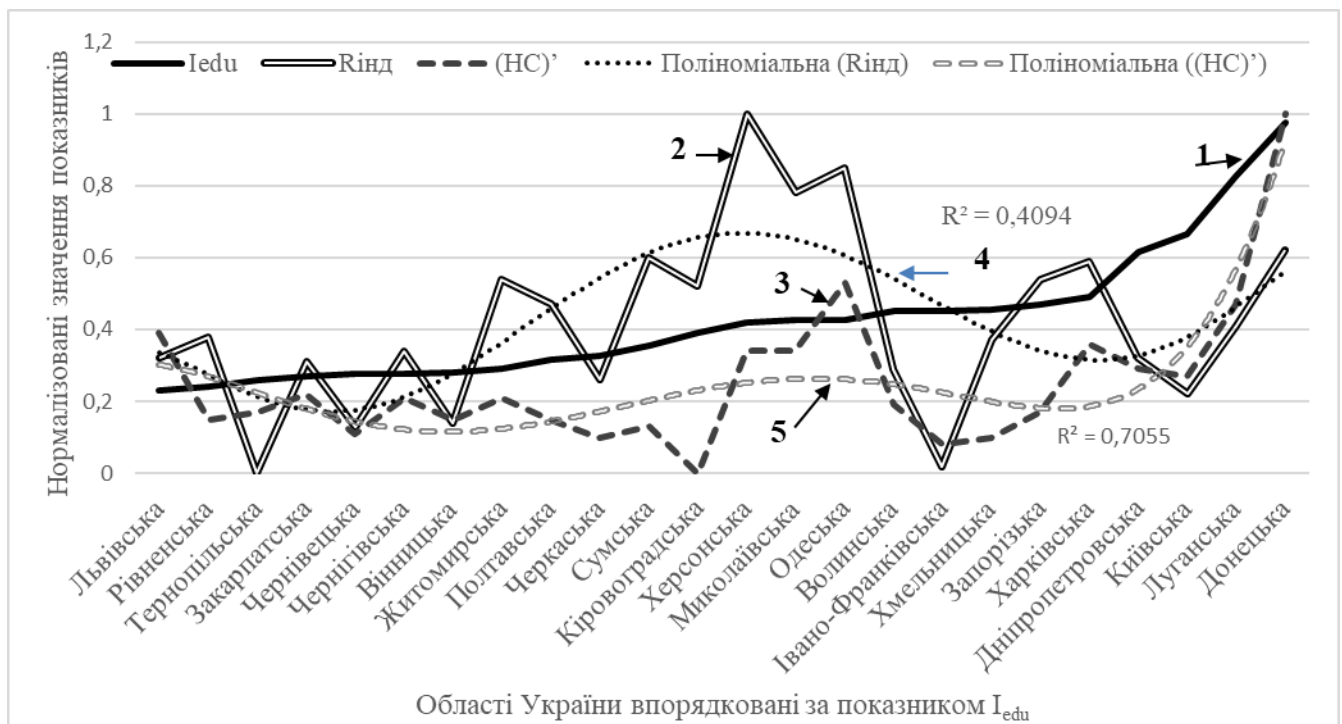


Рис. 7. Залежність нормалізованих показників індивідуальних ризиків загибелі при НС від індексу еколого-демографічної урбанізації: 1 – індекс I_{edu} ; 2 – показник індивідуального ризику $R_{\text{інд}}$; 3 – показник загальної кількості надзвичайних ситуацій (НС)'; 4 – поліноміальна лінія тренду показника $R_{\text{інд}}$; 5 – поліноміальна лінія тренду показника (НС)'

До другої групи відноситься широке коло областей (на графіку рис. 7 від Житомирської до Івано-Франківської області включно), які характеризуються

помірним зростанням індексу еколого-демографічної урбанізації, але чітким проявленням росту індивідуальних ризиків загибелі, що демонструє лінія тренду показника $R_{\text{інд}}'$. Натомість, показник загальної кількості НС збільшується вище середнього значення тільки у випадку південних Херсонської, Миколаївської, Одеської областей, і залишається на низькому рівні в інших областях. В Кіровоградській області набуває мінімального значення показник (НС)', а в Івано-Франківській – показник $R_{\text{інд}}'$.

Області найвищого рівня урбогенного навантаження (Дніпропетровська, Харківська, Запорізька, Донецька, Луганська) характеризуються схожою тенденцією зростання показників небезпек та урбогенного навантаження, а у випадку Луганської, Донецької областей практично повним співпадінням показників $R_{\text{інд}}'$, (НС)', з індексом еколого-демографічної урбанізації. Виключення складає високоурбанізована Київська область з помірними рівнями показників небезпек $R_{\text{інд}}'$ та (НС)', що, як правило, нетипово для мегаполісів. Також необхідно враховувати вплив соціально-політичних та військових факторів на підвищення рівня техногенної та природної небезпеки Донецької та Луганської областей.

Відмітимо, що проведений аналіз динаміки виникнення НС та індивідуальних ризиків населення показав достатній рівень кореляції з індексом еколого-демографічної урбанізації в разі областей низького та помірного рівня навантаження, при зростанні якого спостерігається ризьке збільшення індивідуальних ризиків населення, незалежного від частоти виникнення надзвичайних ситуацій.

Висновки

1. Охарактеризовані джерела екологічних ризиків в містах та напрямки дослідження причин та наслідків зростання природних та техногенних загроз на урбанізованих територіях. Показана недостатня вивченість впливу урбанізаційних процесів на динаміку надзвичайних ситуацій, що суперечить

принципам організації безпекових заходів на регіональному рівні та знижує ефективність управління екологічною безпекою на рівні держави.

2. Досліджені взаємозалежності між демографічними змінами, що відображують характер урбанізаційних процесів в Україні, та динамікою показників природної та техногенної небезпеки за період 1997 – 2017 роки. Обґрунтований той факт, що простежена тенденція зменшення кількості НС за роками скоріше обумовлені демографічним чинником скорочення щільності населення, який превалює над темпами урбанізації в країні, та не може однозначно свідчити про стан безпеки довкілля.

3. Серед різних складових урбанізаційного процесу виділена екологічна урбанізація, яка визначає сталість природних систем. Екологічна урбанізація визначена як чинник, що лімітує розвиток урбанізованих територій через обмеженість кількості та якості сировинних та територіальних ресурсів. На основі показника реальної урбанізації та індикатора екологічної урбанізації запропонований та розрахований індекс еколого-демографічної урбанізації.

4. Для дослідження впливу урбанізаційних процесів на формування рівня екологічної небезпеки адміністративних областей України розраховані нормалізовані показники кількості НС природного (показник $НС_{п'}$) та техногенного (показник $НС_{т'}$) походження за період 2010 – 2019 роки. Регіони України диференційовані за характером прояву природних та техногенних небезпек на 4 групи. Виділені регіони з різко підвищеним рівнем частоти проявів НС техногенного походження та високими значеннями індексу I_{edu} , що пояснюється відсутністю технологічного прогресу застарілого промислово-енергетичного комплексу з численними небезпечними об'єктами важкої та видобувної промисловості, атомної енергетики.

Із врахуванням індексу еколого-демографічної урбанізації проведена оцінка індивідуальних ризиків загибелі людини в зоні одиначної НС. Виділені 3 типи співвідношень показників. Достатньо високий рівень кореляції індивідуального ризику з індексом еколого-демографічної урбанізації

відмічений в діапазоні його малих та середніх значень. Зростання урбогенного навантаження викликає ризик збільшення індивідуальних ризиків населення, незалежного від частоти виникнення надзвичайних ситуацій.

Список літератури

- Bathrellos, G. D., Karymbalis, E., Skilodimou, H. D., Gaki-Papanastassiou, K., & Baltas, E. A. (2016). Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan city, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 75(4). doi:10.1007/s12665-015-5157-1
- Cui, Y., Cheng, D., Choi, C. E., Jin, W., Lei, Y., & Kargel, J. S. (2019). *The cost of rapid and haphazard urbanization: lessons learned from the Freetown landslide disaster*. Landslides. doi:10.1007/s10346-019-01167-x
- Derzhavna sluzhba nadzvychainykh sytuatsii v Ukraini (2019). *Pecypc: Informatsiino-analitychna dovidka pro vynyknennia NS v Ukraini uprodovzh 2019 r.* Retrieved from <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/103179.html> [Last accessed: 3.04. 2020]
- Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (2020) *Pecypc: Chyselnist naiavnoho naseleattia Ukrainy na 1 sichnia 2020 r.: Statystychnyi zbirnyk*. Kyiv, 82. Retrieved from http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2020/zb_chuselnist%202019.pdf [Last accessed: 2.10. 2020]
- Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (2020): Kompleksni statystychni publikatsii. Retrieved from http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm [Last accessed: 14.10. 2020]
- Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J., & Jourde, H. (2014). A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, 138, 61–88. doi:10.1016/j.earscirev.2014.08.002
- Holts, H. A. (2002). *Kultura y ekonomyka Rossyy za try veka*. Novosybrsk: Sybyrskiy khronohraf.

- Ivanets, H. V., & Tolkunov, I. (2018). Kompleksna model prohnouzuvannia zbytkiv vnaslidok nadzvychnykh sytuatsii v derzhavi. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zbirnyk naukovykh prats. Poltava: PNTU. 6 (52). 68–73. doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.6.068.*
- Ivanets, H. V. (2016). Analiz stanu tekhnohennoi, pryrodnoi ta sotsialnoi nebezpeky administratyvno-terytorialnykh odynts Ukrainy na osnovi danykh monitorynhu. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl. 3(48), 142–145. Retrieved from http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17032 [Last accessed: 21.09. 2020]*
- Kalman Šipoš, T., & Hadzima-Nyarko, M. (2017). Rapid seismic risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 24, 348–360. doi:10.1016/j.ijdr.2017.06.025*
- Kolesnik, V. Ye., Borysovs'ka, O. O., Pavlychenko, A. V., & Shirin, A. L. (2017). Determination of the trends and regularities of occurrence of emergency situations of technogenic and natural character in Ukraine. *Науковий вісник НГУ. 6, 124–131.*
- Ресурс: Ministry of Emergencies of Ukraine. Retrieved from: https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v--Ukrayini-za-2015-rik.html [Last accessed: 4.10. 2020]*
- Ресурс: PRESS-RELYZ Mezhravytelstvennoi hruppy ekspertov po yzmeneniyu klymata. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_ru.pdf [Last accessed: 12.05. 2020]*
- Ресурс: Publikatsiia dokumentiv Ministerstva finansiv Ukrainy. Retrieved from https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/town/ [Last accessed: 1.10. 2020]*

- Sterzel, T., Lüdeke, M. K. B., Walther, C., Kok, M. T., Sietz, D., & Lucas, P. L. (2020). Typology of coastal urban vulnerability under rapid urbanization. *PLOS ONE*. *15*(1), 1-24. doi:10.1371/journal.pone.0220936.
- Tang, L., Wang, L., Li, Q., & Zhao, J. (2018). A framework designation for the assessment of urban ecological risks. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, *25*(5), 387–395. doi:10.1080/13504509.2018.1434570
- Tiutiunyk, V. V. (2015). Otsinka vidnosnoi intensyvnosti mizh nadzvychainymy sytuatsiiamy pryrodnoho ta tekhnohennoho kharakteru v rehionakh Ukrainy. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*. 21, 112–120. Retrieved from <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Tiutiunik.pdf> [Last accessed: 2.06. 2020]
- Vasiutynska, K. A., Barbashev, S. V., & Kiminchydzhy, M. I. (12–15 liutoho 2020 roku). Ekolohichna otsinka urbohennosti rehioniv Ukrainy. / *Stalyi rozvytok – stan ta perspektyvy: materialy II Mizhnarodnoho naukovooho sympoziumu SDEV'2020*. Lviv, Ukraina. Retrieved from http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2019/19110/importantdoc/sdev2020proceedings_1.pdf
- Vasutynska, K., & Barbashev, S. (2018). Analysis of dynamics of man-made fires in conditions of urbanization in Ukraine. *Technology Audit and Production Reserves*. № 4/3 (42), 16-23. doi: 10.15587/2312-8372.2018.141376.
- Vasutynska, K. A., & Barbashev, S. V. (2017). The analysis of the principles and methods evaluation of environmental safety levels in regional context. *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*. № 3(53), 114–121.
- Vasutynska, K. A., & Barbashev, S. V. (2018). Analysis of urbanization impact on the dynamics of emergencies and risks for population in Ukraine. *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*. 2 (55). 137–144.

Zhou, L., Wu, X., Xu, Z., & Fujita, H. (2018). Emergency decision making for natural disasters: An overview. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 27. 567–576. doi: 10.1016/j.ijdrr.2017.09.037.

Васютинська, К. А., Барбашев, С. В., & Кімінчиджи, М. І. (2020). Оцінка комплексного показника екологічної урбанізації регіонів України. *Екологічні науки*. 3 (30). 7–14. doi: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.1>

RELIABILITY AND ROBUSTNESS OF ENVIRONMENTAL MONITORING COMPLEX GEOENGINEERING SYSTEMS

Yeremeyev I., Taurida National V.I. Vernadsky University, Dr. Sci., Tech., Prof.,
Ukraine

Dychko A., National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute", Dr. Sci., Tech., Prof., Ukraine

Abstract

The present paper provides the ways of reliability ensuring to increase the accuracy, efficiency and functional flexibility of the complex environmental monitoring systems. They are based on data mining methods and may be implemented with the help of intellectual technologies, including methods of robustness ensuring for success in decision making in environmental safety. Reliability characterizes the system's ability to steady execute all main functions and assure the formulated aims delivered by designers under real conditions and in limits of predicted disturbances of environment's parameters and in extremal situations.

It is proposed to use structural, procedural and informational redundancy or their combination to ensure robustness of complex environmental monitoring systems. The methods of data mining technologies include the task of deviations identification with the detection and analysis of patterns which the most distinguish themselves from general data array. Such unrepresentative patterns are characterized by the data with plenitude of the power, heterogeneity (quantitative, qualitative, textual), specific and understandable results. It is shown that the properties of neural networks allow to form and dynamically reformat alternative control systems according to variations of external factors, requirements to systems, as well as connections with other systems and subsystems, providing a high level of reliability and robustness of control systems.

Introduction

Recently special attention is paid to the creation of automated environmental monitoring systems, which task is to collect and process data for management, diagnostics and planning. With the creation of the nuclear industry and the emergence of nuclear power plants, a new component of monitoring has also arisen - radiation monitoring. The development of all types of monitoring occurred and takes place in close connection with the development of control, means of processing, storing, transmitting, interpreting and displaying information. In this case, the following qualities such as the observation of an object (the existence of objective conditions for the determination or prediction of its state of affairs based on available relevant data) are of great importance, and the fundamental ability to identify the observed state (the ability to correlate this state with whether another standard analogue for the purpose of using the appropriate "menu" of recommendations during the process and decision-making).

The environmental monitoring complex systems (EMCS) should operate under extremal conditions by means of adaptation to operative environment, working structure and behavior standards (Dhillon, 2002; Dychko et al., 2020). In other words EMCS must be robust. It means, that EMCS are capable gradually (regardless of various soft or structure faults) to change the intrinsic performance in acceptable boundaries. The main operation functions are considered as admissible and their performability is satisfactory when the system remains in predicted extent or goes over to another legitimated predicted extent. This transition is transfer to alternative deviation – eventual way to implementation of installation-specific activity (Tai, Alkalai & Chau, 1999).

The aim of the research is ensuring of trouble-free EMCS functioning under real conditions with robustness providing.

Robustness of monitoring systems

In itself the robustness should be provided by feature of EMCS with structural and informational redundancy to variate its pattern for the sake of follow-on intrinsic functions or seeking the alternative algorithmic and heuristic deviations for appropriate operation when the standard procedures are unfeasible or the base structure is disturbed. In these processes the seeking of admissible deviations, i.e. reasonable structural or/and algorithmic changeovers in limits of legitimate EMCS operation, is the responsible task. Deviation is a quality estimation of geoengineering system behavior conformity under internal and external parameters variations as well as structural and separate subsystem's malfunctions. This estimation must be an answer about EMCS behavior: whether the system in general operates in scope of common sense and operation requirements and capable to perform inherent tasks.

Ensuring of trouble-free EMCS functioning under real conditions is illustrated in Fig.1. Reliability characterizes the geoengineering system's ability to steady (i.e. without malfunctions and essential performance characteristic's alteration) execute all main functions and assure the formulated aims delivered by designers under real conditions and in limits of predicted disturbances of environment's parameters and even in extremal situations.

Here the next varieties of reabilities are considered:

- *Constructive*, i.e. ability to resist against physical, mechanical, chemical, environmental external influences (in pre-established bounds and time intervals), which are possible during system operation at all living cycle or during storage in nonactivation.

- *In time*, i.e. ability to regular operating over a period specified as life-time cycle.

- *Static*, i.e. ability to preserve their functioning in working bounds during the all life-time cycle or during storage in nonactivation.

- *Dynamic*, i.e. ability to maintain their functioning along all life-time cycle disregard of unsteady-state processes and external disturbances during operations.

- *Statistical*, i.e. ability to keep up system statistical characteristics in bounds of confidence intervals along the system's life-time cycle.

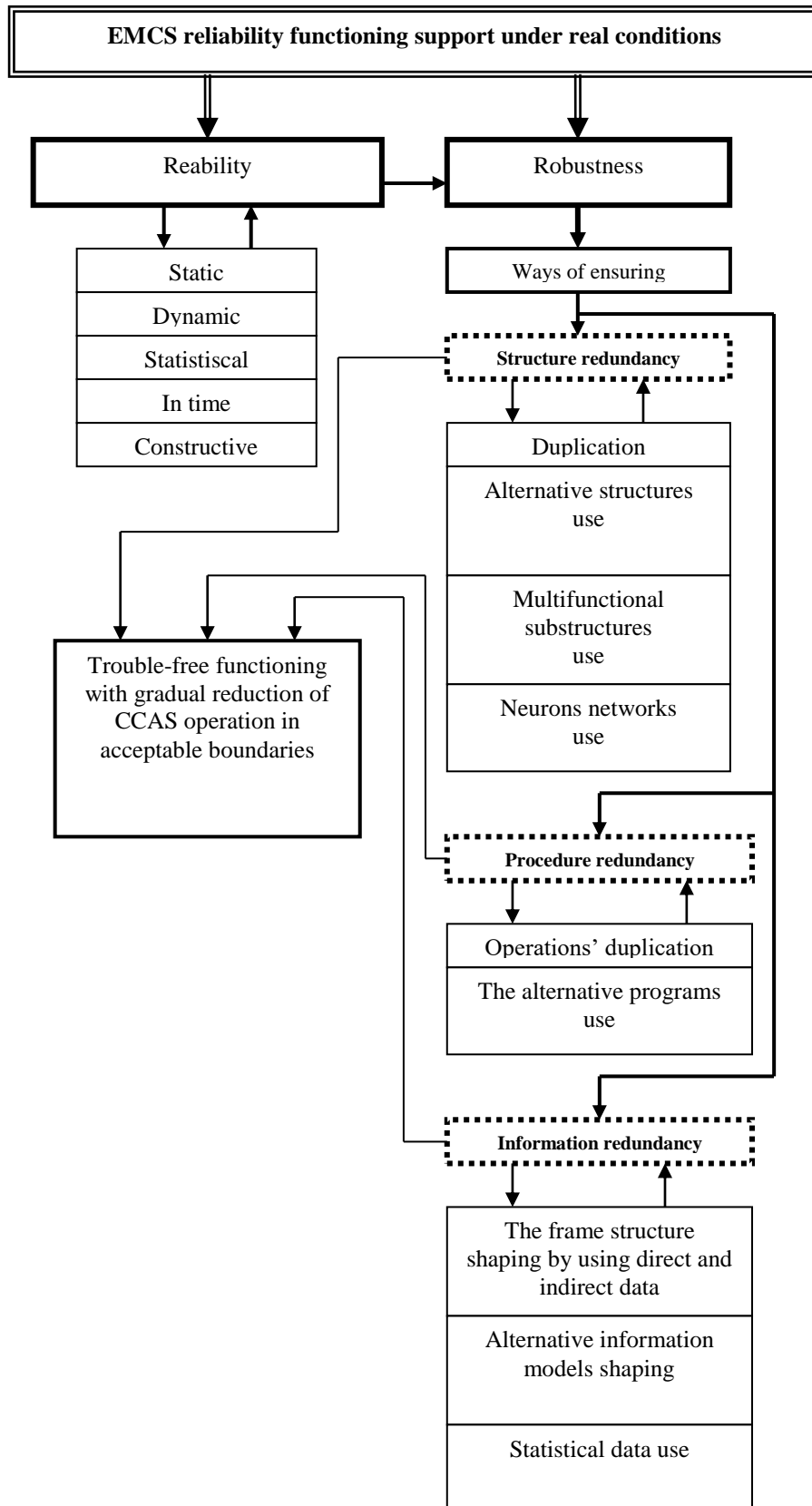


Fig. 1. Ensuring of trouble-free EMCS functioning under real conditions

Robustness (Cardinaels, 2018; Sussman, 2008; Arlat, Kanoun & Laprie, 1990) as it's stated above characterizes the EMCS facility of keeping its feature invariable along the specified time. After this time such characteristics may gradually deteriorate but with a decrease in quality of operation within predefined limits (by reducing dynamic and static accuracy, increasing response time, increasing transient intervals, reducing possible additional functions, performance/cost metrics, etc.).

There are the following ways of robustness assurance:

- Structural redundancy;
- Procedural redundancy;
- Informational redundancy;
- Combination of the all or some of above mentioned redundancies.

Structural redundancy presumes the duplicating structures utilization while each of them is capable to realize all the necessary procedures and control actions inherent to EMCS.

There are the following ways of using duplicating structures:

- Simultaneous functioning of the two (or three and more) structures (dynamic or “hot” backup) with their activity results analysis and the structure of fault occurred deactivating if the specified of wrong operation is detected;
- One of structures is operating when the other one is in standby reserve and shall be activated only after the failure of the currently operating structure is detected.

Every of mentioned ways of duplicating has intrinsic preferences and limitations.

Generalizing the problem of structural redundancy, it should be emphasized that it implies the introduction into the system of additional equipment, structured in such way that even in case of failure of a certain part of the system equipment, the system will continue to function successfully.

The simplest example of structural redundancy is the hardware duplicating and use in standby reserve either in dynamic or “hot” backup. In the first variant the one hardware is operating but the second one is idle or on maintenance prevention. In the

second variant the both hardware operate simultaneously and supplementary monitoring hardware analyzes the operation of both complexes and makes a decision about what complex generates the more reliable information. Each mode has the positive and negative distinguishing features. For example, the duplicating structure with standby reserve is developed in such way that after predetermined time of operation t_{rsb} when the probability of trouble-free operation

$$R = e^{-t_{rsb}/m} \frac{1 + t_{rsb}}{m}$$

(where m – trouble-free life) exceeds a certain set threshold, it is realized the transition to operating reserve set and the operated hardware is put on prevention for a time t_{mp} , during which the troubleshooting operations are carry out. It is the essential fulfillment of the condition $t_{stb} > t_{mp}$ while the more $\Delta t = t_{stb} - t_{mp}$ then the system's fault-tolerance is better. If the operating complex fails the standby reserve complex should be activated (if the last one isn't on prevention). This duplication approach is easy-to-work and requires the minimum of redundant hardware. But in case of failure and the need to switch to a backup set it is a loss of time connected with procedures for switching units, which leads to loss share information. If the standby reserve complex is on maintenance prevention the information drop may even result in overall fault. Therefore in such a case when loss of information and temporary stoppage of CCAS functioning are intolerable the dynamic or "hot" backup is used. In this case probability of failure-free operation along the time t_{hb} is estimated as:

$$R = e^{-t_{hb}/m} (2 - e^{-t_{hb}/m}).$$

Robustness can be also ensured by procedural redundancy, which implies a multiple solution by the same problem using the same source data, with the conclusion, that the outcome of the decision is correct, is based on the evaluation of most of the same (or close) decisions. In a simpler case, such an approach should be that the result of the re-decision is compared with the first decision and if they are the same, the decision is recognized as valid and the control procedure is completed. If

the answer is different, a third repetition is initiated and if its result is equal to one of the previously obtained during the previous two steps of the decision, the answer is recognized as valid and the procedure ends. If, however, the decision obtained in the third step does not coincide with any obtained in the previous steps, a steady rejection signal may be issued.

Procedural redundancy is necessarily accompanied by the input of a redundancy of technical means for temporary storage of intermediate results. The disadvantage of the method of procedural redundancy is a significant increase in the time to obtain a reliable result T_t , which consists of its own time of multiple solutions nT_c and the time required to repeatedly compare the results of solutions with each other $0.5n(n-1)T_c$ that is

$$T_t = nT_c + 0.5n(n-1)T_c,$$

where n – multiplicity of calculations.

In connection with the above there may be a more effective combination of structural and procedural redundancy.

Informational redundancy proposes to insert in EMCS the redundancy variables, i.e. additional information in order to receive the reference ratio between the variables. The simplest example of informational redundancy using is the adjusting codes which correct the corrupted data. But by using these codes it is possible to reveal the disturbances influencing on information in communication channel. For disturbances detecting in separated units of EMCS during data processing the additional variable is calculated and the test of reference ratio between this variable and certain function of main variables is carried out. As opposed to duplicating utilities with hot standby where the same utilities are used there may be used the very simple auxiliary hardware utility besides the main one. The auxiliary hardware utility calculates only one or some intermediate variables and realizes the comparison operations.

In trivial case besides variables y_1, \dots, y_n which are supervised, the additional variable $y_{n+1} = \sum_{i=1}^n y_i$ is calculated while the uninterrupted comparison of values y_{n+1} and actual sum $\sum_{i=1}^n y_i$ on system's output assures the decision's supervision. If k additional variables y_{n+1}, \dots, y_{n+k} are injected and if the every of these variables is calculated by own unit then instead of scalar verification equation $\Delta = m_1 y_1 + \dots + m_n y_n + y_{n+1} = 0$ the vector equation with coefficient matrix $M = [m_{ij}]$ with dimensions $k \times (n + k)$ is used.

If n variables of algorithm y_i , where $i = [\overline{1, n}]$, form the vector \mathbf{Y} then for input of informational redundancy it is necessary to carry out linear transformation of \mathbf{Y} by matrix \mathbf{A} assistance. This matrix has the measure $[n \times l]$, while $l > n$:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A} \overline{\mathbf{Y}},$$

where $\overline{\mathbf{Y}}$ – vector composed from l redundant values of variable $\overline{y}_i, i = \overline{1, l}$.

This transformation is a single-valued if to set of n equations with l unknowns to add $k = l - n$ accessory equations, for example

$$M \overline{\mathbf{Y}} = 0,$$

where $M = [k \rightarrow l]$ – matrix of focused type.

Joint solution of equations which describes Y and $M \overline{\mathbf{Y}}$ produces

$$\overline{\mathbf{Y}} = \mathbf{B} \mathbf{Y},$$

where $B = [n \times l]$ – inverse transformation matrix. It may be organized if $AB = E$ and $MB = 0$ by the following way:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \dots \\ \mathbf{M} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{E} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Note, that expression $\overline{\mathbf{Y}} = \mathbf{B} \mathbf{Y}$ or

$$y_{n+1} = \sum_{i=1}^n m_i y_i$$

is not allowed as computational formula for redundancy variables calculations but only as a formula for preliminary transformations of output algorithms. If output algorithm $y_i = F_i(x_1, \dots, x_m)$, $i = \overline{1, n}$ or (in vector form) $Y = F(x)$, then after linear transformation of variables with addition of redundancy it can be obtained $\overline{Y} = \overline{F}(x)$, where $\overline{F} = B * F$ – new vector-function. In particular, from expression $y_{n+1} =$

$$\sum_{i=1}^n m_i y_i \text{ it can be obtained } f_{n+1} = \sum_{i=1}^n m_i f_i.$$

If $\sum_{i=1}^n m_i f_i$ collapses into compacted function f_{n+1} then transformation with redundancy addition leads to economical redundancy algorithm for calculation of output functions f_i , $i = \overline{1, n}$ and additional function f_i . Otherwise it is necessary to duplicate the computation of functions f_i to obtain f_{n+1} .

The algorithm of verification at redundancy functions approach is reduced to calculation of output variables f_i , $i = \overline{1, n}$ and y_{n+1} and definition of checksum $\Delta = \sum_{i=1}^n m_i y_i - y_{n+1}$, while if $|\Delta| \leq \Delta_{npun}$ the error is not fixed. Otherwise, the calculations are repeated. If the situation persists, the failure is considered as steady-state one.

When using methods of entering information redundancy, the possibility of not detecting errors remains, on the one hand due to compensation of errors in the checksum, and on the other – due to masking errors against the background of "noise". The probability of mutual error's compensation in checksum is inversely proportional to dynamic range of system and has negligibly small value. The second cause of errors overlooking is associated with sensitiveness of errors overlooking to data errors especially when influence coefficient is maximal.

The information redundancy approaches are used first of all when the set of linear algebraic equations is solved, when the polynomial root is found, trigonometric transforms are solved, at the residual equations' solutions, at solutions of ordinary

differential equations and equations with partial derivatives and also at system's modeling. This approach not only enables errors' overlooking and allocates their spreading, but ensures their automatic adjustment. Application of similar approaches is connected with relatively small redundancy but the last one has one imperfection – the lack of versatility and complexity of redundancy functions calculations. Therefore, in practice, systems that have higher requirements for fault tolerance use combined redundancy methods to obtain an optimal solution of the problem.

Data Mining approach

The very interest has the ideology of “Data Mining” (DM or “Intelligent Data Analysis”) which recently became the basis of brand new process, which take into consideration some specificity of up-to-date objectives to analysis and data processing (Witten & Frank, 2005). Inherently the modern DM technology is based on pattern concept which reflects the fractions of multifaceted mutual relations on data set. These patterns are the conformities which are inherent to data access sampling and may be compactly reflected in understandable for man-operator form. The pattern retrieval is realized by methods, which unconditioned by bounds of a priori assumption about sampling structure and kind of distribution of analyzed indicator's certainty values. Essence here that the patterns may be nontrivial, i.e. may reflect unexpected regularities of data, which contain so-called latent knowledges. During the Intelligent Data Analysis the task of deviations identification is arised, i.e. detection and analysis of patterns which the most distinguish themselves from general data array, so-called unrepresentative patterns. This is primarily true of data which characterized by following features:

- The data have plenitude of the power;
- The data are heterogeneous (quantitative, qualitative, textual);
- The results should be specific and understandable;
- The means for output data processing should be easy to use.

This approach, in particular, involves the development of so-called neural networks, which allow flexible modification of the structure of the system, its functioning, as well as providing high reliability and fault tolerance. Neural networks conception follow from the functioning of the animals' neural system analysis. That is why the basic module of neural network – artificial neuron is modeling the main functions of natural neuron (Fig. 2).

The input signals x_n weighted by weight coefficients of junction w_n are added, pass by transfer function, generate the result and go out as outputs.

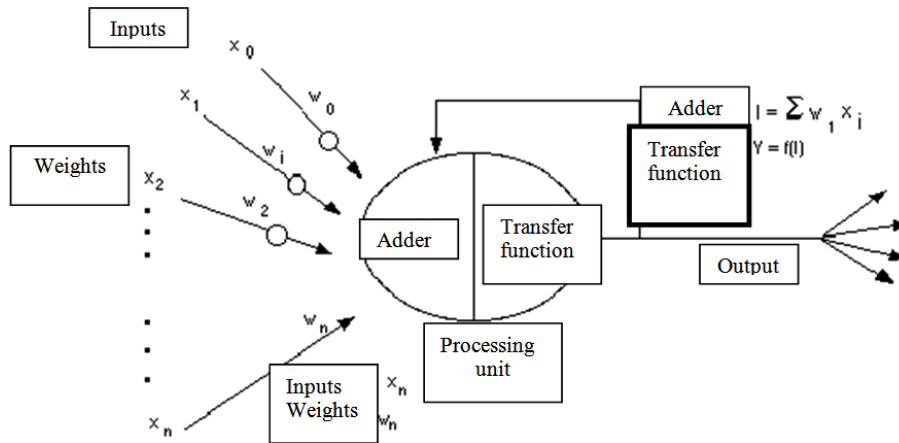


Fig. 2. Basic artificial neuron

In active currently software packages the artificial neurons are named as processing elements. They have more facilities than the simple above-mentioned artificial neuron. Detailed layout of simplified artificial neuron is illustrated in Fig.3.

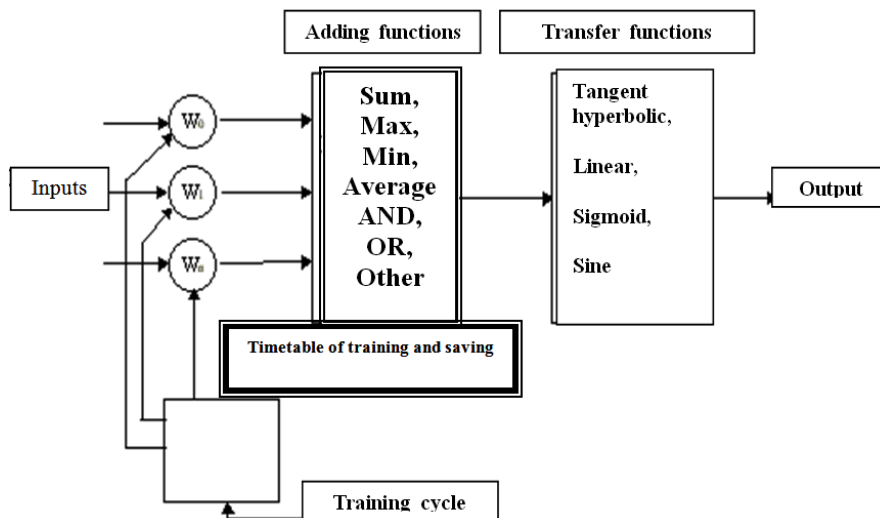


Fig. 3. The model of processing element

Modified inputs are transferred to adding function which mainly adds the products. But there are many other operations as Average, Maximum, Minimum, OR, AND and so on, which may generate some quantity different values. Moreover majority of commercial softwares allow for part-programming engineers to create own adding functions by assistance of subroutines which are coded by high level languages. Sometimes adding function is complicated by adding activation function which permit operating of adding function in time. In any case output of adding function is transmitted to transfer function and direct whole series on the active output (0 or 1, -1 or 1, or any other number) by certain algorithm. In acting neural networks as an transfer functions may be used Sigmoid, Sine, Tangent, hyperbolic or others. The example of transfer function is illustrated in Fig. 4.

After signal processing, the output neuron has the result of a transfer function that is fed to the inputs of other neurons or to an external connection, as predicted by the structure of the neural network. All neural networks are designed on the base of standard shaping unit – artificial neuron. The other part of creation and using neural networks concerns the infinitude quantity of connections, that bind individual neurons.

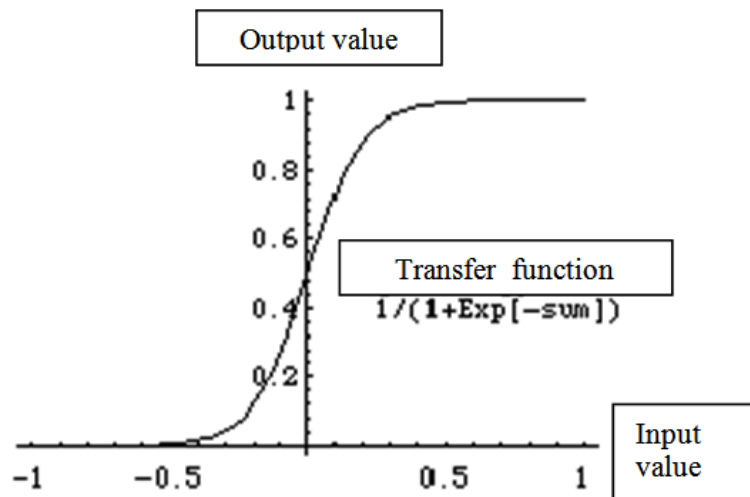


Fig. 4. Sigmoid transfer function

Grouping in the human brain happens so that information is processed dynamically, interactively, and self-organizing. Biological neural networks are created in three-dimensional space from microscopic components and are capable of

various connections. But for artificial neuron networks there are physical restrictions. Existing now neuron networks represents the alignment of artificial neurons. This grouping is due to the creation of interconnected layers. The above properties of neural networks allow to form and dynamically reformat alternative control systems according to variations of external factors, requirements to systems, as well as connections with other systems and subsystems, providing a high level of reliability and robustness of control systems.

Conclusions

Robustness of the environmental monitoring system can be ensured by procedural redundancy, which implies a multiple solution by the same problem using the same source data, with the conclusion, that the outcome of the decision is correct, is based on the evaluation of most of the same or close decisions. Procedural redundancy is necessarily accompanied by the input of a redundancy of technical means for temporary storage of intermediate results. Informational redundancy includes the redundancy variables in the system to receive the reference ratio between the variables. Data mining technologies use in monitoring complex geoengineering systems ensures reliability and robustness of control systems.

References

- Arlat, J., Kanoun, K. & Laprie, J. (1990). Dependability modeling an evaluation of software-fault tolerant systems. *IEEE Transactions on Computers. Special Issue on Fault-Tolerant Computing.*
- Cardinaels, E. (2018). *Job allocation in large-scale networks with locality constraints.* (Master Thesis). Proquest Dissertations and Theses. Eindhoven University of Technology.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: a modern approach.* CRC PRESS LLC, N.W.

- Dychko, A., Yeremeyev, I., Remez, N. et al. (2020). Structural redundancy as robustness assurance of complex geoenvironmental systems. *E3S Web Conf.*, 166, 11003. doi: 10.1051/e3sconf/202016611003.
- Sussman, G. J. (2008). *Building Robust Systems*. Massachusetts Institute of Technology.
- Tai, A. T., Alkalai, L. & Chau, S. N. (1999). On-board preventive maintenance: a design-oriented analytic study for long-life applications. *Performance Evaluation*, 35, 215–232.
- Witten, I. H. & Frank, E. (2005). *Data Mining*. Practical Machine Learning Tools and Techniques, Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАМІЩЕННЯ ВИКОПНИХ ПАЛИВ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТВЕРДОЮ БІОМАСОЮ

Дунаєвська Н.І., Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, д.т.н.,
с.н.с., директор, Україна

Нехамін М.М., Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, к.т.н., с.н.с.,
Україна

Бондзик Д.Л., Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, к.т.н.,
заст.зав.відділом, Україна

Щудло Т.С., Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, н.с., Україна

Abstract

The technologies of full or partial replacement of fossil fuel in boilers of a wide range of capacities with solid renewable fuels - solid biomass, namely - wood pellets and agropellets, developed by the Coal Energy Technologies Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, are presented. The advantages and disadvantages of these technologies are indicated. Examples of the developed equipment for introduction of the offered technologies on boilers of municipal power and TPP boiler units are resulted. Experimentally established results of reduction of harmful emissions, namely oxides of sulfur and nitrogen at application of these technologies are resulted. The concrete designs of such equipment, experimental check of constructive and technology parameters of their work are described. The need for financial support in Ukraine for the introduction of technologies for co-combustion of fossil fuels and solid biomass, which are already used in developed countries in Europe and Asia. The importance of the introduction of these technologies to ensure the energy security of Ukraine is pointed out.

Вступ

У 2018 році виробництво електроенергії в Україні із застосуванням викопного палива на ТЕС та ТЕЦ складало 36,9%. Міжнародні екологічні угоди України та положення Нової енергетичної стратегії до 2035 року зобов'язують скоротити (аж до повного виключення) використання вугілля в енергетиці за рахунок введення в експлуатацію нових потужностей на відновлюваних джерелах енергії (Гелетуха и Железная, 2013). Але, в реаліях сьогодення, на здійснення такого переходу знадобиться не одне десятиріччя. Тому нагальною задачею для енергетики є повне або часткове заміщення вугілля або природного газу відновлювальними джерелами, в тому числі твердою біомасою, викопних палив на існуючому котельному обладнанні.

Метою представленої роботи є розробка та впровадження оригінальних технологій повного або часткового заміщення вугілля/природного газу на існуючих котлах різної потужності. Пропонується, на середньо- та довгострокову перспективу, базуючись на сучасних українських технологіях спалювання біомаси, твердих горючих відходів та їх сумішей з вугіллям, значно покращити показники енергетичної та екологічної безпеки і при цьому замістити до 3 млн. тонн вугілля на електростанціях.

Такі технології повного (для котлів малих та середніх потужностей) та часткового (для котлів ТЕЦ та ТЕС) заміщення розроблені в Інституті вугільних енерготехнологій НАН України (Майстренко та ін., 2012, 2014; Дунаєвська, Щудло та Бондзик, 2016; Dunaievska, Chernyavskiy & Shchudlo, 2016; Дунаєвська, Зенюк та ін., 2018; Dunayevska, Zasiadko & Shchudlo, 2018).

Перевагами технологій спільного спалювання - часткового заміщення вугілля біомасою - є скорочення викидів оксидів вуглецю, сірки та пилу на частку заміщуючої твердої біомаси (Tillman, 2000).

З точки зору економічності – це також можливість спалювати біосировину з найвищим к.к.д, а також не залежати від сезонності збору та кількості біопалива. Особливості процесів горіння сумішей таких різномірних

за ступенем метаморфізму палив враховані в розроблених інститутом проектах реконструкції котлоагрегатів різної потужності.

Відновлюваною сировиною можуть бути також тверді побутові відходи, відходи сільгоспвиробництва і т. ін., але в цьому випадку велику роль в такому спалюванні починають відігравати технології очистки вихідних газів спалювальних установок.

Щодо повного переведення енергетичних котлів на спалювання біомаси, то цей процес має як переваги (можливість застосовувати «зелений тариф» на вироблені продукти, суттєве зменшення шкідливих викидів з вихідними газами) так і недоліки (втрата частини потужності, значний обсяг реконструкції, більші питомі витрати на 1 кВт встановленої потужності).

Модернізація енергоблоків ТЕС та ТЕЦ під спільне факельне спалювання вугілля та біопалива (або технології повного заміщення) з мінімальними витратами та належною нормативно-правовою та громадською підтримкою може забезпечити в Україні стійке функціонування енергосистеми і теплової генерації в умовах глобальних інтеграційних процесів до прийняття рішень щодо впровадження більш ефективних і екологічно досконалих енергоблоків і систем накопичення електроенергії.

Розробка технологій пиловидного спалювання твердої біомаси та її сумішей з вугіллям та природним газом

Протягом останніх десяти років у Інституті вугільних енерготехнологій (ІВЕ) Національної академії наук України проводились наукові дослідження процесів спільного спалювання різнорідних твердих палив (Засядько, Щудло та Бесценный, 2009; Дунаевская, Щудло, Бесценный та Бондзик, 2013; Дунаевская та Щудло, 2016а) з метою диверсифікації джерел енергоресурсів, зменшення витрат на виробництво теплової та електричної енергії за рахунок заміщення дорогих видів палива менш дорогими, а також для досягнення синергетичного поєднання позитивних характеристик спалюваних видів палива, що забезпечить

вищі показники ефективності як самого процесу спалювання, так і суттєве поліпшення екології. В ІВЕ досліджувалися процеси спільного спалювання твердої біомаси з природним газом та вітчизняним вугіллям (Дунаевская та Щудло, 2016b; Dunaevska et al., 2016). Дана тематика наразі є одним із світових енергетичних трендів, по-перше, внаслідок наявних тенденцій у промислово розвинених країнах суттєво диверсифікувати доступні джерела енергоресурсів за рахунок залучення у енергетичні баланси відновлювальних видів палива, по-друге, нагальної необхідності оздоровлення навколишнього середовища шляхом зменшення шкідливих викидів від відходів промисловості та сільського господарства і, насамперед, викидів двоокису вуглецю.

Процеси спільного спалювання різнорідних палив відрізняються значною складністю, оскільки суттєво відрізняються їх кінетичні характеристики, тривалість окремих стадій горіння, характер масообмінних процесів у випадках гетерогенного горіння. Разом з технологічними важливими є також і економічні питання, особливо у випадку організації спалювання у факелі, оскільки, наприклад, визначення частини технічних параметрів диктуватиметься не стільки оптимальними умовами вигорання, скільки економічною доцільністю, наприклад ступінь розмелення біомаси, оптимальна логістика її постачання та т.ін.

Котли середньої потужності українського виробництва представлені в основному котлами типу ТВГ, КВГ, ДКВР та їх модифікаціями. Вони використовуються як для виробничих потреб, так і в комунальному господарстві, харчовій та будівельній промисловості, сільському господарстві, нафтовидобуванні, на залізничному транспорті та ін.

Свого часу теплофікаційні котли для так званої «малої» енергетики (типу Е чи ДКВР) проектувалися на три види палива – вугілля, газ та мазут. В часи СРСР, коли ціни на природний газ були низькими, майже всі вугільні котли було переведено на спалювання природного газу. На сьогодні існує зворотній напрямок – переведення таких котлів на спалювання першого проектного

палива – вугілля, але іноді за іншими технологіями. Для котлів, проектним паливом яких був мазут або газ, з огляду на підвищення ціни викопного палива, залежність його постачання від закордонних фірм, нагальних потреб утилізувати відходи різних галузей промисловості та сільського господарства, доцільним видається використання відходів, наприклад, деревообробної промисловості.

Пряме переведення газових котлів на спалювання твердого палива неможливе з таких причин: питома швидкість горіння знижується в ланцюгу викопних палив – природний газ – мазут – вугілля; чим вища реакційна здатність палива та питома швидкість горіння, тим менший об'єм топки потрібний для його спалювання. Мінімальний об'єм топки потрібний для спалювання природного газу вдвічі менший, ніж для кам'яного вугілля. Великого значення при такому переведенні набуває час перебування частинок твердого палива в пальнику та котлі. Циклонна технологія спалювання в муфельному пальнику якнайкраще відповідає таким вимогам.

Враховуючи економічну ситуацію та стан котлоагрегатів житлово-комунального господарства в Україні, в ІВЕ було виконано проект створення передтопки для спалювання відходів деревообробної промисловості в існуючих комунальних котлах, які спалюють природний газ. Для реконструкції був обраний котел ДКВР 2,5 з огляду на те, що передня стінка котла, на якій розташований газовий пальник, не закрита водяними трубами. Однією з найменш витратних технологій, що дозволяє спалювати тверде паливо у газових котлоагрегатах є спалювання в муфельних передтопках. Передтопок прибудовується до існуючого котлоагрегату, що збільшує топковий об'єм і тим самим збільшує час перебування частинок твердого палива. Циклонні муфельні пальники з твердим шлаковидаленням найбільш пристосовані до спалювання подрібненого палива. Ця технологія дозволяє:

➤ утримувати часточки палива та коксу у вигляді шару, що обертається. Це забезпечує стабільне горіння та економічність процесу;

- знизити трансформацію мінеральної частини золи, в тому числі лужних металів, попередити їх накопичення на трубах котла;
- знизити викиди оксидів сірки та азоту.

Для впровадження технології на існуючому котлі ДКВР-2,5 був розрахований, сконструйований та виготовлений прибудований циклонний муфельний передтопок з поверненням частини топкових газів в систему подавання деревини. Робочі креслення двох варіантів передтопків виготовлені ПАТ «Енергомашпроект» за розрахунками Інституту.

Але одним з недоліків такої технології є потреба в системах золовидалення. В пропонованих в цьому розділі робочих кресленнях і в першому варіанті (циклонний вертикальний муфельний пальник) і в другому (горизонтальний пальник) – передбачено створення такої системи, не зважаючи на малу частку золи в деревині.

В ІВЕ на пілотному стенді було проведено низку досліджень процесів спільного спалювання різних видів біомаси з природним газом та з вітчизняним низькорекційним високозольним (до 28 %) вугіллям (Майстренко та ін., 2012; Dunaievskia et al., 2016; Засядько та ін., 2009; Дунаевская та Щудло, 2016b). Експерименти мали на меті визначити інтегральні показники процесу при заміщенні частки традиційних палив еквівалентною за теплом кількістю біомаси, розподіл температури у реакторі, положення факела та його міграція по довжині каналу при додаванні біомаси, тощо. Найбільш критичним параметром, який визначав принципову можливість та доцільність впровадження зазначеної технології, є ступінь конверсії вуглецю біомаси за умови спільного спалювання різнорідних палив. Отримані результати підтвердили перспективність впровадження технологій спільного спалювання у промислових масштабах, і її впровадження дозволить заощадити значні обсяги імпортованого палива. При цьому суттєво зменшаться викиди двоокису вуглецю (Засядько та ін., 2009).

Поряд з дослідженнями інтегральних показників процесу спільного спалювання на пілотному стенді в ІВЕ накопичено значний досвід з моделювання процесів з допомогою сучасного програмного забезпечення з CFD методів FLUENT та ANSYS CFX. Застосування цього програмного продукту дозволяє дослідити усі параметри процесу. Визначались розподіл концентрацій компонентів, поля швидкостей та температур, розподіл ліній току компонентів для визначення оптимальної тривалості перебування часток палива у реакторі задля досягнення максимального ступеню конверсії, що є особливо важливим для проектування високоефективних пальникових пристроїв, тощо. Топки, муфельні пальники низькотемпературного спалювання за стабільністю горіння, глибиною вигорання та екологічним показникам наближуються до топок циркулюючого киплячого шару, але більш прості в експлуатації та не потребують підвищених витрат енергії на дуття, дозволяють організувати високоефективне спалювання деревинних та інших відходів.

Циклонний муфельний пальник в вертикальному виконанні має дві відокремлені камери спалювання. Верхня закінчується конусним звуженням для створення зони зворотних токів. Стабілізація процесу спалювання в камері допалювання досягається використанням шарового спалювання великих фракцій палива в нижній камері допалення. Суміщення шарового спалювання з вихоровим значно активізує топковий процес над шаром, забезпечить взаємну підтримку шарового та надшарового горіння та знизить недопал палива. Але одним з недоліків такої технології є потреба в системах золовидалення.

Під нижньою конусною частиною паливної камери знаходиться колосникова решітка для допалення великих фракцій з подачею під неї третинного дуття.

Конструкція циклонного муфельного пальника розрахована на спалювання відходів деревообробної промисловості з зольністю до 8% та вологістю до 45%.

У другому варіанті циклоного горизонтального пальника камерою допалення слугує паливня котла. Для можливості спалювання палив з вологістю більше 30% в зону подавання палива подається повітря, що змішується з газами рециркуляції з паливні до температури 400 °С. Особливістю цього варіанта пальника є значно менша вартість, але необхідно переробляти нижню частину паливні котла і встановлювати колосники з перекидною решіткою для допалювання великих частинок палива, що подаються з горизонтального циклону.

Передтопок для спалювання біомаси в котлах комунальної енергетики, що працюють на природному газі

На рис. 1 наведено схему одного з передтопків для котла ДКВР 2,5 у вертикальному виконанні.

Передтопок являє собою двоступеневу муфельну камеру з повним згоранням подрібнених відходів деревини. На рис. 2 наведено розрахунки полів температур, концентрацій летких і кисню та траєкторій руху частинок різного розміру в запропонованому передтопку.

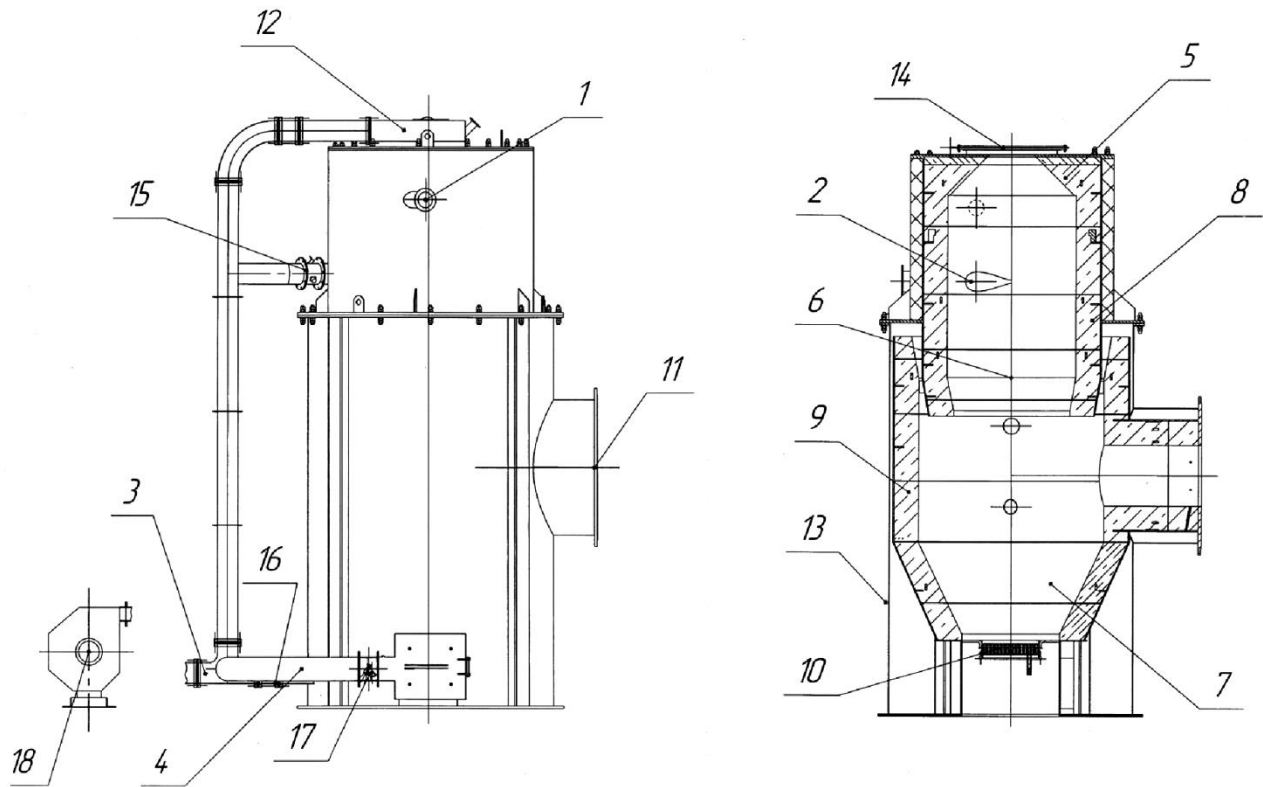


Рис. 1. Варіант циклонного передтопку у вертикальному виконанні:

- 1 – подавання палива; 2 – первинне повітря; 3 – вторинне повітря; 4 – третинне повітря;
 5 – амбразура газового пальника; 6 – первинна топкова камера; 7 – вторинна топкова камера;
 8 – футерівка першої паливної камери; 9 – футерівка другої паливної камери;
 10 – колосникова гратка; 11 – вихід димових газів; 12 – газовий пальник;
 13 – зовнішня обичайка; 14 – заслінка; 15 – клапан первинного повітря;
 16 – клапан вторинного повітря; 17 – клапан третинного повітря; 18 – вентилятор

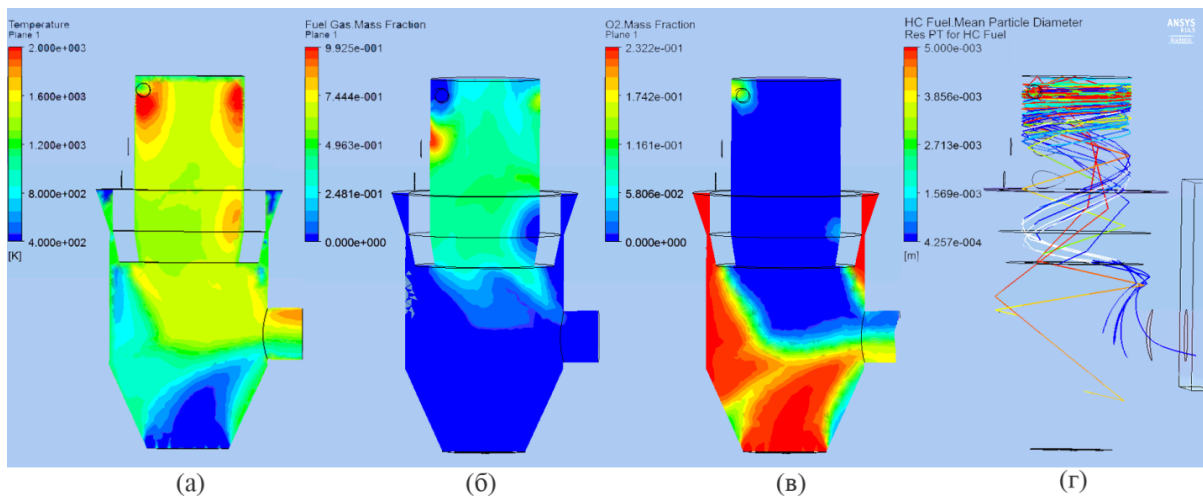


Рис. 2. Результати розрахунку тривимірної моделі вертикального передтопка: а – поля температур, К; б – поля концентрацій летких, частка за масою; в – поля концентрацій кисню, частка за масою; г – траєкторії руху частинок різного розміру, м.

Переваги даної конструкції – широкий діапазон допустимого вмісту вологи в паливі, надійне запалювання біомаси, можливість використання передтопка для широкої гами палив, а також можливість працювати як на природному газі, так і на твердій біомасі як резервному паливі.

Щодо другого пальника спрощеної конструкції (рис.3), то він також може працювати як на газі, так і на відходах деревини, має меншу вартість, але дещо звужений по діапазону параметрів використовуваного палива та потребує переробки поду топки на тверде шлаковидалення.

Передтопок являє собою горизонтальний муфель, у якому реалізується попередня підготовка біомаси до спалювання, а саме: сушіння, вихід та займання летких, прогрівання та займання частинок коксового залишку зі скиданням продуктів неповного згорання у котел.

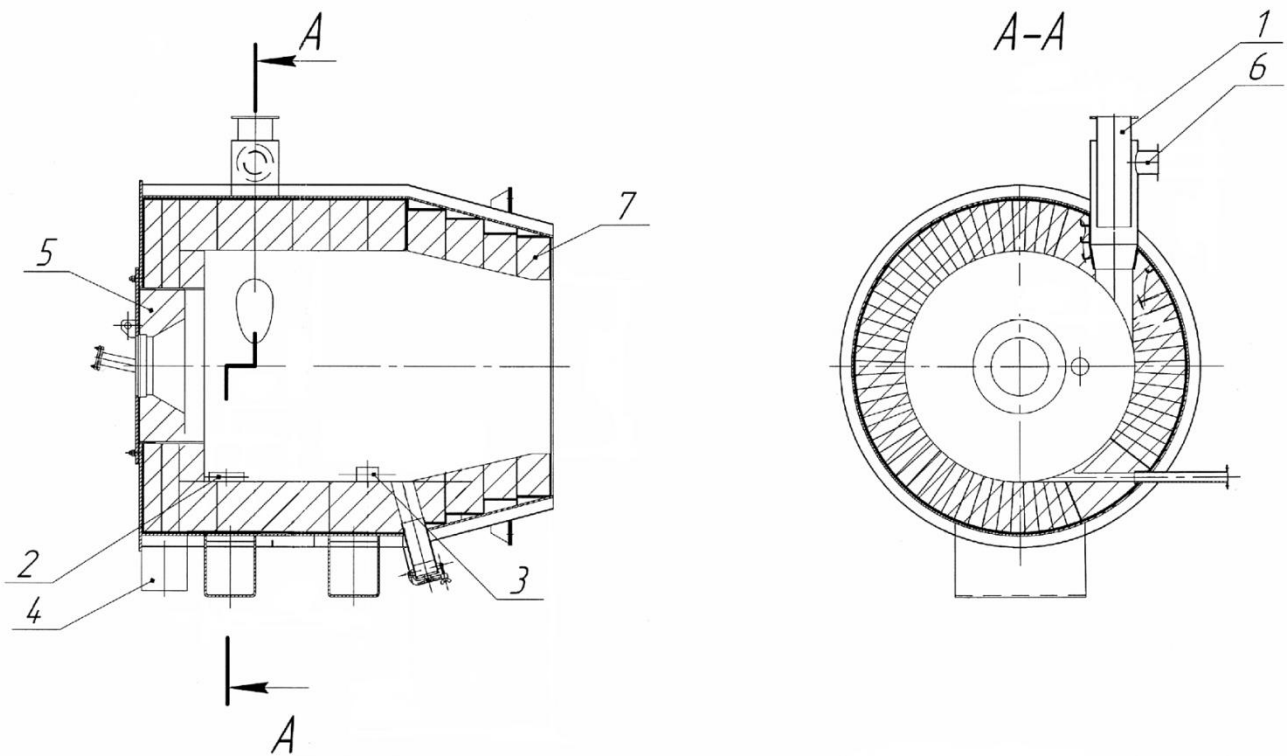


Рис. 3. Варіант циклонного передтопка у горизонтальному виконанні: 1 – внесення палива; 2 – первинне повітря (перша зона); 3 – первинне повітря (друга зона); 4 – вторинне повітря; 5 – амбразура газового пальника; 6 – подача газів рециркуляції; 7 – футерівка

«Розтягування» зони горіння летких (рис. 4) приводить до більш рівномірного поля температур. Цій обставині сприяє саме «повільне горіння»

летких при дефіциті окислювача у муфелі, причому зона високих концентрацій летких поширюється і в топковий простір, що обумовлює горіння летких у топці. Пальник був виготовлений в металі і мав такі вихідні дані для проектування:

- склад палива (деревинні відходи): $W^p = 40,2 \%$, $A^p = 0,6 \%$, $S^p = 0 \%$, $C^p = 30,3 \%$, $H^p = 3,6 \%$, $N^p = 0,2 \%$, $O^p = 25,1 \%$; нижча теплота згорання палива: $Q_{н}^p = 9378$ кДж/кг;
- витратні характеристики: паливо при роботі з передтопком на котлі ДКВР 2,5-13 – $B^p = 810$ кг/год, повітря – $V = 3,7 \cdot 10^3$ м³/год;
- режимні характеристики: продуктивність за теплом – $7,6 \cdot 10^6$ кДж/год, продуктивність за паром – 2,5 т/год, коефіцієнт надлишку повітря в камері допалювання – 1,3.

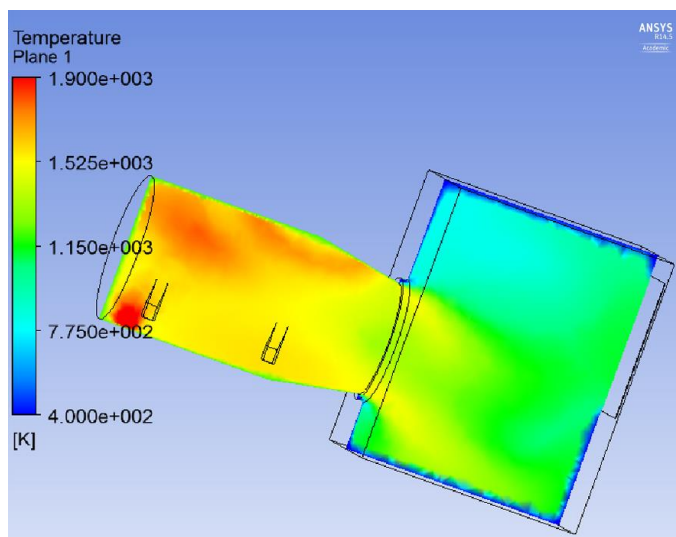


Рис. 4. Розподіл температур у горизонтальному передтопку

Розроблені проекти та створені пілотні зразки передтопкових пристроїв, доцільно рекомендувати для застосування в комбінації з котлоагрегатами типу ДКВР або Е невеликої потужності в комунальній та промисловій теплоенергетиці з метою заміщення природного газу місцевим твердим паливом.

Технологічні рішення та результати розрахунку процесів сумісного спалювання вугілля та біомаси в пиловугільних котлоагрегатах на прикладі пальника тепловою потужністю 70 МВт для котла ТПШ-210А

Вугілля та біомаса значно відрізняються за характеристиками горіння, тому спалювання в одному топковому просторі двох таких різних твердих палив потребує кожного разу окремих досліджень процесу для саме цих типів палив та індивідуальних технічних рішень для його реалізації.

Теоретичне та практичне вивчення світового досвіду впровадження технології спалювання кам'яного вугілля та твердої біомаси на діючих ТЕС та власні дослідження авторів (Дунаевская, Засядько, Шупик и Щудло, 2007) вказали на ряд особливостей та недоліків спалювання двох палив з різними характеристиками в об'ємі паливни існуючих факельних котлоагрегатів. При чому, чим більша масова частка біомаси у суміші, тим більш виразний синергетичний ефект від їх спільного спалювання.

На етапах паливopідготовки, розмелу та подавання в котел застосовуються декілька схем процесу спільного спалювання. Розгляд їх переваг та недоліків дозволили обрати найбільш придатні технологічні схеми для антрациту та біомаси.

Спільне з вугіллям подавання біомаси у подрібнюючі пристрої (млини різного типу) категорично непридатне для такого поєднання подавання палива та біомаси на спільний конвеєр – різна розмелоздатність, підвищення енерговитрат млинів, налипання біомаси на стінки, необхідність різних транспортуючих середовищ з різною температурою для вугілля і біомаси. Немає необхідності в подрібненні біомаси до тієї з величини, що і, наприклад, вугілля марки антрацит. Наприклад, для пелет з рослинної сировини середній розмір частинки може бути ~2,5 мм. Для спільного спалювання антрациту і твердої біомаси в енергетичному котлі з урахуванням вимог вибухобезпеки придатне до використання виключно роздільне подавання біомаси та вугілля в котел. В цьому випадку біомасу можна подати чи в окремий пальник, чи у вже

існуючий модернізований. Організувати аеродинаміку зони перемішування необхідно таким чином, щоб вугілля потрапляло в область згорання летких біомаси і вихід паливних оксидів азоту відбувався у збідненому на кисень середовищі, що призведе до зменшення викидів NO_x. З огляду на все вищенаведене, були прийняті такі технічні засади впровадження технологій спільного спалювання вугілля та біомаси (ССБВ) на котлі ТПП-210А Трипільської ТЕС, для якого проектним паливом був антрацит:

1. Можливість враховувати сезонність твердого біопалива надає подавання біомаси безпосередньо в вугільний вихоровий пальник або в окремі пальники для біомаси, розташовані на стінах котла. З огляду на вартість реконструкції та бажаність найменших змін в паливні оптимальним видається реконструкція існуючого пальника.

2. Найкраща форма твердої біомаси для постачання – пелети, оскільки вони при формуванні втратили вологу і збільшили теплоту згорання (до 4100 ккал/кг), найкращі для перевезення і зберігання, не потребують вартісного обладнання для розмелу. Для досліджень ІВЕ були обрані найбільш поширені в Україні: з відходів деревообробки, з соломи та з агрокультур.

3. За результатами попередніх досліджень було встановлене найкраще з огляду на конверсію коксового залишку співвідношення біомаса/вугілля – 8-10%. Спалювання газового вугілля та антрациту в такому ж співвідношенні на Трипільській ТЕС вже довело свою високу ефективність та вибухобезпеку при використанні однорідної суміші (Chernyavskyy, Dunayevska, Provalov & Miroshnichenko, 2020). Але для підвищення безпеки спалювання більш легкозаймистих пелет та антрациту доцільним визначено змішування цих різнорідних палив безпосередньо в паливні.

4. Необхідний час перебування всіх видів пелет в паливні до повного вигорання їх коксу та клас крупності також було визначено в результаті експериментальних досліджень і слугувало вихідними даними для розрахунку процесів в паливні.

Крім технічних чинників для впровадження технології ССБВ визначальним є наявність в Україні твердої біомаси в необхідній кількості. За даними (Гелетуша и Железная, 2013) економічно досяжний енергетичний потенціал по деяких видах біомаси: солома зернових культур – 3,7, відходи виробництва соняшника – 5,5, деревна біомаса – 1,87 млн. т у.п. щороку. Основний потенціал відходів сільського господарства зосереджено в центральній та південно-східній частині, відходів деревообробки та лісозаготівлі – в північній та західній частині (Гелетуша, Жовмир, Олейник и Радченко, 2013).

При співставленні географічного розташування ТЕС та розподілу відходів біомаси по території України перспективним виглядає модернізація Трипільської ТЕС для ССБВ. Звернення до відповідних виробників пелет з плечем постачання до 300 км виявило можливість гарантованого забезпечення необхідною кількістю біосировини двох котлів ТПП-210А Трипільської ТЕС протягом всього року за умови 10-відсоткового додавання її до вугілля.

Для спалювання в котлі ТПП-210А біомаси виконано пілотний проект, що передбачає розміщення на ТЕС системи зберігання, транспортування, дозування та подавання пелет твердої біомаси в 2 з 12 пальників котла ТПП-210А і має на меті відпрацювання технічних рішень та демонстрацію технології з можливістю її наступного розвитку в Україні.

Технічні характеристики суміші розглянутих видів пропонованої українськими виробниками пелети з антрацитом та витрати на 1 пальник цього котла наведені в таблиці 1.

Характеристики сумішей та витрати палив на пальник

Найменування	Одиниця виміру	суміш 90% антрацит/10% пелета			
		Антрацит	Антрацит/ пелета сосни	Антрацит/ агропелета	Антрацит/ пелета лузги
Нижча теплота згорання антрациту,	$Q_{н^p_a}$, МДж/кг	24,26	-	-	-
Нижча теплота згорання біопалива	$Q_{н^p_{пл}}$, МДж/кг	-	17,63	15,57	14,81
Нижча теплота згорання суміші	$Q_{н^p}$, МДж/кг	24,26	23,34	22,93	22,75
Витрата пилу на основний пальник	кг/с	2,317	2,07	2,078	2,077
Витрата пелети на пальник	кг/с	0,0	0,37	0,41	0,439

В проєкті було враховано необхідність транспортування біомаси до пальника холодним повітрям з метою попередження передчасного займання, а звідти і подавання біомаси окремим потоком безпосередньо в пальник. Тирса подавалася в реконструйовану центральну трубу пальника, яка раніше слугувала для розміщення мазутної форсунки для розпалення котла. Потік деревинної біомаси необхідно закручувати з метою забезпечення гарного перемішування гарячих продуктів згорання летких тирси з вугільним пилом. Схема пропонованого для реалізації технології ССБВ пальника наведена на рисунку 5.

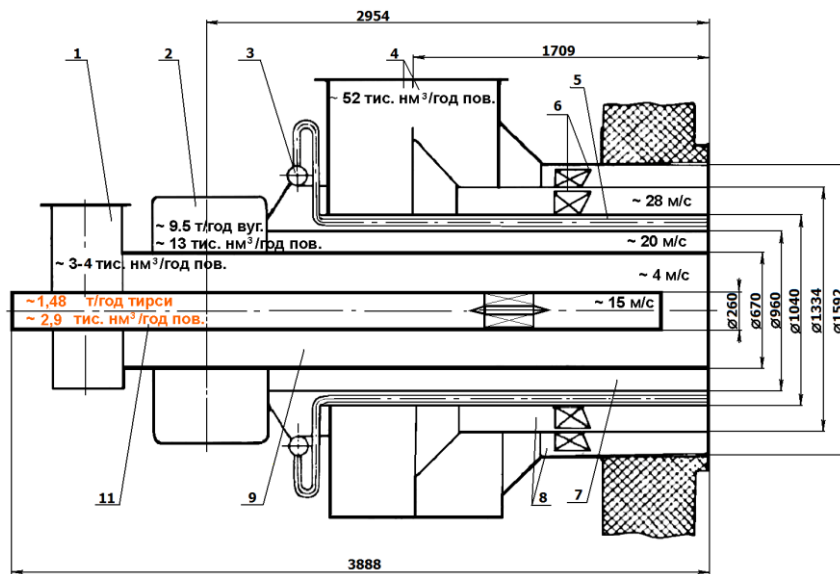


Рис. 5. Пальник котлоагрегату ТПП-210А для впровадження спільного спалювання:

- 1 – равлик центрального повітря; 2 – равлик пиловугільної суміші;
- 3, 5 – існуючі газові магістралі; 4, 6 – підводи і завихрювачі вторинного повітря;
- 7 – канал первинної аеросуміші; 8 – канали вторинного повітря; 9 – муфель;
- 10 – труба форсунки розпалу; 11 – канал подавання біомаси.

Для оцінювання впливу спільного спалювання на характеристики роботи паливної та котла в цілому було проведено розрахунок за програмою ANSYS FLUENT.

Розрахунок температурних полів та вигорання коксового залишку пелет та антрациту в паливній котла ТПП 210А були отримані в результаті застосування пакету програм ANSYS FLUENT з вхідними даними проектного вугілля та усереднених показників технічного аналізу всіх трьох видів досліджуваних пелет. На рис.6 та 7 наведені поля температур та, як приклад, вигорання коксового залишку пелет в паливній котла.

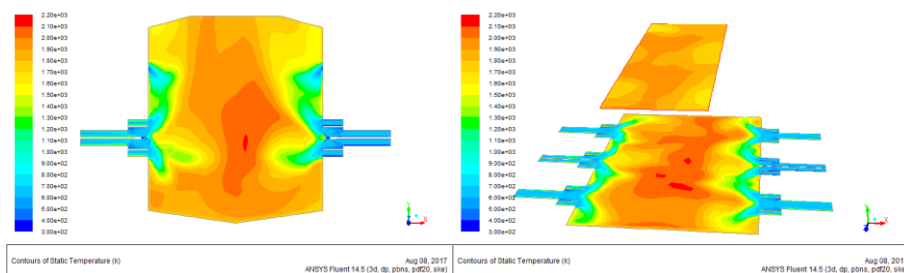


Рис. 6. Розрахункове поле температур (K) у вертикальному перерізі топки (зліва), а також у горизонтальних перетинах на рівні осей пальників і в перерізі пережиму (направо)

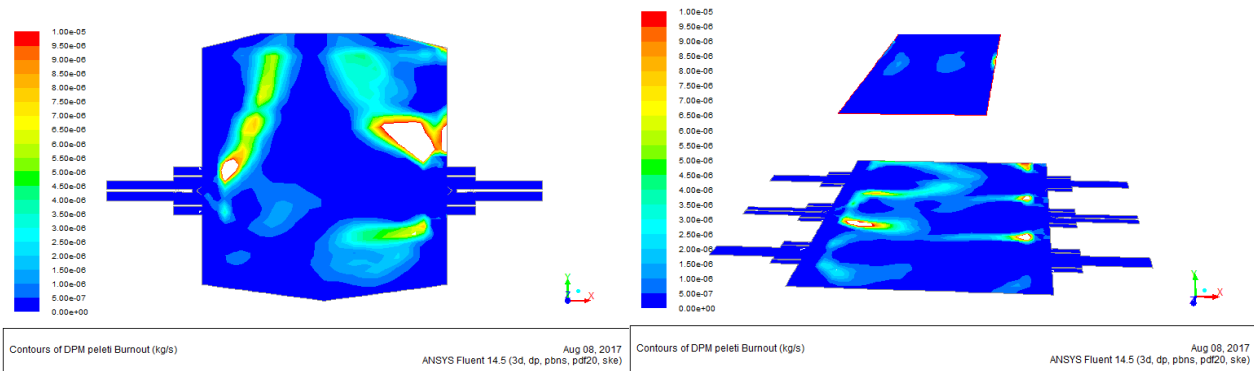


Рис. 7. Поле інтенсивності горіння коксового залишку пелет (кг/с)
у тих же перерізах, що й на рис.6.

Ефективність вигорання в нижній реакційній частині паливні твердого вуглецю антрациту й біомаси за результатами розрахунків склали, відповідно, 93 і 91,4 %, що є досить високим показником.

Висновки

Розроблені авторами статті проекти та створені пілотні зразки передтопкових пристроїв для котлів малої потужності, доцільно рекомендувати для застосування в комбінації з котлоагрегатами типу ДКВР або Е тепловою потужністю 2,5–6,5 МВт в комунальній та промисловій теплоенергетиці з метою заміщення природного газу місцевим відновлюваним твердим паливом (буре вугілля, торф, подрібнена рослинна біомаса, високозольне вугілля та сланці).

На основі експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків процесів спільного спалювання вугілля марки антрацит та твердої біомаси авторами розроблена технологія ССБВ та технічні рішення з її реалізації на енергетичному котлі ТПП-210А Трипільської ТЕС. Доведено принципову можливість спалювання на антрацитових котлоагрегатах суміші антрациту з 10% твердої біомаси з покращенням умов займання факелу та підвищенням ефективності спалювання антрациту.

В Україні сучасна кон'юнктура цін на вугілля та біомасу (з урахуванням впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я населення)

демонструє можливість ефективної реалізації проектів спільного спалювання, але термін окупності розробки залежить від підтримки державою таких екологічно спрямованих проектів. Досвід світових лідерів впровадження такої технології (Великобританія, Данія, Нідерланди, Японія та ін.) демонструють велику різноманітність правових засад цієї підтримки, кожен раз з урахуванням особливості національних умов, перспектив розвитку та екологічного законодавства.

Список літератури

- Гелетуха, Г., & Железная, Т. (2013). Место биоэнергетики в проекте обновленной энергетической стратегии Украины до 2030 года. *Промышленная теплотехника*, 35(2), 64-70.
- Гелетуха, Г. Г., Жовмир, Н. М., Олейник, Е. Н., & Радченко, С. В. (2011). Биомасса как топливное сырье. *Промышленная теплотехника*, 33(5), 76-84.
- Дунаевская, Н. И., Засядько, Я. И., Шупик, И. С., & Щудло, Т. С. (2007). Технологии совместного сжигания биомассы и угля в пылеугольных топках. *Экотехнологии и ресурсосбережение*, 3, 3-8.
- Дунаєвська, Н. І., Зенюк, О. Ю., Коломійченко, М. В., Михайлов, М. П., Мірошніченко, Є. С., Кравець, П. П. та ін. (2018). Спільне факельне спалювання вугілля та біомаси – реальний шлях диверсифікації забезпечення паливом та зниження впливу ТЕС на навколишнє природне середовище. *Енергетика та електрифікація*, 416(6), 17–24.
- Дунаєвська, Н. І., & Щудло, Т. С. (2016a). Дослідження кінетичних характеристик зразків твердої біомаси. *Проблеми загальної енергетики*, 1, 18-24.
- Дунаєвська, Н. І., & Щудло, Т. С. (2016b). Дослідження екологічних та енергетичних аспектів технології спільного спалювання вугілля та біомаси. *Новини енергетики*, 6, 26-27.

- Дунаевская, Н. И., Щудло, Т. С., Бесценный, И. В., & Бондзик, Д. Л. (2013). Совместное сжигание угля и биомассы в факельных котлоагрегатах. *Энергосбережение и энергоэффективность экономики Кузбасса*, 70-75.
- Дунаєвська, Н. І., Щудло, Т. С., & Бондзик, Д. Л. (2016). Спільне спалювання біомаси та антрациту в пиловугільних котлоагрегатах. *Екологія та промисловість*, 4, 87–96.
- Засядько, Я. И., Щудло, Т. С., & Бесценный, И. В. (2009). Экспериментальное исследование процесса совместного факельного сжигания антрацита с древесной биомассой. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 3, 10-17.
- Майстренко, О. Ю., Дунаєвська, Н. І., Засядько, Я. І., Бондзик, Д. Л., Щудло, Т. С., & Вифатнюк, В. Г. (2012). Технологія та пальник для спалювання біомаси як допоміжного палива в факельних котлоагрегатах. *Наука та інновації*, 4, 83–88.
- Майстренко, О., Корчевой, Ю., Топал, О., Чернявський, М., Вольчин, І., Дунаєвська, Н., & Дудник, О. (2014). *Сучасні розробки Інституту вугільних енерготехнологій НАН України для теплової енергетики НАН України*. К.:ГНОЗІС.
- Chernyavskyy, M. V., Dunayevska, N. I., Provalov, O. Yu., & Miroshnichenko, Ye. S. (2020). Scientific basis and technologies of anthracite replacement at thermal power plants. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 33-40.
- Dunaievskaya, N., Chernyavskiy, M., & Shchudlo, T. (2016). Co-combustion of solid biomass in pulverized anthracite-coal firing boilers. *Ukrainian Food Journal*, 5(4), 748–764.
- Dunayevska, N., Zasiadko, Y., & Shchudlo, T. (2018). Thermal destruction kinetics of coal and solid biomass mixtures. *Ukrainian Food Journal*, 7(4), 738 – 752.
- Tillman, D. (2000). Biomass Cofiring: The Technology, the Experience, the Combustion Consequences. *Biomass And Bioenergy*, 19(6), 365-384. doi: 10.1016/S0961-9534(00)00049-0.

МОНІТОРИНГ СТАНУ НАКОПИЧЕНОГО МУЛУ НА ТЕРИТОРІЇ ОЧИСНИХ СПОРУД ЛМКП “ЛЬВІВВОДОКАНАЛ”

Тимчук І.С., Національний університет «Львівська політехніка», к.с.-г.н.,
докторант кафедри ЕЗП, Україна

Мальований М.С., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н.,
професор, зав кафедри ЕЗП, Україна

Бота О.А., ТзОВ «Компанія «Центр ЛТД», директор, Україна

Шквірко О.М., Національний університет «Львівська політехніка», аспірант
кафедри ЕЗП, Україна

Abstract

Human habitation and economic activity significantly affect the environment around him. This influence is especially intense for urban agglomerations. In Ukraine, during the long-term economic activity of cities and towns, huge amounts of solid household waste have accumulated, as well as wastewater treatment products – sewage sludge. The object of the study was the silt sites of Lviv wastewater treatment plants. The primary task for determining the possibility of waste recycling was to calculate the volume of accumulated sludge and determine its composition, especially hazardous compounds. As a result of the conducted researches, the map of a silt field is made. However, these studies have made it possible to calculate the area of the silt field, the average capacity and the total volume of silt deposits of the entire silt field. Also determined the quality indicators of the entire sludge on sludge fields, samples were taken from 16 different points with different depths (0-20, 1.4-1.6; 2,8-3,0) revealed that mobile content forms and gross content of lead (Pb) in the accumulated sediments, as well as to build maps of pollution.

Вступ

Проживання та господарська діяльність людини значною мірою впливає на довкілля, що її оточує. Особливо інтенсивно цей вплив характерний для міських агломерацій. Він обумовлений як викидами промислових підприємств, так і великими об'ємами побутових відходів та стічних вод. Внаслідок цього великих змін зазнають біокомпоненти природних ландшафтів, ґрунти, повітря, поверхневі та підземні води.

В Україні протягом тривалої господарської діяльності міст та селищ накопичилися величезні обсяги твердих побутових відходів, а також продуктів очищення стічних вод – мулів стічних вод. Загальний об'єм осадів стічних вод (ОСВ), що утворюються внаслідок очищення міських стічних вод на каналізаційних очисних спорудах (КОС) становить 0,5–1,0 % від кількості очищених стічних вод за вологості осадів відповідно 97–98 %. Отож, за рік утворюється в середньому близько 1 м³ осадів вологістю 97 % з розрахунку на одного еквівалентного мешканця. Виходячи зі сумарної фактичної продуктивності КОС, в Україні щороку утворюється близько 40–50 млн. м³ ОСВ вологістю 97 % або 1,2–1,5 млн. т осадів у перерахунку на суху речовину. Згідно з ДСТУ 8727:2017 "Осад стічних вод. Підготування органо-мінеральної суміші з осаду стічних вод", загальна кількість накопичених "старих" осадів стічних вод в масштабах України оцінена в 1 млрд. тон. Така ситуація є характерною і для міста Львова.

Накопичення великої кількості мулів стічних вод на відкритих майданчиках території очисних споруд ЛМКП "Львівводоканалу" створює значне навантаження на довкілля, що проявляється у охопленні великої території родючих земель, забрудненні повітря токсичними газами, можливістю потрапляння фільтратів у суміжні водотоки та підземні води.

Великі об'єми утворюваних і накопичуваних протягом десятиліть ОСВ на українських КОС становлять серйозну загрозу для довкілля. Починаючи із 2016 р. в країнах ЄС заборонено складування ОСВ, тобто мулові майданчики

вже не можна використовувати для зневоднення ОСВ. Основними методами остаточного оброблення осадів на КОС у країнах Центральної та Західної Європи сьогодні стали термічне сушіння та спалювання осадів (Bień J. & Bień V., 2015). Водночас, методи сушіння та спалювання осадів характеризуються як високою капітальною вартістю, так і особливо великими експлуатаційними видатками. Ресурсоощадною та енергоефективною альтернативою процесам сушіння та спалювання осадів в умовах України є метод аеробного біокomпостування ОСВ із отриманням органо-мінеральної суміші, що, залежно від її складу, можна використати для вирішення багатьох проблем рекультивації територій сміттєзвалищ і техногенно порушених земель (Barberio, Cutaia & Librici, 2013; Białobrzewski et al., 2015). Питомі капітальні затрати на реалізацію компостування осадів у 3–5 разів нижчі, ніж для процесу сушіння та у 8–10 разів менші за відповідний показник для процесу спалювання. Експлуатаційні видатки на утилізацію 1 м³ осадів методом компостування становлять близько 7 євро, тоді як для термічного сушіння цей показник становить 20 євро, а для спалювання – 45 євро.

Слід відмітити, що ОСВ за містять достатню кількість біогенних елементів, необхідних для росту та розвитку рослин. Численними дослідженнями доведено, що у випадку застосування органо-мінеральних добрив на основі ОСВ збільшується вміст гумусу та підвищується врожайність сільськогосподарських культур. Застосування компостування, як обов'язкової стадії приготування субстрату, дозволяє позбутися патогенної мікрофлори та яєць гельмінтів. Проте оптимальні режими реалізації цього процесу для отримання субстратів широкої області застосування для різних типів об'єктів біологічної рекультивації залишаються недослідженими.

Для проведення вторинної переробки відходів життєдіяльності першочерговим постає завдання розрахунку об'єму накопиченого мулу території очисних споруд ЛМКП “Львівводоканалу” та його складу.

Методи досліджень

Тахеометричне знімання виконувались електронним тахеометром SOKKIA, який дає змогу реєструвати числову та текстову інформацію і виконувати кодування предметів місцевості в польових умовах, а також різноманітні графопобудовники, які після відповідної обробки матеріалів за допомогою програмно-технологічних комплексів типу "Топоград" та "DIGITALS", дають змогу автоматизовано отримувати топографічні плани в цифровому і графічному вигляді. Виміряні на станції віддалі до пікетних точок реєструвались в терміналі даних електронного тахеометра. Паралельно із цим при виконанні знімання на кожній станції викреслювався абрис. Абрис оформлялись умовними знаками (з пояснювальними написами), приблизно дотримуючись масштабу знімання, на окремих для кожної станції аркушах, що орієнтовані по ходу і на яких показують напрям орієнтування. В абрисах показувалась ситуація місцевості та межі даної земельної ділянки. Для обчислення векторів – баз між пунктами використовувалась програма Ashtech Solutitson. Оцінка якості вимірів виконувалась за абсолютними середньоквадратичними похибками визначення місцеположення, точність яких знаходиться в межах 0,05-0,20 м. Камеральна обробка польових даних проводилась на персональному комп'ютері з застосуванням програмного забезпечення "DIGITALS", "INVENTGRAD" та "MAPINFO". Ділянка робіт розташована у північно-східній околиці м. Львів, у 1200 м південніше с. Муроване. 200 м північніше ділянки протікає р. Полтва Район робіт знаходиться в межах північної, північно-східної промзон. Північно-східний промисловий район прилягає до північної промзони і північного промвузла. Тут розташовані міські очисні споруди, бази, склади, автопідприємства.

В структурно-тектонічному відношенні ділянка робіт знаходиться у межах північно-східної окраїни молодшої Західноєвропейської платформи. Її фундамент тут утворюють кристалічні породи так званої Розтоцької зони. Перекритий фундамент потужним чохлом осадових утворень палеозойського та

мезозойського віку. Верхню частину чохла презентують мілководні морські відклади верхньої крейди – *луквинська (K2lk)* і *львівська світи (K2 lv)* що накопичилися в умовах формування Львівської крейдової тектонічної западини. Континентальні утворення неоплейстоценового-голоценового віку мають алювіальний, делювіальний та змішаний генезис.

Мули поля очисних споруд на час відбору проб були тонкодисперсними слабкоущільненими, в окремих місцях значно водонасиченими осадами.

Відбір проб мулових осадів проводився із застосуванням металічної циліндричної труби, типу желонки, із нижнім клапаном. Діаметр пробовідбірника становив 128 мм, довжина 1 м. До верхньої частини пробовідбірника прикручувалася труба, довжина якої нарощувалася за допомогою муфтових з'єднань.

Потужність мулових осадів становила 3 і більше метри. Проби відбиралися в інтервалі глибин 0-0,2 м, 1,4-1,6 м, 2,8-3 м. Такі інтервали були вибрані з метою дослідити еколого-біогеохімічні та паразитологічні характеристики мулів у приповерхневих, середньоглибинних та придонних умовах їхнього перебування. Об'єм відібраної проби становив 2,5 дм³.

Відібрані проби мулів запаковувалися у подвійні поліетиленові пакети. Кожній пробі присвоювався порядковий номер. Номери проб записувалися у журнал відбору проб. Координати точок відбору замірялися та прив'язувалися до місцевості за допомогою геодезичних приладів.

Вміст органічної речовини визначали гравіметрично після сухого спалювання проби згідно з ДСТУ 4289:2004.

Валовий вміст свинцю (Pb) визначали атомно-абсорбційним методом після кислотного розкладу проб в присутності пероксиду водню згідно з МВВ 081/12-0009-01. Вилучення рухомих форм свинцю (Pb) проводили амонійно-ацетатним буферним розчином з рН 4,8 при відношенні ґрунту до розчину 1:5, з подальшим аналізом отриманих витяжок атомно-абсорбційним методом згідно з ДСТУ 4770.1:2007 – 4770.9:2007.

Результати та їх обговорення

Результатом проведених топографо-геодезичних робіт стала карта мулового поля (рис. 1) із чіткою прив'язкою до місцевих координат. Разом з тим ці дослідження дозволили доволі точно підрахувати площу мулового поля, яка становить 12,9006 га, що відповідає 129006 м².

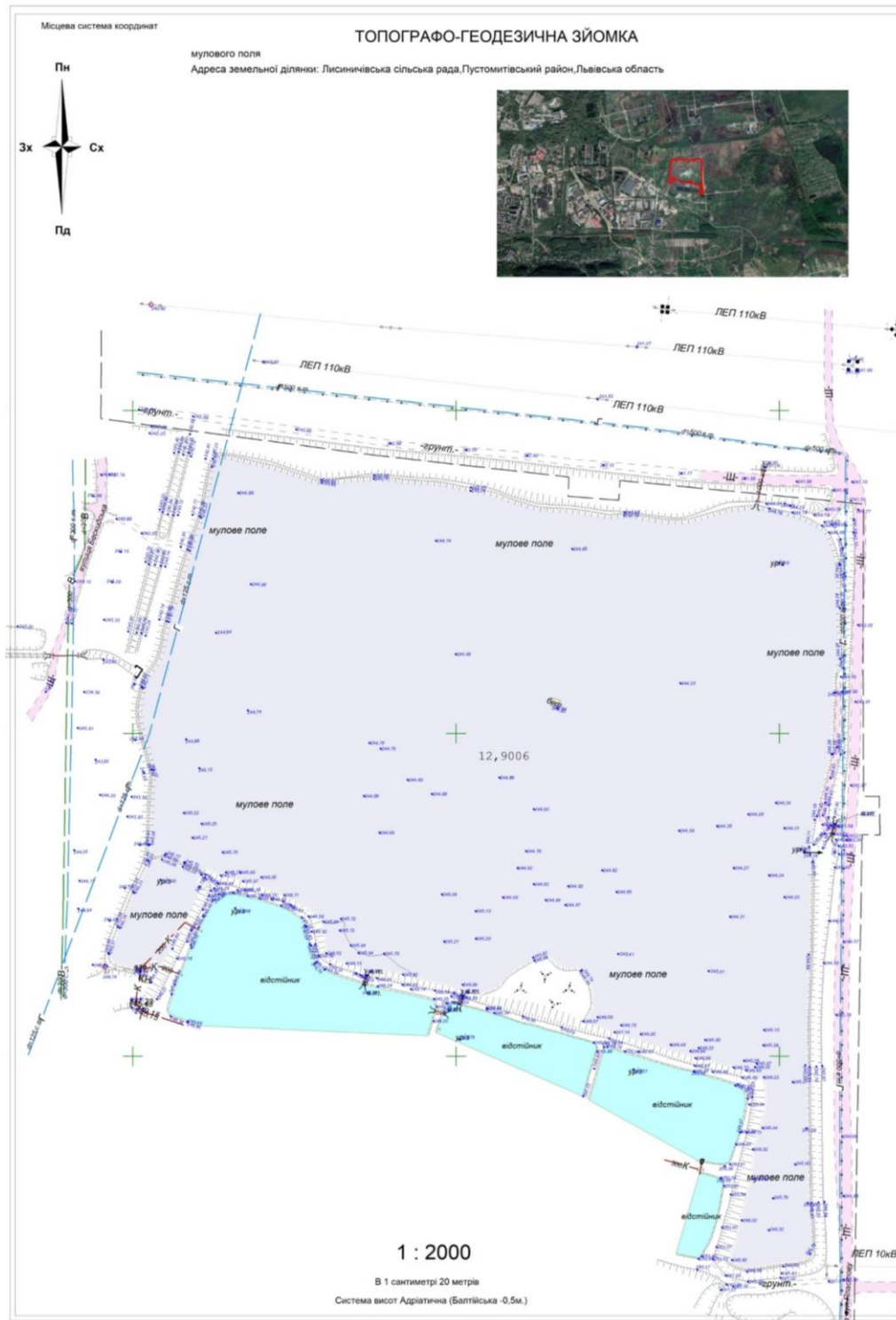


Рис 1. Топографо-геодезична карта мулового поля очисних споруд ЛМКП “Львівводоканал”

Також на основі результатів топографо-геодезичної зйомки побудовано картосхему морфології поверхні мулового поля (рис. 2) та його трьохмірну модель (рис. 3), на яких чітко прослідковується зниження абсолютних відміток поверхні мулу у східному, північно-східному напрямках від майже 247 м до трошки більше 244 м. Перевищення між максимально високою та максимально низькою точками сягає близько 3 м.

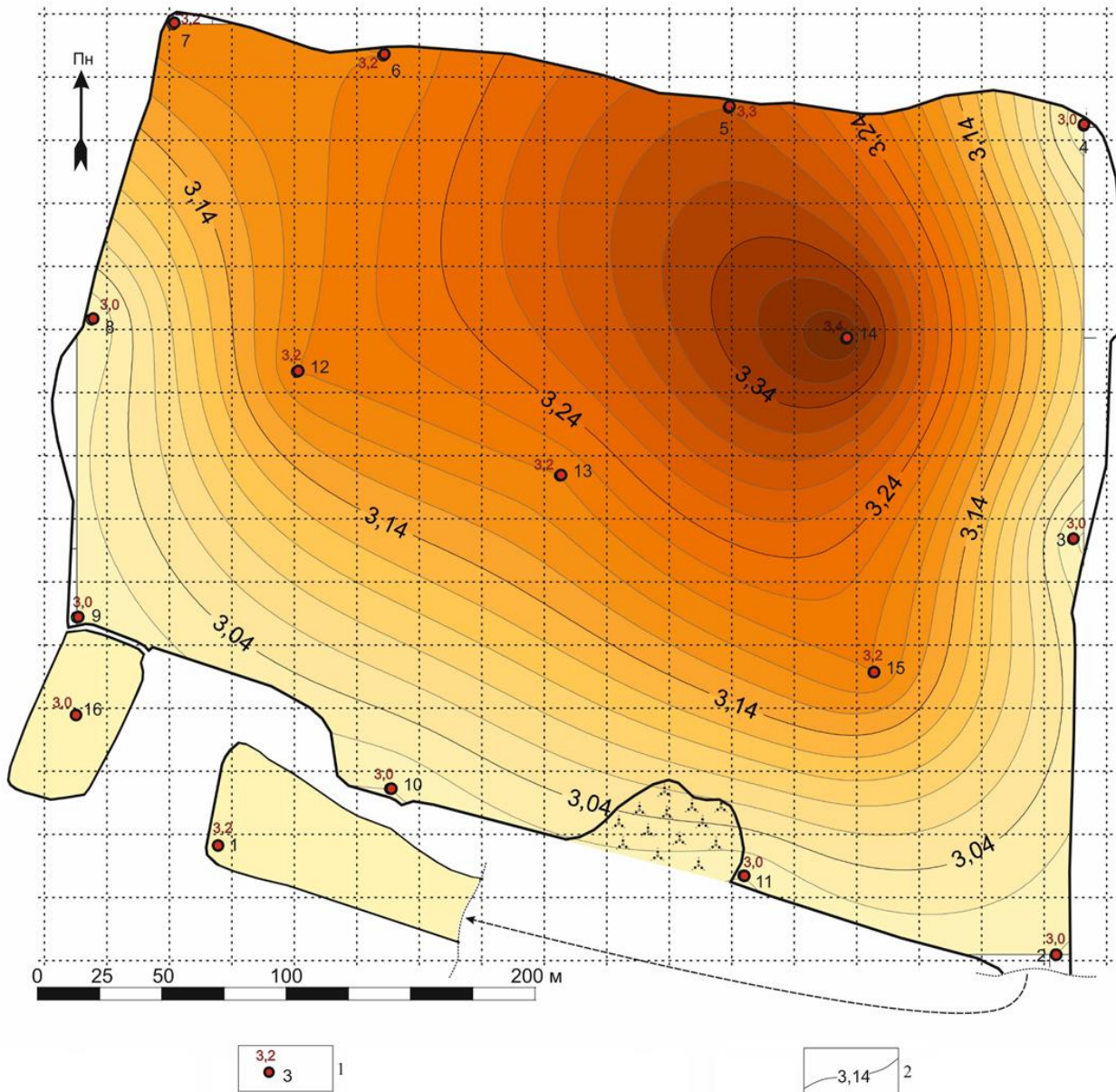


Рис. 2. Картосхема потужності мулових осадів:

1 – номер точки заміру та потужність мулу, м; 2 – ізолінії потужностей (ізопахіти)

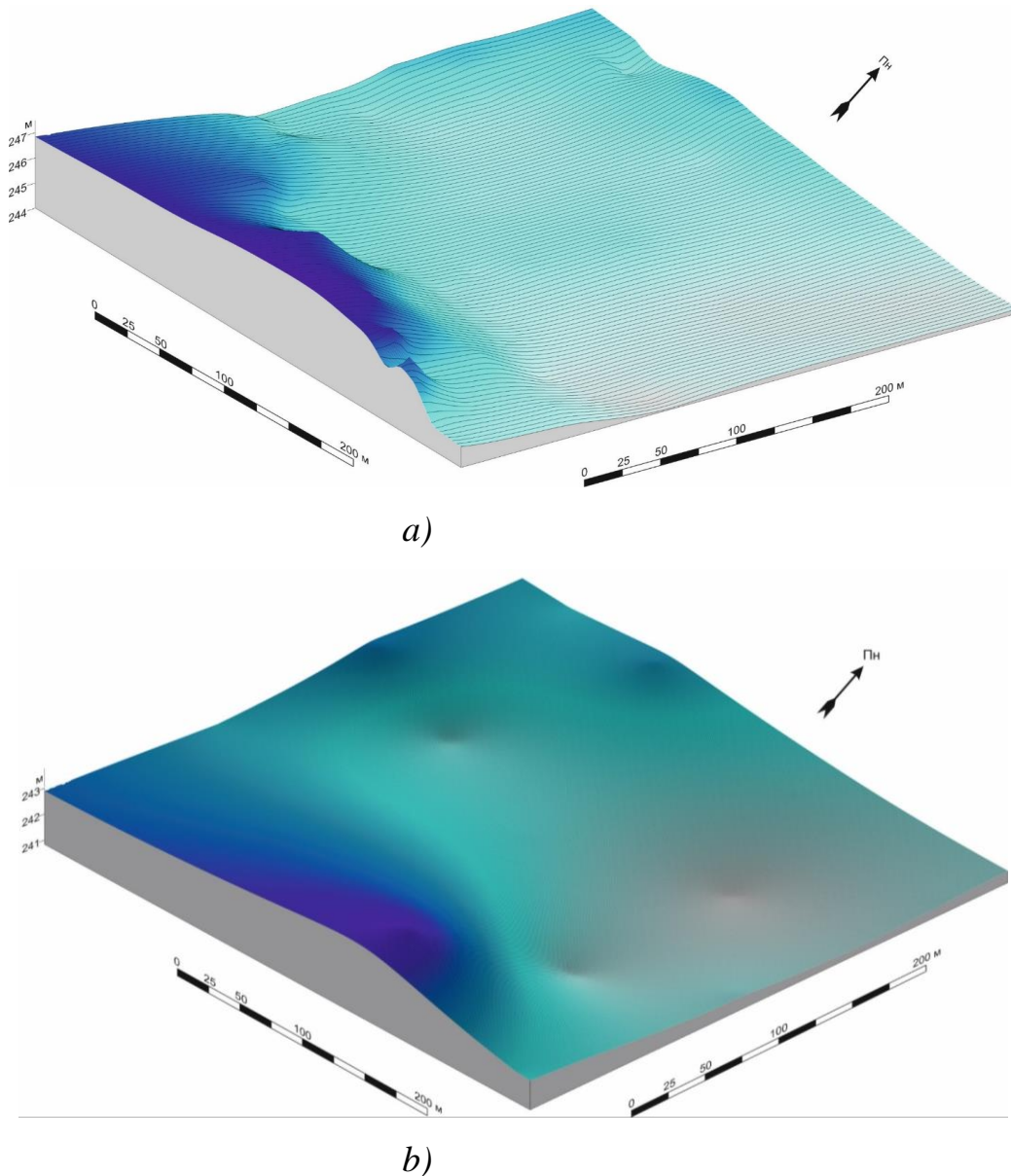


Рис. 3. Трьохмірна модель морфології: а) поверхні мулового поля; б) дна мулового поля

Після проведення топографо-геодезичних робіт здійснювали визначення складу осадів стічних вод, а також вимірювали вміст небезпечних сполук, які в них знаходяться. Одним з найважливіших показників є вміст важких металів. Важкі метали в ґрунті можуть знаходитися в різноманітних по розчинності та рухомості формах, а саме: нерозчинні, які входять до складу ґрунтових мінералів; обмінні, які перебувають у динамічній рівновазі з іонами даного металу в ґрунтового розчині; рухомі та розчинні форми. Між ними існує не тільки тісний взаємозв'язок, а й можливе перетворення одних форм в інші.

Рухомі форми металів можуть нагромаджуватися в ґрунті до великих концентрацій, які зумовлюють їх токсичність як для ґрунтової біоти (Sehin, Hnatush, Maslovska, Halushka & Zaritska, 2020), так і для рослин (Перепелиця, 2004). Вважається, що рухомі форми металів у ґрунтах є найбільш піддатливими для накопичення рослинами. Виходячи з цих ознак, було проведено аналітичні визначення вмістів металів у осадах стічних вод як у обмінній, так і валовій формах знаходження.

Визначення рухомих форм Рb в мулових осадах становить 0,64-2,54 мг/кг (табл. 1). Його ГДК для ґрунту сільськогосподарського призначення – 6,0 мг/кг. У вертикальному розподілі також прослідковується зростання його значень з глибиною.

Таблиця 1

Вміст рухомих форм Рb у мулових осадах (на повітряно-суху пробу)

Номер проби	Вміст Рb, мг/кг в залежності від шару		
	0-0,2 м	1,4-1,6 м	2,8-3,0 м
Свердловина №1.	2,03	1,78	1,45
Свердловина №2.	1,25	2,36	1,36
Свердловина №3.	1,48	1,43	2,25
Свердловина №4.	0,89	1,61	1,36
Свердловина №5.	0,64	1,25	1,47
Свердловина №6.	1,43	1,36	1,46
Свердловина №7.	1,43	1,61	1,45
Свердловина №8.	1,07	0,99	1,25
Свердловина №9.	1,45	1,61	1,25
Свердловина №10.	1,43	2,04	1,38
Свердловина №11.	1,43	1,50	1,49
Свердловина №12.	2,32	1,88	1,06
Свердловина №13.	1,33	1,26	1,48
Свердловина №14.	2,54	1,82	0,79
Свердловина №15.	1,89	2,13	1,50
Свердловина №16.	1,56	1,33	0,95
ГДК для ґрунту (рухома форма металу) [29]	6,0	6,0	6,0

Вміст валового вмісту концентрації Рb коливається в межах 27-45 мг/кг повітряно сухої проби мулового осаду (рис. 4).

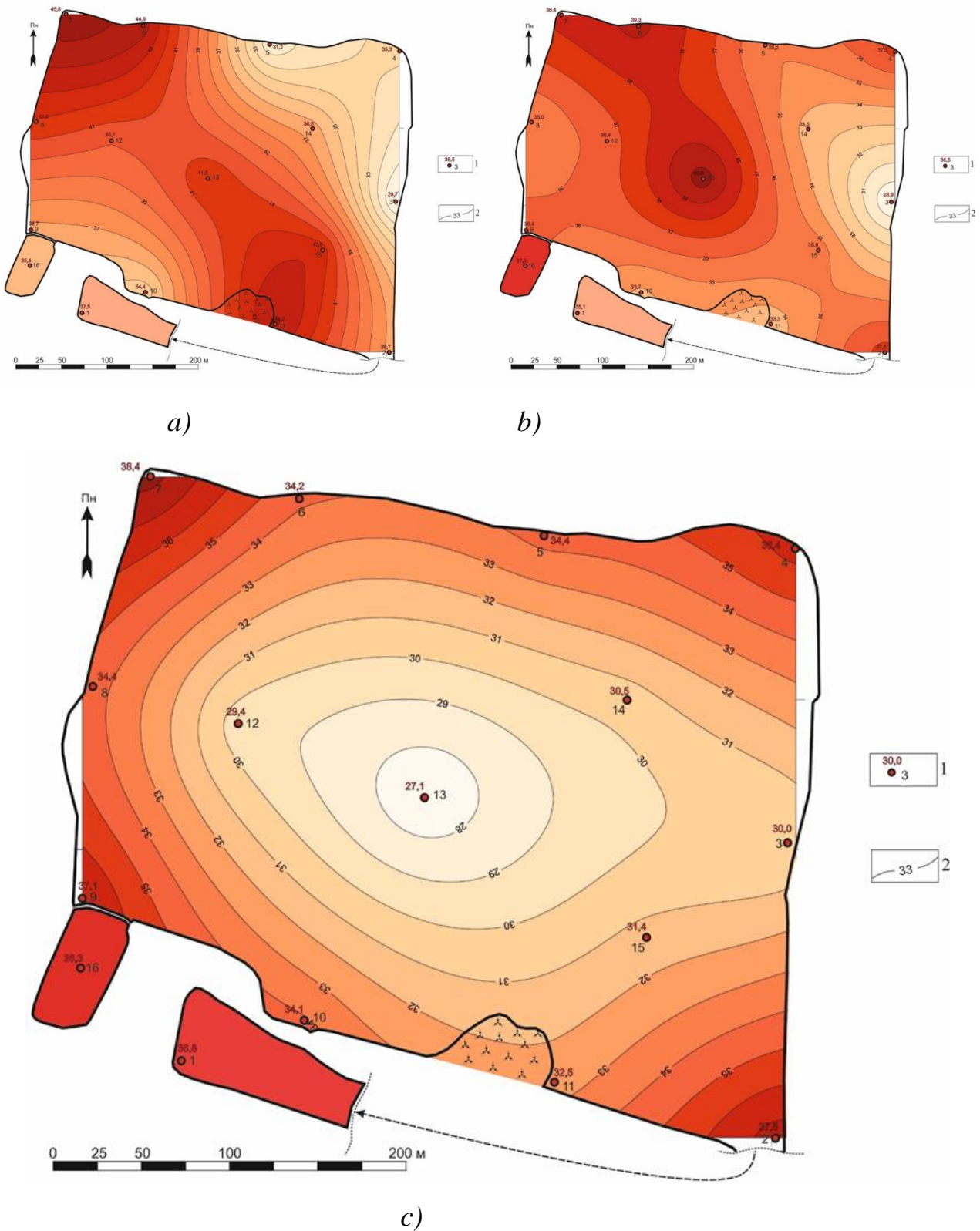


Рис. 4. Картохема вмістів Pb в інтервалі глибини а) 0-0,2, б) 1,4-1,6, в) 2,8-3,0 м:

1 – номер свердловини та вміст Pb, мг/кг ; 2 – ізолінії однакових вмістів Pb

Лімітовані значення для Pb становлять 750-1200 мг/кг та 100-200 мг/кг відповідно (порівняння здійснювали згідно з лімітами затвердженими Розділ 1 Chapter 1

Директивою Євросоюзу для мулів стічних вод з метою їхнього використання у сільському господарстві (Council Directive..., 1986)). У вертикальному розподілі, для центральної частини мулового поля прослідковується зменшення значень Pb з глибиною. У латеральному плані прослідковується певна просторова кореляція вмістів Pb із вмістами у мулах органічної речовини: максимальні концентрації металу у приповерхневому та середньому інтервалах зосереджені у центральній частині мулового поля, у придонному інтервалі – на периферійних частинах, найбільші вмісти металу просторово прямо корелюються із кількістю органічної речовини у мулі.

Висновки

За результатними проведених досліджень визначено площу мулового поля, яка становить 12,9006 га, що відповідає 129006 м² а також побудовано Топографо-геодезичну карту мулового поля очисних споруд ЛМКП “Львівводоканал”. Загальний об’єм мулових осадів всього мулового поля становить 407659 м³. Розрахована середня потужність складає 3,16 м. Дослідження вмісту рухомих форм (0,64-2,54 мг/кг) та валових концентрацій (27-45 мг/кг) свинцю (Pb) показало, що по всій проці мулового поля не спостерігається перевищення гранично допустимих концентрацій для ґрунтів сільськогосподарського призначення. Зрозуміло, що значення ГДК для ґрунтів застосовані лише з метою порівняльного аналізу. Згідно ДСТУ 7359:2013 не перевищують на допустимі вмісти для групи I “Використання в дозах, адекватних стандартним добривам”. Попередні дослідження показали (Тумчук et al., 2020), що одним із перспективних шляхів утилізації даного виду осадів може бути його використання у якості компоненту субстрату для біологічної рекультивації, як об’єкт рекультивації можна використати Грибовицьке сміттєзвалище (Savchyn & Lozynskyi, 2019). Здійснення моніторингових робіт необхідне перед плануванням рекультивації та утилізації мулових полів.

Список літератури

- Barberio, G., Cutaia, L., & Librici, V. (2013). Treatment and disposal of sewage sludge: comparative life cycle assessment on Italian case study. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12(11), 7-10.
- Białobrzewski, I., Mikš-Krajnik, M., Dach, J., Markowski, M., Czekala W., & Głuchowska, K. (2015). Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms. *Waste Management Journal*, 43, 72-83.
- Bień, J. D., & Bień, B. (2015). Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi w obliczu zakazu składowania po 1 stycznia 2016. *Inżynieria Ekologiczna*, 45, 36-43.
- Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86 / 278 / EEC) / *Official journal of the European communities*. – No 1 181 / 6.– 4 . 7 . 86.
- Savchyn, I., & Lozynskyi, V. (2019). Analysis of consequences of waste-slide at Iviv municipal solid waste landfill on may 30, 2016. *Paper presented at the 1st EAGE Workshop on Assessment of Landslide and Debris Flows Hazards in the Carpathians*, doi:10.3997/2214-4609.201902166
- Sehin, T. B., Hnatush, S. O., Maslovska, O. D., Halushka, A. A., & Zaritska, Y. H. (2020). Biochemical indicators of green photosynthetic bacteria chlorobium limicola response to Cu²⁺ action. *Ukrainian Biochemical Journal*, 92(1), 103-112. doi:10.15407/ubj92.01.103.
- Tymchuk, I., Shkvirko, O., Sakalova, H., Malovanyu, M., Dabizhuk, T., Shevchuk, O., ... Vasylynych, T. (2020). Wastewater a source of nutrients for crops growth and development. *Journal of Ecological Engineering*, 21(5), 88-96. doi:10.12911/22998993/122188
- Перепелиця, О. П. (2004). *Екохімія та ендоекологія елементів: довід. з екол. захисту*. – К.: Екохім.

ECOLOGICAL AND LEGAL PROBLEMS OF CRAFT BREWERY IN UKRAINE AND THE METHODS OF THEIR SOLUTION

Bernatska N.L., Department of Physical, Analytical and General Chemistry, Lviv Polytechnic National University, candidate of technical science, Lviv, Ukraine

Falyk T.S., craft brewery “Kumpel”, candidate of technical science, director, Lviv, Ukraine

Starchevskyy V.L., Lviv Polytechnic National University, doctor of technical science, professor, professor of Department of Physical, Analytical and General Chemistry, Lviv, Ukraine

Samsin I.L., Khmelnytsky University of Management and Law, doctor of Juridical Science, professor, professor of Department of Constitutional, Administrative and Financial Law, Khmelnytsky, Ukraine

Abstract

Environmental safety of technologies is of great importance for the food industry. Therefore, a system of measures is needed to prevent the negative impact of production processes on the environment. The analysis of dynamics of development and localization of craft brewing in Ukraine is carried out. It is established that the development of craft beer production in Ukraine has been growing dynamically over the last decade. And although the scale of its production is insignificant in comparison with large breweries, they become a source of pollution of the hydrosphere. We also analyzed the legal aspects of environmental safety of craft breweries.

The degree of ecological danger from environmental pollution in the zone of influence of craft brewing is estimated. Our results show that in the case of using different methods of creating a cavitation field, the following degree of purification

of effluents from yeast is achieved: for ultrasound - 90%; for vibroresonance influence - 80%; for the use of a cavitation pump - 60%.

Introduction

Environmental safety of technologies is achieved through the introduction of low-waste technologies or technological connections that provide a minimum of harmful emissions (Krylova, 2018). The problem of production safety concerns the whole complex of economic and social problems of the economic mechanism and the nature of the use of production potential of the industry, territorial rationality and environmental safety of productive forces, creating conditions to ensure socio-ecological stability. Environmental safety of production is achieved through the rational processing of raw materials and the introduction of waste-free and low-waste technologies, which are characterized by a minimum of dispersed and non-recyclable materials that does not pollute the environment. For this aim, technologies of complex processing of raw materials are used, technological parameters of processes are optimized and their automation is carried out. Enterprises are implementing effective systems for cleaning gas and smoke emissions into the atmosphere and wastewater, disposing of production waste, and developing a system of measures to preserve energy and other natural resources. All this ultimately contributes to the production of high quality eco-friendly food products at minimal cost of natural resources and maintaining a stable dynamic balance in the natural environment of the Earth's biosphere (Matsenko, 2011; Mostenska, 2015). Maintaining a stable positive growth in the number of products in the food industry requires constant technological renewal of enterprises, because the insufficient level of technological base is a problem that requires more intensive implementation of innovations that increase production efficiency (Krylova, 2018; Mostenska, 2015).

The organization of technological processes in the production of beer causes many environmental problems that need to be addressed. In the process of craft beer production, a large amount of water is used. Most of the water is used in the

production of beer, and the rest - in the cooling and washing of equipment (Mostenska, 2015).

The production process is accompanied by the formation of a significant amount of wastewater, including rejected product and water for washing equipment. Such wastewater contains toxic substances that can harm the environment due to the high content of organic matter (Bernatska, Starchevskyy, Pohrebennyk, Bernatska & Typilo, 2018).

Particularly dangerous are solid wastes, which may contain (Mostenska, 2015):

- organic substances, including yeast, waste from filtration and clarification processes;
- bicarbonate obtained during preliminary water purification; sewage sludge;
- hazardous waste, including waste oil and solvents after maintenance and operation of the equipment.

Spent residues at the bottom of tanks and in pipes, as well as rejected beer also form a significant amount of organic waste. Such waste can be used as animal feed or to improve soil properties (Bernatska et al., 2018). Glass, aluminum, plastic, cardboard, polyethylene terephthalate and cellophane film are used for packaging in the brewing industry. Part of the packaging can be used as a returnable container, the other - must be disposed of (Mostenska, 2015).

Understanding the environmental problems that arise in the production of craft beer, stimulates the search for measures to be taken to reduce the negative impact on the environment and minimize environmental risks (Shevchuk, Aftanaziv & Falyk, 2017).

To reduce wastewater pollution it is necessary (Mostenska, 2015; Shevchuk et al., 2017):

- strengthen control over wastewater discharge;
- install or modernize treatment facilities at the enterprise;
- to separate technological, cooling and sanitary effluents to direct wastewater for processing;

- use detergents within the established norms;

To reduce water consumption it is necessary to carry out:

- purification and reuse in water production and optimize the use of water and detergents;
- cooling water recirculation;
- use of taps with automatic shut-off valves, as well as the use of high pressure hoses to minimize water consumption;

To reduce the damage to the environment from solid waste resulting from the production and consumption of food, it is necessary (Mostenska, 2015; Shevchuk et al., 2017):

- ensure the use of packaging that is subject to return (reusable packaging) or recycling;
- use the processing of technological waste to produce lower-class products, such as animal feed;
- use of waste-free technologies and technologies aimed at increasing the yield of finished products per unit of raw material;
- introduction of safe, hygienic waste management systems that do not require cleaning and minimize manual labor;
- use of waste as raw material for compost companies;
- use of reasonable food packaging;

To reduce the impact on the environment by reducing emissions into the atmosphere it is necessary (Mostenska, 2015; Shevchuk et al., 2017):

- introduction of reliable waste management procedures for compliance with sanitary norms;
- transition to refrigerants that do not contain chlorofluorocarbons;
- eliminate leaks in the cooling system;
- insulate refrigeration chambers;
- install cyclone-type dust collectors or fabric filters.

To reduce energy costs it is necessary to:

- use of automatic door closers and alarms in refrigerators;
- energy recovery using heat exchangers for cooling and condensation;
- constant sampling and continuous monitoring of the main production parameters in order to identify and reduce production losses, and, as a consequence, reduce the amount of waste, energy and water consumption (Mostenska, 2015; Shevchuk et al., 2017).

Any modern technological scheme of wastewater treatment must comprehensively address the following main tasks:

- to ensure the reliability and high degree of purification in conditions of changing the quality of source water,
- have sufficient barrier capacity against specific contaminants contained in the source water.

Among the various methods of physical influences on the processes of water treatment and water purification, the methods of cavitation water treatment, which are based on ultrasonic (Strilets, 2016) and hydrodynamic (Bernatska & Typilo, 2019; Malovanyy, Zhuk, Sliusar & Sereda, 2018) perturbation of cavitation in liquids, have become widely used. The results of experimental studies of the effect of cavitation on yeast present in water are described in numerous works by cavitation researchers, in particular in (Bernatska & Typilo, 2019; Mokryj & Starchevskyy, 1987; Marhulys, 1984; Mason & Lorimer, 1988; Shevchuk, Aftanaziv, Strohan & Koval, 2012).

The vast majority of researchers are inclined to believe that the primary cause of the destructive effect of cavitation on yeast cells is the mechanical destruction of the membranes of their cells by the energy of flattening cavitation micro-bubbles in combination with the harmful effects of radicals $\bullet\text{OH}$ and hydrogen peroxide (H_2O_2) (Shevchuk, Starchevskyy, Aftanaziv & Strohan, 2014).

However, despite the rather encouraging results of experimental studies, industrial equipment for cavitation wastewater treatment from yeast has not yet been developed. It should be noted that certain hopes were placed on hydrodynamic vane cavitators (Vytenko & Humnytskyi, 2007). However, due to the insufficient intensity

of the cavitation field formed by them and the sedimentation of bacterial death products on the rotor and stator slits, their use for treatment of highly concentrated brewer's yeast effluents had to be abandoned.

Vibration-resonant cavitators have also proved to be insufficiently effective in the use of beer wastewater treatment (Starchevskyy, Bernatska, Typilo, Oliynyk & Kvit, 2018).

In the case of their use, the reason for the low efficiency was the rapid contamination of the cavitation de-disruptors with yeast, the need for their frequent cleaning from yeast waste. This has rapidly increased the unproductive time spent on maintenance of cavitators and reduced to unacceptable their performance.

Summarizing the literature, we can conclude that currently relevant is the search for environmental, economic and efficient technology for wastewater treatment of craft beer production.

The purpose of our work is to analyze the environmental problems of craft brewery in Ukraine and the methods of their solution.

Materials and methods

The paper studies the effect of different types of cavitation on the rate of oxidation of organic substances (mainly carbohydrates) and the destruction of microorganisms (*Saccharomyces cerevisiae* and bacteria) in brewing wastewater at low concentrations and temperatures close to room temperature.

Methods

Due to the impossibility of individual determination of all components of wastewater in practice use a total estimate of their content by the amount of oxygen consumed for oxidation using potassium dichromate, determining the so-called chemical oxygen demand.

The dichromatic method for the determination of COD is based on the complete oxidation of all organic substances contained in water by potassium

dichromate ($K_2Cr_2O_7$) in the presence of sulfuric acid (method EPA 410.4) (Starchevskyy et al., 2018). The essence of the method of assessing the degree of destruction of microorganisms is to determine the total number of microorganisms capable of growing on meat peptone agar at a temperature of $37 \pm 0.5^\circ C$ for 24 ± 2 h in 1 ml of water, followed by colonies grown on this medium.

Equipment

For high-quality disinfection of brewing wastewater from biological and organic contaminants, including brewer's yeast *Saccharomyces*, we investigated the efficiency of using a complex of treatment equipment using ultrasonic, vibration-resonant and electromagnetic cavitation pump.

On the first stage, the process wastewater contaminated with brewer's yeast underwent the stage of coarse treatment, by passing them through a grid to retain coarse impurities through the layer of pellets.

Then the coarsely treated wastewater with a concentration of biological contamination in the range (10^4 - 10^5) CFU/cm³ enters the settling tank, where the heavier fraction settled to the bottom. After 2 hours of settling, partially treated beer wastewater from the settling tank was fed to the stage of final fine treatment.

To conduct experiments to establish qualitative and quantitative characteristics of emissions in the brewing process used a laboratory mini-brewery from the brewery "Kumpel" manufactured by "Zip Technologies" - a batch installation that allows you to fully reproduce the brewing process and perform experiments at low consumption of raw materials and energy.

Results and discussion

1. The analysis of dynamics of development and localization of craft brewing in Ukraine

Over the last decade, craft brewing has been widely developed in Ukraine (low-tonnage - 10 - 600 tons of beer per month) (Fig. 1).

The brewing industry is one of the leading industries in Ukraine. It expands annually due to the introduction of new technologies, modern equipment and original recipes (Tatar, 2019). The domestic beer market has more than 880 varieties. In terms of sales in the segment of alcoholic beverages, it ranks first and is 46.1% (Tatar, 2019).

Mini-breweries produce small batches of craft beer - natural, without dyes, preservatives, pasteurization and according to special recipes. This drink is of interest to consumers, its sales are constantly growing. Today there are about 200 small breweries in Ukraine. According to PostEat, the top list of the best breweries includes "VARVAR", "Pravda", "Collider Brevery", "Tsypa", "Bierwelle", "White Rabbit", "Andrii's Craft Brewery", "K&F Brevery" (Yake pyvo piut ukraintsi, Internet-resurs).

However, this trend is changing every year. The increase in demand for the drink and the opening of new mini-breweries began intensively only a few years ago with the support of the state. Thus, in accordance with the Law of Ukraine of December 20, 2016 "On Amendments to the Tax Code of Ukraine and Certain Legislative Acts of Ukraine to Ensure Balanced Budget Revenues in 2017" in part five of art. 15 of the Law of Ukraine "About the state regulation of production and circulation of ethyl, cognac and fruit alcohol, alcoholic beverages and tobacco products" amendments were made according to which from January 1, 2017 the license fee for mini-productions producing up to 3 thousand hectoliters was reduced. If earlier they had to pay half a million UAH for an annual license, now only 30 thousand. Today, out of 125 Ukrainian breweries, 35 are craft breweries. For comparison, in Germany there are about 1,000, and in the United States - more than 4,000 of craft breweries. However, in order for craft breweries to be competitive, the current legislation needs to be improved, the beer license must be calculated according to the volume of production, and not in general.

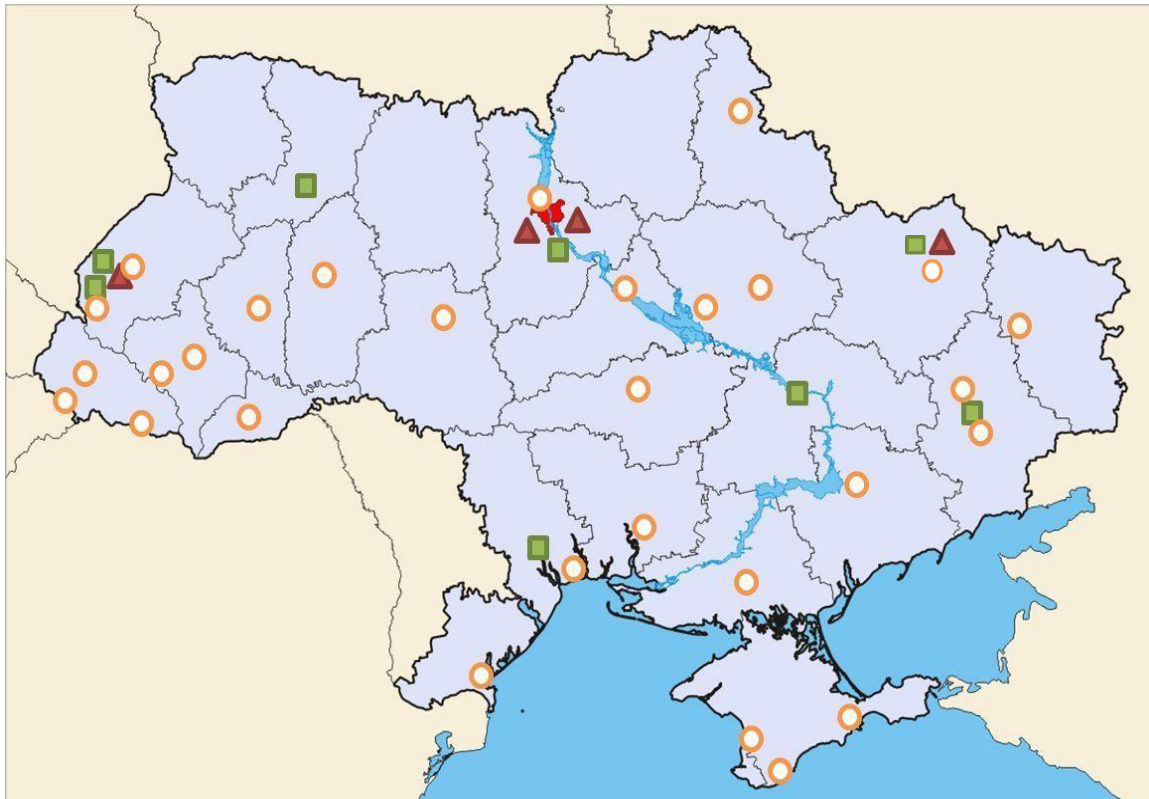
In addition, it is necessary to cancel the certification of production for the brewing industry, certification and confirmation of conformity of products, production licensing, to regulate the minimum wholesale or retail prices. Failure to

take these measures could lead to the actual suspension of beer production by small breweries or the transition to the shadow sector of the economy.

In our opinion, domestic tax and administrative licensing legislation needs to be improved and harmonized with the legislation of the European Union for the effective establishment of craft production.

The development of the craft beer market in our country on an industrial scale restrains, first of all, the cost of making such a drink. As a rule, it is 1.5-2 times more expensive than traditional mass market beer. Therefore, its producers must inform the consumer why this drink should be preferred, and this is an increase in advertising and promotion costs. Today, the culture of niche beverage consumption in Ukraine is developing through various beer festivals, where the brewery can recommend its product. (Yake pyvo piut ukrainsi; Shevchuk et al., 2017).

Craft brewing and takeaway keg beer production will also develop in the coming years. But the share in the overall market structure of these beverages will still remain low. And although over the past three years the trend of consumption of premium and super-premium segments of beer is growing, but the middle and low price categories still occupy about 70% of the market and without increasing the solvency of the population it is unlikely to change. Therefore, to interest the buyer with new drinks, manufacturers try to reduce the cost of the product in all possible ways: to buy other raw materials, to introduce energy-saving technologies, to reduce the cost of production technology - all to reduce the cost of the finished product (Yake pyvo piut ukrainsi; Shevchuk et al., 2017).



▲- 2008 year.; ■ - 2013 year; ○- 2018 year;

Fig. 1. Trends in the development of craft breweries in Ukraine for 2008 – 2018 years

Concern for the environment should be one of the activities of every enterprise and should be conditioned by a conscious attitude to the results and consequences of their management. Tasks of ecological nature (economical use of water, waste disposal, reduction of electricity consumption, etc.) are set by main beer producers on the Ukrainian market.

Leaders of the beer market have an active position on the issues of taking into account the environmental consequences of their activities, and they inform the public about the measures taken in the field of environmental protection.

Leading enterprises in the brewing industry in Ukraine are constantly introducing new technologies aimed at:

- economical use of water: Obolon's project for re-use of water saves about 500 thousand tons of this resource annually (Matsenko, 2011);

- reduction of emissions into the atmosphere (the company "SUN InBev Ukraine" in 2017, reduced carbon dioxide emissions in the field of logistics by 15%;
- Obolon plants have introduced plants for processing carbon dioxide, which is formed during the fermentation of beer);
- waste reduction (Obolon company processes beer pellets, which is formed during the production of barley and malt wort, PET packaging);
- Improving the quality of products: beer brand "Chernihiv", produced by "SAN InBev Ukraine", the only one to date received an international eco-certificate (Yake pyvo piut ukrainsi; Shevchuk et al., 2017).

Implemented projects allow to get not only ecological, but also economic effect: increasing competitive advantages, reducing the cost of production per unit of output, improving the company's image. However, environmentally oriented projects require significant investment costs and may not be implemented by all beer market participants due to the financial component. (Yake pyvo piut ukrainsi. Internet-resurs).

However, it should be noted that if for large companies the problem of use and disposal of by-products, then for small producers it becomes an impossible task not only in technology but also economic feasibility and technical condition of production (lack of free space) (Shevchuk et al., 2017).

2. The sources of environmental danger of craft brewery

The sources of environmental danger of craft brewing are closely related to the localization of solid waste, wastewater and emissions into the atmosphere. There are three sources of environmental hazards:

1. Source of environmental hazard 1: air pollution due to the release of carbon dioxide during the fermentation stage. 17 m³ of CO₂ are released per 1 ton of beer produced. Carbon dioxide emissions from craft breweries are not critically high, and it is impractical to install special equipment to capture carbon dioxide from

emissions. Emissions are managed using a carbon tax or the purchase of emission quotas in accordance with EU practice.

2. Source of environmental hazard 2: yeast effluents, which are released 150 kg. per 1 ton of beer released. 25 kg of effluent is precipitated at the stage of filtration (adsorbed by pellets). There are 125 kg of liquid effluents left, which contain 3.75 kg of yeast. This source of environmental hazard is the most dangerous contaminant of craft brewing and create the most significant environmental hazard in the area of influence of craft beer production.

3. Source of ecological danger 3: pellets - solid waste of craft brewing. Formed 265 kg per 1 ton of beer with a humidity of 40 -60%. Contains 15% protein, 3.5% fat and 6.5% fiber. Traditionally used for animal feed. In the proposed technology is used to pre-filter through a layer of yeast effluent. As a result, the first stage of wastewater treatment is implemented. The pellet is additionally enriched with nutrients, its consumer quality for fattening farm animals is improved. Using it for fattening farm animals can completely minimize the impact on the environment and minimize this source of environmental danger.

Brewery wastewater has the following average composition: pH = 5-10.5; suspended solids (SS) = 1392 mg/dm³; chemical oxygen demand (COD) = 4187 mgO₂/dm³; biological oxygen demand (BOD₅) = 2596 mgO₂/dm³; ammonium nitrogen = 14 mg/dm³; phosphates = 19 mg/dm³; fats - absent.

These wastewaters are characterized by high concentrations of organic pollutants, but do not contain toxic impurities. In this case, organic pollutants are components of plant raw materials that, like all substances of biological nature, can be oxidized.

3. The degree of ecological danger from environmental pollution

The ability to biologically oxidize organic impurities is evaluated by the ratio of BOD/COD and if it is more than 0.5, it is advisable to use aerobic biological processes (Falyk, Shevchuk, Starchevskyy, Strogan & Aftanaziv, 2017; Koval,

Kislenko, Shevchuk & Starchevskyy, 2011). However, when applying biological treatment, the following basic conditions should be observed: it is necessary to take into account the productivity of the enterprise, its location, the mode of wastewater receipt and their composition (content of nutrients, suspended solids, fats, pH fluctuations, etc.) (Sakalova, Malovanyy, Vasylynych & Kryklyvyi, 2019). In the case of high concentrations of pollutants and their diversity, given the ability to oxidize and different oxidation rates of individual components, it is necessary to use in addition to aerobic processes also anaerobic and anoxide methods of water treatment (Shevchuk et al., 2017; Falyk, Shevchuk, Starchevskyy & Aftanaziv, 2016; Koval et al., 2011).

3.75 kg of yeast is released into the effluent per 1 ton of craft beer produced (the mass of effluent per 1 ton of beer produced is 125 kg). Given that within Ukraine the total volume of craft beer is 180,000 tons/year, the amount of yeast that enters the effluent (and in the absence of a purification system pollutes the hydrosphere) is $180,000 \times 3.75 = 675,000 \text{ kg} = 675 \text{ tons}$.

We proposed to filter the beer through the pellet, with 25 kg of effluent (20% by weight of effluent) is deposited at the filtration stage. Then the total amount of yeast that enters the effluent for 1 ton of craft beer is $0.8 \times 3.75 = 3 \text{ kg}$, and for the entire volume of craft beer production in Ukraine - $180,000 \times 3 = 540,000 \text{ kg} = 540 \text{ tons}$.

We found (Fig. 2) that regardless of the way in which cavitation was perturbed (ultrasonic, vibration-resonant or by means of an electric pump-cavitator), almost the same effect is observed in the treatment of yeast effluents - degradation constants of biological contaminants are of the same order and differ by 10 - 15%.

Based on our research results (Fig. 2), the use of ultrasound can achieve 90% purification, vibration resonance allows 80% to clean the effluent from yeast, and the use of a cavitation pump - 60%. Thus, regardless of the method of perturbation of cavitation, the same cleaning effects are observed - the destruction of organic and biological contaminants in the cavitation field.

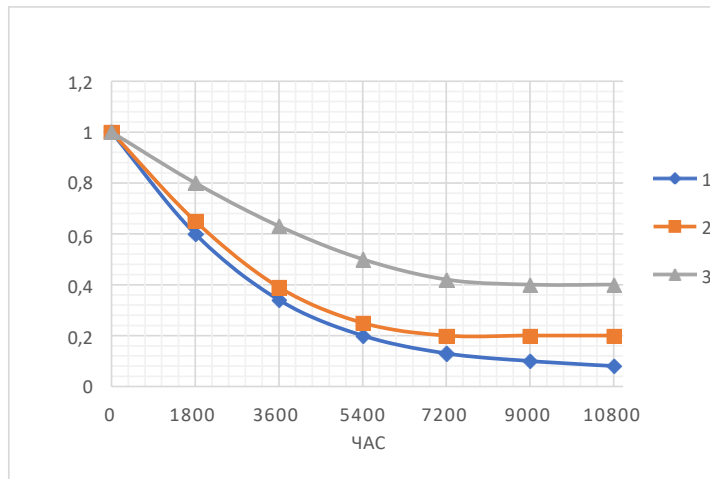


Fig. 2. The curves of changes in the microbial count of brewer's yeast effluents with different methods of cavitation treatment, given per 100 W of energy consumed:

1 - ultrasonic ($k_d = 1.15 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$), 2 - vibroresonance ($k_d = 1.24 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$),

3 - by means of the electric pump-cavitator ($k_d = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)

We calculated the final amount of yeast in the effluent after the implementation of these alternative methods of treatment.

Therefore, per 1 ton of beer produced, the amount of yeast in the effluent for these alternative methods of treatment will be:

- in the case of ultrasound - $3 \times 0.1 = 0.3 \text{ kg}$;
- for vibroresonance influence - $3 \times 0.2 = 0.6 \text{ kg}$;
- in case of application of the cavitation pump - $3 \times 0.4 = 1.2 \text{ kg}$.

On the scale of Ukraine it will be:

- in the case of ultrasound - $0.3 \times 180000 = 54000 \text{ kg}$;
- for vibroresonance influence - $0.6 \times 180000 = 108000 \text{ kg}$;
- in case of application of the cavitator pump - $1.2 \times 180000 = 216000 \text{ kg}$.

In each case, the choice of a specific scheme of wastewater treatment is determined by a set of technical and economic indicators: production conditions, requirements for acceptance of wastewater into the city sewer or diverting it to other types of wastewater receivers, specific pollution indicators that differ for other industries and more.

Based on the above calculations, we will assess the reduction of the degree of environmental danger from contaminated effluents from craft brewing, conditionally taking the case of discharge of untreated effluents for 100% pollution of the environment by effluents from craft brewing. Since the impact of one type of pollution is analyzed - the content of yeast in the effluent, we conditionally equate the degree of purification from these contaminants with the degree of reduction of environmental hazards. Since the impact of one type of pollution is analyzed - the content of yeast in the effluent, we conditionally equate the degree of purification from these contaminants with the degree of reduction of environmental hazards from the impact of effluents on the environment. The results of the environmental hazard assessment are shown in Fig.3.

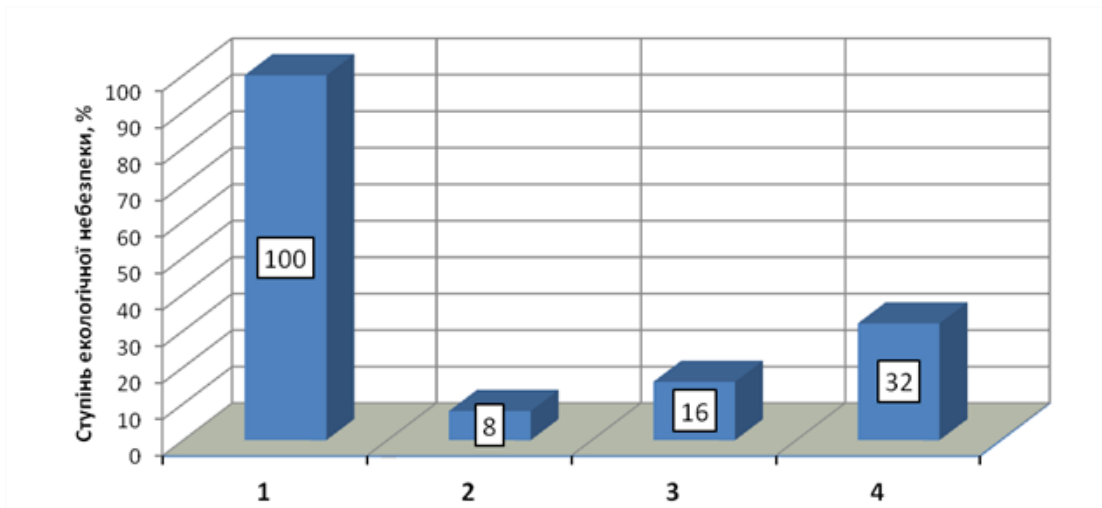


Fig. 3. The degree of environmental hazards due to the impact on the hydrosphere of craft brewing effluents for different methods of wastewater treatment: 1 - without treatment;
2 - in the case of ultrasound; 3 - in case of vibration resonance;
4 - in case of application of the cavitation pump.

This analysis is necessary to select a wastewater treatment strategy for each specific craft beer production. The analysis was performed per 1 ton of craft beer, which is produced. The data of this analysis are presented in Fig. 4.

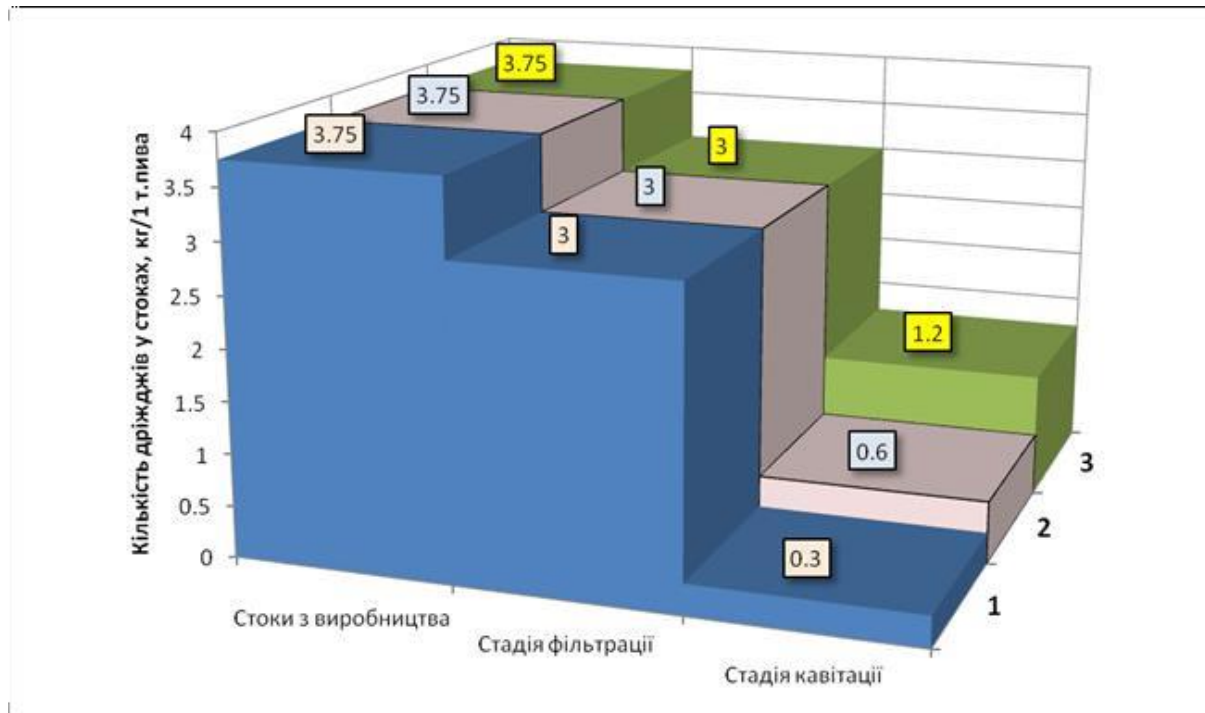


Fig. 4. The amount of yeast in the wastewater of craft production at different stages of treatment:
 1 - in the case of ultrasound; 2 - in case of vibration resonance;
 3 - in case of cavitation pump application.

The choice of a specific purification strategy is determined on the basis of technical and economic analysis for the analyzed enterprise of craft beer production.

Conclusions

The analysis of dynamics of development and localization of craft brewing in Ukraine is carried out. It is established that the development of craft beer production in Ukraine has been growing dynamically over the last decade. And although the scale of its production is insignificant in comparison with large breweries, they become a source of pollution of the hydrosphere.

By analyzing the stages of craft beer production, the sources of ecological danger in the area of influence of craft brewing were identified. It is established that the most dangerous source of ecological danger is yeast effluents, which emit 150 kg per 1 ton of beer. It is these effluents that create the most significant environmental hazard in the area of influence of craft beer production.

The degree of ecological danger from environmental pollution in the zone of influence of craft brewing is estimated. Our results show that in the case of using different methods of creating a cavitation field, the following degree of purification of effluents from yeast is achieved: for ultrasound - 90%; for vibroresonance influence - 80%; for the use of a cavitation pump - 60%. The dependences of the degree of ecological danger due to the impact on the hydrosphere of craft brewing effluents for different methods of wastewater treatment and the amount of yeast in the craft production effluents at different stages of treatment are constructed.

References

- Bernatska, N., Starchevskyy, V., Pohrebennyk, V., Bernatska N., & Typilo I. (2018). Improving environmental safety of food industry enterprises. *Water Supply and Wastewater Disposal. Monografie.* 263-271.
- Bernatska, N., & Typilo, I. (2019). Zastosuvannia kavitatsiinykh tekhnolohii dlia vyrishennia problemy ratsionalnoho vykorystannia vodnykh resursiv na pidpriemstvakh kharchovoi promyslovosti. *Pryrodno-resursnyi ta enerhetychnyi potentsialy: Napriamy zberezhennia, vidnovlennia ta ratsionalnoho vykorystannia. Kolektyvna monohrafiia. Poltava,* 135-142.
- Falyk, T. S., Shevchuk, L. I., Starchevskyy, V. L., & Aftanaziv, I. S. (2017). *Sposib vibrore-sonanasnoho kavitatsinoho znezarazhennia stichnoi vody pyvovarinnia vid drizhdzhiv Sac- charomyces.* Patent Ukrainy na korysnu model №126760.Zaiavl.04.12.2017, opubl. 10.07.2018, bul.№13.
- Falyk, T. S., Shevchuk, L. I., Starchevskyy, V. L., Strogan, O. I., & Aftanaziv, I. S. (2016). *Vibratsynyi elektronasos-kavitator.* Patent Ukrainy na korysnu model №108205. Zaiavl.21.12.2015, opubl. 11.07.2016, bul. №13.
- Koval, I., Kislenko, V., Shevchuk, L., & Starchevskyy, V. (2011). Kinetic regularities of the processes of accumulation and destruction of microorganisms in water at bubbling of the different gases. *Chemistry&Chemical Technology, Vol.5., No.4,* 463-467.

- Krylova, I. I. (2018). Analiz suchasnoho stanu sfery vodopostachannia ta vodovidvedennia v Ukraini. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, № 23, 118 – 125.
- Malovanyy, M., Zhuk, V., Sliusar, V., & Sereda, A. (2018). Two stage treatment of solid waste leachates in aerated lagoons and at municipal wastewater treatment plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 1(10), 23 - 30.
- Marhulys, M. A. (1984). *Osnovy zvukokhymyy*. Moskov: Vysshaia shkola.
- Mason, T., & Lorimer, Ph. (1988) *Sonochemistry: theory, application and uses of ultrasound in chemistry*: N. Y.
- Matsenko, O. M. (2011). Sotsio-ekoloho-ekonomichni problemy vodopostachannia v Ukraini. *Mekhanizm rehuliuвання ekonomiky*, № 4, 264-271.
- Mokryj, E. N., & Starchevskyy, V. L.(1987). *Ultrazvuk v protsessakh okysleniia orhanicheskikh soedyneni*. Leningrad.
- Mostenska, T. H. (2015). Ekolohichni zahrozy pry vyrobnytstvi kharchovykh produktiv. *Intelekt KhKhI*, №3, 93-99.
- Sakalova, H., Malovanyy, M., Vasylynych, T., & Kryklyvyi, R. (2019). The Research of Ammonium Concentrations in City Stocks and Further Sedimentation of Ion-Exchange Concentrate. *Journal of Ecological Engineering*, V20, №1, 158-164.
- Shevchuk, L., Aftanaziv, I., & Falyk, T. (2017). Vibrocavitation decontamination of brewing yeast containing wastewater. *Chemistry&Chemical Technology*, Vol.11, No 4, 475-479.
- Shevchuk, L., Strogan, O., & Koval, I. (2012). Equipment for magnetic-cavity water disinfection. *Chemistry and Chemical Technology*, Vol.6., No. 2, 219-223.
- Shevchuk, L. I., Falyk, T. S., Nykulyshyn, I. E., & Melnyk, S. R. (2017). Doslidzhennia efektyvnosti kavitatsinoho ochyshchennia stichnykh vod spytzavodu vid orhanichnykh zabrudnen v prysutnosti riznykh haziv. *Schidno-Evropeiskyi zhurnal peredovykh tehnolohii*, №3/10 (87), 56-62.

- Shevchuk, L. I., IAftanaziv, I. S., Strohan, O. I., & Koval, I. Z. (2012). Avtonomnyi vibratsiinyi kavitator dlia znezarazhennia tsia- nobakterii ta aeratsii vody vidkrytykh vodoim. *Vodne hospodarstvo Ukrainy, №1(97)*, 30-36.
- Shevchuk, L. I., Starchevskyy, V. L., Aftanaziv, I. S., & Strohan, O. I. (2014). *Vibro-rezonansni nyzkochastotni heneratory*: Lviv.
- Starchevskyy, V., Bernatska, N., Typilo, I., Oliynyk, L., & Kvit, R. (2018). Determination of the Cavitation Influence on the Destruction Process of Microorganisms Cells Agglomerates. *Chemistry&Chemical Technology, Vol. 12, No. 4*, 462–465.
- Strilets, I. (2016). Otsinka yakosti pytnoi vody mista Lvova. *Naukovi zapysky, №1*, 212-222.
- Tatar, L. V. (2019).. *Formuvannia yakosti pyva z dodavanniam netradytsiinoi roslynnoi syrovyny*. (Dysertatsiia).
- Vytenko, T. N., & Humnytskyi, Ya. M. (2007). Mekhanyzm aktyvyruishcheho deistvyia hydrodynamyche- skoi kavytatsyy na vodu. *Khymyia y tekhnolohyia vody, t. 29. №5*, 422-431.
- Pecypc: Yake pyvo piut ukrainsi. Internet-resurs.* Retrieved from <https://agroreview.com/news/yake-pyvo-pyut--ukrayinci>

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ХАРЧОВОЇ ГАЛУЗІ

Попович О.Р., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., доц., доцент кафедри екології та збалансованого природокористування інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола, Україна

Гавришко М.І., Національний університет «Львівська політехніка», аспірант кафедри екології та збалансованого природокористування інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола, Україна

Вронська Н.Ю., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., доцент кафедри екології та збалансованого природокористування інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола, Україна

Abstract

As one of the leading sectors of Ukraine's economy, the food industry has significant prospects for development both in the national market and abroad. For effective progress, it is provided with both raw materials and labor needs. The main industries that account for a significant share of food industry exports; meat, sugar, cereals, milling, wine, canning, milk processing, etc. In particular, the alcohol industry, as one of the components of food, medical, chemical and various industries, leads to the formation of huge amounts of waste, including wastewater. The food industry, like any other industry, has a negative impact on the environment. Water bodies are most affected by the food industry. Almost the first place in terms of water consumption per unit of production is the production of alcohol. Consumption of large amounts of water leads to the formation of wastewater, which is highly polluted and adversely affects the environment. suspended solids, low pH of such waste in the filtration fields and discharge into water bodies is not possible.

Вступ

Харчова промисловість - пріоритетна і стратегічно важлива галузь, яка здатна забезпечити не тільки потреби внутрішнього ринку, а й вагоме місце держави в когорті світових країн – лідерів із виробництва продуктів харчування. Доступність харчових продуктів, їх якість та екологічність впливають на рівень продовольчої безпеки держави, виступають індикаторами її соціальної стабільності. Харчова промисловість є основною переробною ланкою агропромислового комплексу.

Харчова промисловість включає в себе сукупність галузей, підприємства яких виробляють продукти харчування, напої, тютюнові вироби, мийні засоби, косметичну та парфумерну продукцію. Харчова промисловість є важливою, можна сказати, що є однією з ключових галузей промисловості будь-якої держави. Підприємства харчової промисловості формують продовольчу безпеку країни, забезпечуючи населення життєво необхідними товарами (Швед і Новіков, 2011).

В харчовій промисловості України налічується понад 40 різноманітних галузей і виробництв, які створюють продукти харчування: цукрову, молочну, олійно-жирову, борошномельну, м'ясну, борошномельно-круп'яну, спиртову, пивоварну, рибну, хлібопекарську, макаронну, кондитерську, лікєро-горілчану, виноробну, консервну, соляну, овочеву тощо. Окрім того, харчова промисловість випускає косметичні вироби, добрива, комбїкорми, тютюнові та ін. В переважній більшості підприємства галузі переробляють сільськогосподарську сировину, а також добувають мінеральні води, кухонну сіль (Тимчак, 2016).

Продукція, яку виробляє харчова промисловість користується постійним попитом. Вона відноситься до товарів першої необхідності, адже на харчі витрачається половина бюджетів вітчизняних домогосподарств; галузь тісно переплітається із сільським господарством, а відтак підвищення ефективності функціонування підприємств, що до неї належать, неможливе без вирішення

проблем, які наявні сьогодні в тваринництві та рослинництві (варто зазначити, що харчова промисловість є постачальником комбикормів для тваринництва); ринок продовольства характеризується значною ємністю, що робить харчову промисловість достатньо привабливою для інвестицій.

Актуальність теми. Розглядаючи питання комплексного фізико-хімічного і біологічного методу очищення промислових вод харчової промисловості і використання відходів харчової промисловості, перебуває не лише ідея впровадження у виробництво маловідходних і безвідходних технологій, а ще й залучення відходів у виробничі процеси підприємств як вторинної сировини. Це дозволяє перетворювати вторинну відпрацьовану сировину однієї галузі у цінний продукт для іншої галузі з наступним широким спектром використання, зокрема у виробництві спирту та слабо алкогольних напоїв, пива (Зінчук, 2014)

Об'єктом дослідження є промислові води спиртових та пивних заводів, а також процес комплексного використання відходів даних галузей.

Найбільшими антропогенними джерелами, які негативно впливають на забруднення природних вод є промислові стічні води. Характерною ознакою стічних вод є непостійність хімічного складу, та великі об'єми утворення.

Зокрема, спиртова промисловість, як одна з складових, харчової, медичної, хімічної та різних галузей промисловості, призводять до утворення величезних обсягів відходів, в тому числі відпрацьованих вод. Харчова промисловість, як і будь-яка інша галузь спричинює негативний вплив на довкілля. Найбільшого шкідливого впливу від харчової промисловості зазнають водні об'єкти. Майже перше місце за витратами води на одиницю продукції займає саме виробництво спирту (Захарова, Бублієнко та Семенова, 2019). Споживання великої кількості води несе за собою утворення на стічних вод, які є сильно забрудненими і негативно впливають на довкілля.

За рахунок високих показників хімічного та біологічного споживання кисню, специфічного кольору та запаху, завислих речовин, низького значення рН очищення таких відходів на полях фільтрації та скид у водні об'єкти не можливий.

На сучасному своєму етапі розвитку харчової промисловості в Україні, спиртова промисловість є однією із провідних галузей, що динамічно розвивається. Водночас дана галузь харчової промисловості є джерелом негативного впливу на навколишнє середовище (Шестопалов, Гетта та Рикусова, 2019). За ступенем інтенсивності взаємодії спиртової промисловості з довкіллям перше місце серед об'єктів природи посідають водні ресурси, які використовуються в більшості технологічних процесів для отримання продуктів як основна або допоміжна сировина. За витратою води на одиницю продукції, що випускається, спиртова промисловість посідає одне з перших місць.

Підприємства з виробництва спирту етилового, спирту етилового ректифікованого виноградного, спирту етилового ректифікованого плодового також є «виробниками» великої кількості стічних вод, що характеризуються значним рівнем забруднень. Так, 95% стічних вод, що утворюються в процесі виробництва, містять високі концентрації забруднюючих речовин та без попереднього очищення не можуть бути скинуті в комунальну систему водовідведення і природні водойми. Стічні води характеризуються високим вмістом завислих часток і органічних домішок. Особливістю стічних вод є значний вміст розчинених органічних речовин. Скид даних вод у каналізаційні мережі міст забороняється, а вивід і збирання їх на «полях фільтрації» призводить до утворення токсичних речовин, які забруднюють атмосферне повітря на великій території (Гончар, Самойленко та Огурцов, 2019).

Головним напрямом захисту водного середовища у промисловості є перехід підприємств до роботи за схемою замкнутого циклу водопостачання, коли підприємство після очищення власних стічних вод повторно використовує їх у технологічному циклі, а забруднені та неочищені стічні води взагалі не

потрапляють у водойми. На жаль, в Україні рівень очищення стічних вод дуже низький. Існуючі очисні споруди, які мають більшість підприємств, вилучають лише 10–40% неорганічних речовин (40% азоту, 30% фосфору, 20% калію) і практично не вилучають солі важких металів.

Результати дослідження та їх обговорення

Для проведення експерименту було відібрана проби стічної води на одному із спиртзаводів. Дослідження відбувалося протягом 10 місяців. За цей час, нами було розраховано і визначено значення ХСК за стандартними методиками. Визначали початкові значення ХСК. На експериментальній установці, після 7, 14, 21, 35 -денного неперервного перемішування і постійним насиченням киснем, розраховували значення ХСК. Динаміка показників ХСК значно зменшилася, адже на початку ХСК відібраної проби стічної води становило – 111319,52мг/дм³. Кінцеве значення ХСК стічної води становило – 1078,56мг/дм³. Основною метою експерименту було зменшити значення ХСК, так як промислові вод спиртової галузі характеризуються високими значеннями, а також підібрати штами мікроорганізмів за допомогою яких можна знизити концентрацію поллютантів у промислових водах спиртової галузі.

Також розглянуто можливість використання сучасних технологій біологічного очищення, що засновані на використанні специфічних біологічних співтовариств для глибокої утилізації як органічних, так і неорганічних забруднень. В порівнянні із іншими методами, біологічні методи очищення стічної промислової води переважають економічною складовою, адже експлуатаційні витрати є меншими.

Один з таких методів є ANAMMOX – сучасний, економічно та екологічно ефективний, раціональний метод видалення аміаку із стічних вод і газоподібних відходів. Порівняно з традиційними методами нітрифікації/денітрифікації цей метод дозволяє зменшити витрати (до 90%) з одночасним зменшенням емісії

CO₂ до 90%. Позитивним є також те, що підприємству необхідно більш ніж наполовину менше площі для даної установки, ніж при традиційних методах нітрифікації/денітрифікації. Технологія ANAMMOX вже зарекомендувала себе в Європі як ефективна і економічна (Ауэрман, 2003).

Переваги технології ANAMMOX:

- Висока ефективність денітрифікації;
- Зменшення емісії CO₂ до 90%;
- Зменшення площі для розміщення установки (до 50%);
- Низьке енергоспоживання: економія до 60%;
- Відсутня потреба в метанолі;
- Установка не вимагає постійного обслуговування;
- Зниження кількості надлишкового мулу;
- Ефективне розкладання аміаку і стабільне функціонування установки.

Технологія ANAMMOX може використовуватися для усунення амонію із стічних вод усіх видів з відносно високою концентрацією амонію ($\text{NH}_4^+\text{-N} > 100$ мг/л), які утворюються в таких областях:

- очищення води від органічних речовин;
- харчова промисловість;
- виробництво добрив;
- хімія і нафтохімія;

Відходи, що утворюються в харчових галузях потрібно переробляти і використовувати як вторинний ресурс.

Наприклад на кожній стадії виробництва пива утворюються різні відходи, які потребують повторного використання або утилізації, тому поряд з основними проблемами при виробництві пива (зменшення собівартості сировини та отримання високоякісного пива), постає ряд проблем, які є не менш актуальними, а саме ефективне використання відходів як вторинної сировини, оскільки це може призвести до забруднення навколишнього середовища та екології загалом при неправильності чи відсутності належних

способів їх переробки. Основними відходами пивоварного виробництва є солодові ростки (солодовий цвіт) та пивна дробина. Переробка пивної дробини потребує найбільше уваги.

Тверді відходи можуть включати: органічні речовини, відходи від фільтраційного та освітлювального процесів; вилучений під час очистки гідрокарбонат; шлами з очисних установок; відходи, що утворились під час технічного обслуговування та експлуатації, відходи від упаковки. Відпрацьовані дріжджі та браковане пиво також створюють велику кількість відходів. Дані відходи можна використати повторно в сільському господарстві (Снежкін та Петрова, 2010).

Пивоварні використовують холодоагенти, які потрібні для охолодження продукту на різних стадіях виробництва. Дані речовини можуть руйнувати озоновий шар і завдати серйозний ризик здоров'ю людини.

Стічні харчової промисловості, в тому числі і виробництво спирту, різноманітні, як за компонентним складом, так і за концентрацією забруднюючих речовин і складною фізико-хімічною системою.

Технологія очищення даного виду стоків, являє собою комбінацію, що включає наступні блоки:

Блок механічного очищення. Оскільки барда являється суспензією, першим блоком очисних споруд є блок усереднення та розділення барди на фази: кек – тверда складова та фугат – рідка складова. Для розділення барди на фази використовують спеціальні пристрої (апарати вихрового струму, центрифуги, декантери тощо). Також для інтенсифікації процесу, дозуються хімічні реагенти

Тверду фазу (кек) можна використовувати в якості кормів для худоби, добрив або вивозитися на полігон ТПВ (при потребі встановлюють блок додаткового зневоднення або осушування). Рідка фаза (фугат) направляється на очисні споруди.

Блок фізико-хімічного очищення – реагентна обробка, флотація. Даний етап очищення виробничих стічних включає обробку реагентами. Забезпечується в реакторах при підтриманні високого рН середовища та постійним насиченням озоном. Відділення утвореного завису флотацією, забезпечується на флотаторах, при дозуванні хімічного реагенту для укрупнення завису. Додаткове насичення флотованого шламу повітрям створює сприятливі умови для сорбованих органічних з'єднань.

Блок біологічного доочищення – аеротенки, біофільтри при скиді очищених стоків у водойму (дренаж). В аеротенках та біофільтрах відбувається процес біологічної очистки стоків, а саме – окислення органічних забруднень та переведення сполук азоту в нітратну форму. Для цього використовується активний мул, котрий являє собою біоценоз мікроорганізмів – мінералізаторів, здатних сорбувати на своїй поверхні й окисляти в присутності кисню органічні речовини стічної рідини (Дробот, 2006).

Дану комбінацію можна використовувати, як основу для створення типових очисних споруд для подальшого використання їх на нових підприємствах та заводах спиртової промисловості, які мають право будуватися в Україні з 01 липня 2021 року, відповідно до Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про державне регулювання виробництва і обігу спирту етилового, коньячного і плодового, алкогольних напоїв, тютюнових виробів та пального» щодо лібералізації діяльності у сфері виробництва та обігу спирту етилового № 318-IX (Закон України....).

Висновки

Спиртова галузь України є одним із найбільших споживачів води, необхідної для технологічних процесів, отже, вагомим виробником стічних вод, які суттєво впливають на довкілля України через скид недостатньо очищених або неочищених стічних вод у водойми.

Виробничі стічні води спиртових підприємств характеризуються як концентровані багатокомпонентні водні розчини (суспензія) з підвищеним вмістом забруднюючих речовин, тому водоохоронні нормативи не дозволяють їх скидання в каналізаційну мережу, а також у відкриті водойми без попереднього очищення. Складність очищення таких стічних вод зумовлена полідисперсним складом забруднень та поєднанням органічних, неорганічних розчинних і нерозчинних сполук, які утворюють стійкі колоїди та дисперсні системи.

Тому зазвичай стічні води спиртових підприємств неможливо очистити одним способом без комбінації різних методів та відповідного устаткування.

Пандемія викликана вірусом Covid-19, для світової спільноти та її економіки виявилась швидшою і жорсткішою ніж очікувалось. Практично всі країни активізують внутрішні ресурси і Україна не є виключенням.

Як результат було прийнято низку законодавчих актів для врегулювання ситуації, в тому числі і Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України, спрямованих на забезпечення додаткових соціальних та економічних гарантій у зв'язку з поширенням коронавірусної хвороби (COVID-19)" № 540-І, що набрав чинності 2 квітня.

Відповідно до даного закону, Державному Підприємству "Укрспирт" дозволили виготовляти дезінфекційний засіб (сировину для антисептиків) на базі заводів підприємства (Закон України...)

За три тижні ДП "Укрспирт" поставило виробникам 3,3 млн літрів дезінфекційного засобу. Відвантаження дезінфекційного засобу відбувалось з 12 заводів ДП "Укрспирту". Для оперативності додатково запустили два заводи у Львівській та Черкаській областях ("Укрспирт"...).

Загалом за 1 півріччі 2020 року державним підприємством було вироблено 3,3 млн. декалітрів спирту, а в цей же час 2019 року - 2,5 декалітрів спирту (Чистий прибуток...). Що свідчить про значне зростання потужностей підприємств спиртової промисловості не тільки на сучасному етапі розвитку

харчової промисловості а і потреб медичної та профілактично- лікувальної галузі.

Водночас таке нарощення потужностей підприємств спиртової промисловості призводять до утворення величезних обсягів відпрацьованих вод, які формують стічні води виробничого процесу (1 л етанолу супроводжується утворенням 12-14 л стічних вод) та об'єму після спиртової барди (12-15 дм³ на 1 дм³ спирту).

За витратами сировини виробництво спирту – наймасштабніше біотехнологічне виробництво в світі, а етанол за вартістю валового продукту – третій серед великотоннажної продукції.

Станом на сьогодні в Україні, паралельно, відбувається поетапне впровадження концепцій збалансованого використання природних ресурсів та екологічно безпечного, енергоефективного розвитку підприємств промислового та виробничого спрямування. Основна мета їх впровадження спрямована на необхідність того, щоб забезпечення потреб людства у ресурсах не суперечило пріоритетам охорони навколишнього середовища та здоров'я людей.

На особливу увагу на підприємствах харчової та спиртової промисловості заслуговують біологічні методи очищення. Досягнення останніх десятиліть у мікробіології, гідробіології та біотехнології дають змогу стверджувати, що сучасні біологічні методи можна успішно використовувати для очищення стічної води від більшості забруднюючих компонентів (Овчаренко, Ларінцева та Огурцов, 2019). Сучасні біологічні методи, до яких відносяться анаеробне (метанове) бродіння дозволяють не тільки очистити стічні води, але також отримати високоякісні добрива та електроенергію від спалювання біогазу.

Підсумовуючи вище викладене, хотілося б ще раз наголосити на тому, що харчова промисловість відіграє надзвичайно важливу роль в економіці нашої держави. Та незважаючи на наявність багатьох проблем, ця галузь може й повинна залишатися провідним сектором національного промислового виробництва. Серед інших країн світу Україна має найбільш сприятливий

природний, геополітичний і ресурсний, людський потенціал для розвитку харчової промисловості, раціональне використання якого забезпечило б їй провідне місце на світовому й регіональних продовольчих ринках. Саме тому вдосконалення та створення концептуально нових методів очищення стічної води спиртових підприємств та харчової промисловості в Україні загалом, є актуальним науковим завданням.

Список літератури

- Ауэрман, Л. Я. (2003). *Технология хлебопекарного производства*. Учебник, 9-е изд., перераб. и доп. СПб: Профессия
- Гончар, Є. В., Самойленко, С. І., & Огурцов, О. М. (2019). Удосконалення біотехнології виробництва етанолу з використанням нетрадиційної сировини. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*, 2, 233
- Дробот, В. І. (2006). *Технологія хлібопекарського виробництва*. Підручник для учнів проф. техн. навч. закл., Київ, Техніка
- Ресурс: Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України, спрямованих на забезпечення додаткових соціальних та економічних гарантій у зв'язку з поширенням коронавірусної хвороби (COVID-19)". Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/540-20#Text>
- Ресурс: Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про державне регулювання виробництва і обігу спирту етилового, коньячного і плодового, алкогольних напоїв, тютюнових виробів та пального» щодо лібералізації діяльності у сфері виробництва та обігу спирту етилового. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/318-20#Text>
- Захарова, Р. А., Бублієнко, Н. О., & Семенова, О. І. (2019). Біотехнологічний процес метанового зброджування стічних вод. *VIII Міжнародна науково-*

практична конференція Сучасні досягнення фармацевтичної технології і біотехнології (pp. 186-188)

Зінчук, Т. О. (2014). Економічні наслідки впливу продовольчих органічних відходів на природні ресурси світу. *Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції «Органічне виробництво і продовольча безпека»*, Житомир, Полісся, (pp. 103-108).

Овчаренко, К. В., Ларінцева, Н. В., & Огурцов, О. М. (2019). Удосконалення біотехнології виробництва кормового концентрату вітаміну В₁₂ з відходів спиртових заводів. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*, 2, 309

Снежкін, Ю. Ф., & Петрова, Ж. О. (2010). Харчові порошки з рослинної сировини. Класифікація, методи отримання, аналіз ринку. *Biotechnologia Acta*, 3(5), 43-49

Тимчак, В. С. (2016). Оцінка еколого-економічної ефективності використання відходів харчової промисловості. *Економіка АПК*, 10, 102-109.

Ресурс: «Укрспирт» поставив уже більше 3 мільйонів літрів сировини для антисептиків. Retrieved from <https://www.epravda.com.ua/news/2020/04/27/659845/>

Ресурс: Чистий прибуток ДП «Укрспирт» за перше півріччя 2020 року склав 21 мільйон гривень. Retrieved from http://ukrspirt.com/news/novini_pidpriemstva/chistij_pributok_dp__ukrspirt__za_pershe_pivrichchja_2020_roku_sklav_21_miljon_griven.html

Швед, О. В., & Новіков, В. П. (2011). *Екологічна біотехнологія, част.1*. Підручник для студ., Вищих навч закл., Львів.

Шестопапов, О. В., Гетта, О. С., & Рикусова, Н. І. (2019). Сучасні методи очищення стічних вод харчової промисловості. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*, 2(25), 20-27

РОЗДІЛ 2

ІННОВАЦІЙНІ ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ. ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ, ВОДИ ТА ЕНЕРГІЇ. ЕКОІНОВАЦІЇ В АРХІТЕКТУРІ

МОДЕЛЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ СМОЛИ КУ-2 В РОЗЧИНАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

Петрушка І.М., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н.,
професор, зав кафедри ЕБПД, Україна

Петрушка К.І., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н.,
асистент кафедри ХІ, Україна

Abstract

The use of natural cation exchangers as an inter-membrane backfill in the electro dialysis of contaminated water is proposed. Based on experimental data, the dependences of the specific electrical conductivity on the concentration of solutions containing chlorine and ammonium nitrate were obtained, which allowed to determine the concentration of the isoconductive solution. The point of intersection of the obtained dependences for the pure solution and the system "ion exchanger - solution" indicates the value of the concentration of the isoconductive solution (at which the concentration of electrical conductivity of the solution is the same as that of the resin). A method for measuring the resistance of the granular ion exchange resin layer after removal of the equilibrium solution by centrifugation is proposed. The types of intermembrane backfill have been experimentally determined and the optimal modes of electro dialysis realization in an electrolyzer with intermembrane backfill have been established. The conducted research provides an opportunity to implement the principle of a model approach to describe the conductive properties of ion exchange materials and its experimental verification. A mathematical model of the conductivity of ion exchange resins in solutions of different salts and columns has been developed, which combines theoretical approaches of three conductive and microheterogeneous models. An algorithm for calculating the physico - chemical parameters of the water purification process by the method of electro dialysis with ion exchanger membranes using ion exchangers in the form of granules as an

intermembrane backfill has been developed. The use of the obtained results will allow to predict the parameters of the process of ion exchange purification of model solutions of wastewater and multicomponent industrial solutions.

Вступ

Електродіаліз застосовується для демінералізації питної води. Основним обладнанням є електродіалізатори, що складаються з катіонітових та аніонітових мембран. Електродіаліз із іонітовими мембранами, який є одним із головних методів мембранних технологій, це комбінований метод, в якому суміщаються процеси електролізу та діалізу (Гнусин, Демина, Березина и Кононенко, 2004; Гнусин и Демина, 2006).

Перевагою електродіалізу перед іншими способами є відсутність фазового перетворення води, яке відбувається під час дистиляції, виморожування чи застосування газогідратного способу (Гнусин, Гребенюк и Певницкая, 1972; Гнусин, Демина и Анникова, 2009).

Проте метод електродіалізу має певні недоліки, а саме:

можливість утворення осадів карбонату кальцію, гідроксиду магнію та гіпсу в разі роботи в умовах поляризації; «отруєння» катіонообмінних мембран залізом, манганом, а аніонообмінних – органічними речовинами, які містяться в оброблюваній воді;

недостатньо висока селективність мембран, наявність концентрованих відпрацьованих розчинів і, знову ж таки, необхідність попереднього очищення води.

Здебільшого процеси електродіалізу проводять у розчинах, які очищені від іонів жорсткості, або концентрація яких у цих розчинах невисока.

Стічні та шахтні води у випадку їх недостатнього очищення потрапляючи в поверхневі водойми, ґрунтові води, водоносні пласти створюють загрозу забруднення цих середовищ, а оскільки гідросфера є однією із складових біосфери - відповідно і загрозу для довкілля в цілому.

Процес очищення води електродіалізом базується на поділі іонізованих речовин під дією електрорушійної сили, яка створюється в розчині по обидві сторони мембран. Він зумовлений міграцією іонів через мембрану під дією прикладеної різниці потенціалів. Для того, щоб виключити процес дифузії, необхідно, щоб іонопроникні мембрани володіли селективністю, тобто здатністю пропускати іони із зарядом одного знаку. Іншими словами, позитивно заряджені мембрани (аніоноактивні) повинні пропускати тільки аніони, а негативно заряджені (катіоноактивні) – тільки катіони.

Електродіаліз відрізняється від звичайного електролізу тим, що між електродами встановлюються напівпроникні перегородки (мембрани), розміри пор яких допускають проникнення крізь них іонів розчинених речовин, але перешкоджають проходженню більш великих частинок, що показано на рис. 1. Тоді за рахунок упорядкування руху іонів у анодному відділенні накопичуються аніони розчинених речовин, а у катіонному – катіони, і тим самим досягається необхідне обезсолення води. З утворених концентрованих розчинів проводиться регенерація цінних речовин.

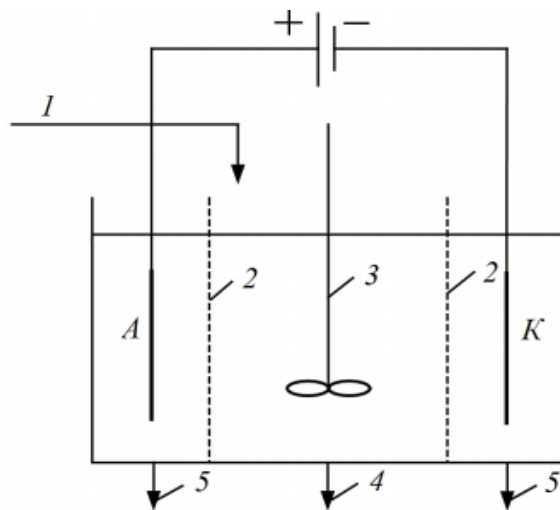


Рис. 1. Електродіаліз: 1 – подача стічної води (рідини);
2 – напівпроникні перегородки (мембрани); 3 – мішалка;
4 – випуск очищеної рідини; 5 – випуски концентрованих розчинів.

Ефективність роботи електродіалізаторів підвищується при улаштуванні перегородок з іонітових матеріалів, які представляють собою плівки, виготовлені на основі полімерних матеріалів із доданням порошків іонообмінних смол.

Гранульовані іоніти використовуються не тільки в іонообмінній технології, але і в електромембранних процесах в якості засипки між мембранами в камерах знесолення електродіалізаційних апаратів, в яких максимальний опір розчину.

Для моделювання процесів електромасопереносу в таких насадкових електродіалізаторах необхідно мати інформацію по транспортно-структурних параметрах і механізмі перенесення струму не тільки в іонообмінних мембранах (Гнусин та ін., 2004; Гнусин и Демина, 2006), але також і в гранульованих іонітах. В даний час є численні літературні дані про електропровідність іонообмінних смол в розчинах електролітів різної природи, проте інформація про механізми перенесення струму в цих матеріалах відсутня.

Для знаходження часток струму, що протікає через різні структурні фрагменти неоднорідної системи, може бути використана трьохпровідна модель, яка використовується для іонообмінних колонок (Гнусин та ін., 1972).

Після доповнення цієї моделі рівняннями зв'язку між її параметрами і структурними параметрами двухфазної моделі з'явилася можливість використовувати таку розширену модель для опису електропровідності смол і мембран (Гнусин та ін., 2009; Демина, Кононенко и Фалина, 2014).

Іонообмінні смоли, як і мембрани, є мікрогетерогенними матеріалами, що складаються з гелевої фази і включень рівноважного розчину. Гелева фаза іонообмінної смоли представляє сукупність гідратованих іонних пар фіксований іон - протиіон, і її гідратна ємність, яка визначає величину електропровідності смоли, залежить від іонної форми останньої.

Метою цієї роботи є дослідження впливу природи протиіона на перенесення струму через структурні фрагменти сульфокатіонітової смоли КУ-

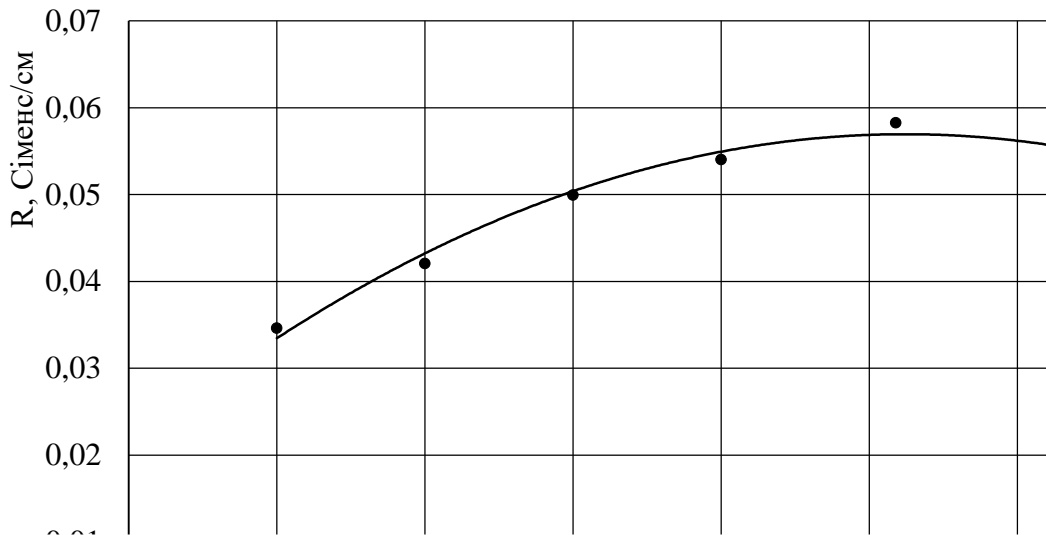
2 шляхом аналізу параметрів розширеної трьохпровідної моделі, визначених з концентраційної залежності питомої електропровідності смоли в розчинах різних електролітів.

Об'єкти і методи дослідження

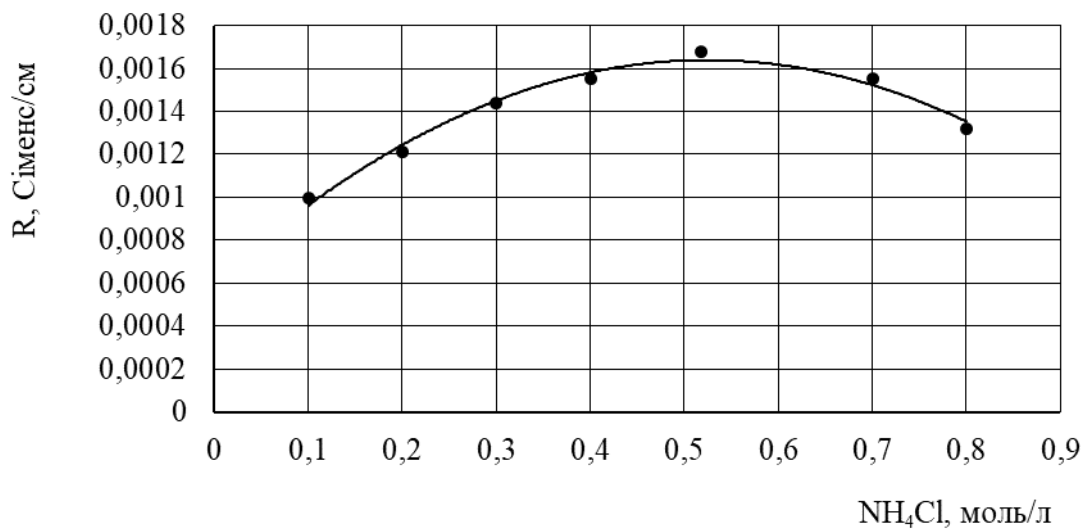
Об'єктом дослідження була сульфокатіонітова смола КУ-2 різної іонної форми. Як рівноважні розчини використовували розчини HCl, LiCl, NaCl і KCl. Для оцінки можливості застосування електродіалізу з іонообмінною засипкою при організації природоохоронних технологій водоочищення використовувався також розчин NH₄Cl, що становить основу побутових стічних вод. Перед дослідженням смолу піддавали хімічному кондиціонуванню, послідовно обробляючи розчинами хлориду натрію з концентрацією 350, 100 і 30 г/л, відмивали дистильованою водою і переводили в потрібну іонну форму за допомогою 10% розчину відповідної солі або кислоти.

Іонообмінна смола приводилась в рівновагу з розчином NH₄Cl в U-подібній трубці. Для цього з ділильної лійки поволі подавався розчин NH₄Cl в U-подібну трубку із смолою. Періодично фіксувались покази опору вихідного розчину, якщо опір вхідного і вихідного розчину ставав однаковим, подача розчину припинялась. Після цього вимірювався опір системи іоніт-розчин платиновими нержавіючими електродами, яку були занурені в U-подібну трубку. Аналогічно приводився у рівновагу, а потім вимірювався опір системи іоніт-розчин із розчинами NH₄Cl інших концентрацій.

Врівноважену до концентрації ізопровідного розчину іонообмінну смолу завантажували в центрифужну комірку, і проводили центрифугування (підбирався режим для повного видалення рівноважного розчину - 15 хв. при 5 тис. об/хв). Експеримент проводився на одній порції смоли (рис. 2).



а)



б)

Рис.2. Опір системи іоніт-розчини NH_4Cl в U-подібній трубці:

а) до центрифугування; б) після центрифугування

Статичну обмінну ємність і вологовміст смоли визначали за стандартними методиками (ГОСТ 20255.1-89 Иониты; ГОСТ 10898.1-84 Иониты).

Масову частку води ($W_{\text{наб,г H}_2\text{O}/\text{г наб.см}}$) обчислювали за формулою:

$$W_{\text{наб}} = \frac{m - m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

де m - маса іоніту в бюксі до висушування, г; m_1 - маса іоніту з бюксі після висушування, г; m_2 - маса наважки набряклого іоніту г.

Гідратну ємність смоли (n), що представляє собою середню кількість молекул води, що припадає на одну функціональну групу, розраховували за рівнянням:

$$n = \frac{W_{\text{наб.см}}}{P_{\text{H}_2\text{O}} Q}, \quad (2)$$

де $P_{\text{H}_2\text{O}}$ - маса 1 моля H_2O , рівна 18 г/моль; Q - обмінна ємність іонообмінного матеріалу, моль/г_{наб. см.}

Електропровідність смоли ($K_{\text{см}}$) визначали методом центрифугування, описаним в [3].

Для розрахунку $K_{\text{см}}$ використовувалося рівняння:

$$K_{\text{см}} = K_{\text{яч.}} / R, \quad (3)$$

де $K_{\text{яч.}}$ - константа комірки; R - опір комірки зі смолою після її центрифугування. Величина $K_{\text{яч.}}$ визначалась шляхом вимірювання опору смоли в комірці після приведення її в рівновагу з ізоелектропровідною концентрацією розчину (C_{iso}), при якій електропровідність смоли ($K_{\text{см}}$), її гелевої фази (K_{iso}) і розчину (κ) рівні: $K_{\text{см}} = K_{\text{iso}} = \kappa$.

Величину C_{iso} знаходили графічно, як точку перетину концентраційних залежностей провідності ($1/R$) смоли і розчину (рис. 3), виміряних за допомогою U- подібної комірки (Гнусин та ін., 1972).

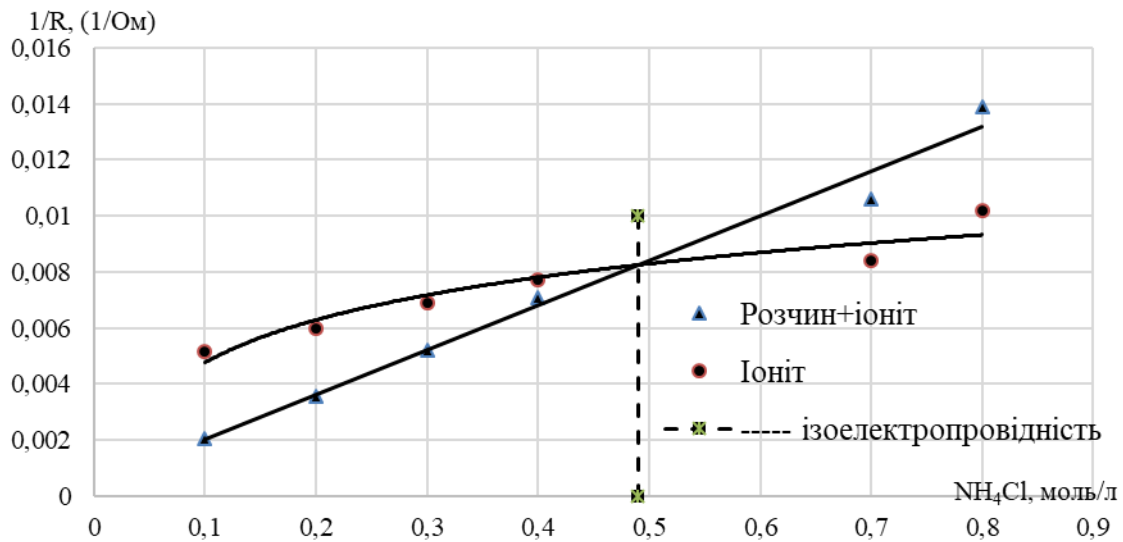


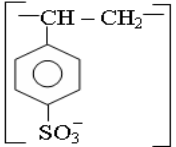
Рис. 3. Визначення ізоелектропровідної концентрації для смоли КУ-2 за допомогою U- подібної комірки врівноважений розчином

Результати та їх обговорення

Фізико-хімічні характеристики катіонообмінної смоли КУ-2 в стандартному 0,1 М розчині NH_4Cl представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості дослідженої смоли КУ-2

Смола	Структурна ланка	$\frac{m_2 - \text{экв}}{Q, \epsilon_{\text{наб}}}$	$W_{\text{наб}}, \%$ 0,1 М NH_4Cl	$n,$ $\frac{\text{моль} \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{моль} - \text{SO}_3^-}$ 0,1 М NaCl
КУ-2		3.5 ± 0.2	32.2 ± 2.6	6.2 ± 0.4

Вплив іонної форми на вологовміст смоли в 0,1 М розчинах відповідних електролітів показано на рис. 4 у вигляді залежності $W_{\text{наб}}$ від радіуса протиіона. Як видно з малюнка, вологовміст смоли КУ-2 залежить від природи протиіона і закономірно зменшується при переході смоли від H^+ до NH_4^+ -форми.

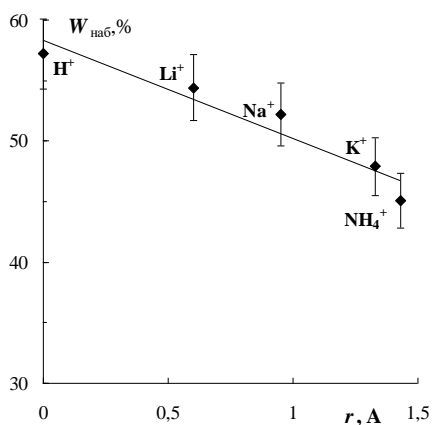


Рис. 4. Вологовміст смоли КУ-2 в залежності від радіуса протиіона

Зменшення гідратних характеристик смоли в цьому ряді пов'язано зі збільшенням кристалографічного радіусу протиіона (Гороновский, Назаренко и Некряч, 1987; Ахметов, 1975) і, як наслідок, зменшенням радіуса іона в гідратованому стані в цьому ж ряді (Измайлов, 1976; Самойлов, 1957; Балданова и Танганов, 2012). Раніше така закономірність вже була відзначена для сульфокатіонітових смол (Манк, Гребенюк и Куриленко, 1972; Угрянская, Селеменев, Завьялова и Чикин, 1990) і мембран (Березина, Кононенко и Демина, 1993).

Концентраційні залежності електропровідності різних іонних форм смоли КУ-2 і розчинів HCl, LiCl, NaCl, KCl і NH₄Cl зображені на рис. 5.

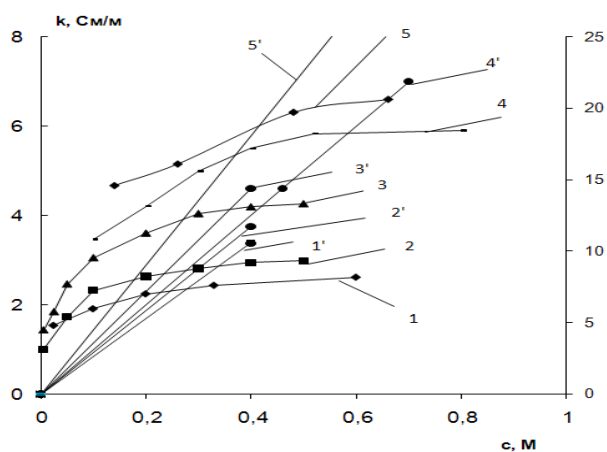


Рис. 5. Концентраційні залежності електропровідності смоли

КУ-2 в різних іонних формах і розчинів електролітів:

1 - 5 - іонна форма смоли КУ-2: 1 - H⁺; 2 - Li⁺; 3 - Na⁺; 4 - K⁺; 5 - NH₄⁺; 1' - 4' розчини: 1'-HCl; 2'-LiCl; 3'-NaCl; 4'-KCl; 5 - NH₄Cl (криві 1 і 1' відносяться до правої осі)

З порівняння рис. 4 і рис. 5 видно, що порядок розташування сольових форм по електропровідності протилежний порядку їх розташування по гідратній ємності катіоніту і збігається з рядом рухливості відповідних іонів в розчині (Справочник по электрохимии, 1981). Отриманий результат обумовлений зменшенням рухливості протиіонів в іонообмінному матеріалі в результаті зростання ступеня їх гідратації і узгоджується з літературними даними (Гнусин та ін., 1972). Необхідно відзначити, що аномально висока електропровідність іоніту в H^+ -формі пов'язана з тим, що перенесення протона в іонообмінному матеріалі, так само як і його перенесення у водних розчинах кислот, відбувається по естафетному механізму.

Концентраційні залежності електропровідності смоли в розчинах електролітів різної природи були використані для знаходження параметрів розширеної трьохпроводної моделі, згідно з якою струм в іоніті може протікати по трьох паралельних каналах: послідовно через гель і розчин (параметр a); тільки через гель (параметр b); тільки через розчин (параметр c). Частки струму, що протікає через гель і розчин в змішаному каналі рівні відповідно d і e (рис. 6).

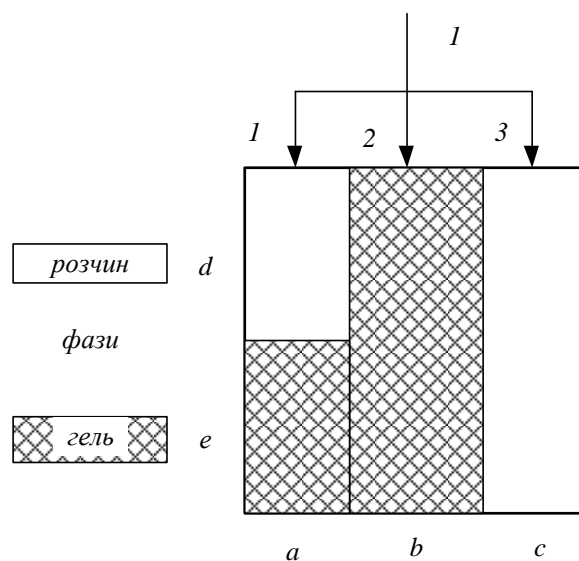


Рис. 6. Схематичне зображення трьохпроводної моделі провідності іонообмінника

Основні рівняння трьохпроводної моделі пов'язують між собою параметри, що характеризують частки струму, що проходить через зазначені канали (a , b , c , d , e) і параметри K_{cm} і K_d , що представляють собою електропровідність смоли (κ_{cm}) і її гелевої фази (κ_{iso}), нормовані на електропровідність розчину (κ):

$$K_{cm} = \frac{aK_d}{e + dK_d} + bK_d + c, \quad (4)$$

$$a + b + c = 1, \quad (5)$$

$$e + d = 1 \quad (6)$$

Аналіз модельних параметрів для смоли КУ-2 в NH_4^+ -формі (рис. 7а-в) свідчить про те, що вони займають проміжне положення між параметрами смоли в сольовій і протонній формах. Це обумовлено гідролізом NH_4Cl , в результаті чого смола знаходиться в змішаній NH_4^+ - і H^+ -формі.

Висновки

Виконаний аналіз параметрів розширеної трьохпроводної моделі провідності іонообмінної смоли КУ-2 в різній іонній формі показав, що, незалежно від природи протиіона, основна частка струму в іоніті переноситься через канал з послідовним розташуванням провідних фаз гелю і розчину. Виявлені відмінності в модельних параметрах для смоли в сольовій і протонній формі, пов'язані з особливим механізмом перенесення протона, підтверджують адекватність застосованого підходу для оцінки впливу природи протиіона на перенесення струму через структурні фрагменти сульфокатіонітової смоли. Проміжне положення параметрів для смоли в NH_4^+ -формі пов'язане з частковим переходом смоли в H^+ -форму через гідроліз NH_4Cl .

Список літератури

Ахметов, Н. С. (1975). Неорганическая химия. Учебное пособие для ВУЗов. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа.

- Балданова, Д. М., & Танганов, Б. Б. (2012). *Плазмено-гидродинамическая концепция состояния ионов в растворах электролитов в оценке некоторых свойств*. М.: Изд-во РАЕ.
- Березина, Н. П., Кононенко, Н. А., & Демина, О. А. (1993). *Влияние природы противоиона на электрохимические и гидратационные свойства сульфокатионитовой мембраны МК-40* // Электрохимия. Т. 29. № 8. 955-959.
- Гнусин, Н. П., Гребенюк, В. Д., & Певницкая, М. В. (1972). *Электрохимия ионитов*. Новосибирск: Наука.
- Гнусин, Н. П., & Демина, О. А. (2006). *Моделирование переноса в электродиализных системах* // Теор. основы хим. технол.. Т. 40. № 1. 31-35.
- Гнусин, Н. П., Демина, О. А., & Анникова, Л. А. (2009). *Метод расчета модельных параметров ионообменных смол*. Электрохимия.. Т. 45. № 4. 522-528.
- Гнусин, Н. П., Демина, О. А., Березина, Н. П., & Кононенко, Н. А. (2004). *Моделирование электропереноса на основе транспортно-структурных характеристик ионообменных мембран*. Теор. основы хим. технол. Т. 38. № 4. 419-424.
- Гороновский, И. Т., Назаренко, Ю. П., & Некряч, Е. Ф. (1987). *Краткий справочник по химии*. Наукова думка, Киев.
- ГОСТ 10898.1-84 Иониты. Методы определения влаги.
- ГОСТ 202555.1-89 Иониты. Метод определения статической обменной емкости.
- Демина, О. А., Кононенко, Н. А., & Фалина, И. В. (2014). *Новый подход к характеристике ионообменных мембран с помощью набора модельных параметров* // Мембраны и мембранные технологии. Т. 4. № 2. 83 – 94.
- Демина, О. А., & Фалина, И. В. (2014). *Расчет модельных параметров ионообменных материалов в рамках расширенной трехпроводной модели*. А .с. 2014662877 РФ, № 2014660629; заявл. 20.10.14; опубл. 10.12.14.

- Измайлов, Н. А. (1976). *Электрохимия растворов*. М.: Химия.
- Самойлов, О. Я. (1957). *Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов*. - М.: Изд. АН СССР.
- Сухотина, А. М. (Eds). (1981). *Справочник по электрохимии*. Л.: Химия.
- Угрянская, В. А., Селеменев, В. Ф., Завьялова, Т. А., & Чикин, Г. А. (1990). Состояние воды в ионообменных материалах. Катионит КУ-2-8 в форме щелочных и щелочно-земельных элементов *Журн. физ. химии*. Т. 64. №6. 1637-1642.

НІЗДРЮВАТИЙ БЕТОН З ВИКОРИСТАННЯМ ДОМЕННОГО ГРАНУЛЬОВАНОГО ШЛАКУ

Ляшок Я.О., Донецький національний технічний університет, д.е.н., проф.,
ректор, Україна

Подкопась С.В., Донецький національний технічний університет, д.т.н., проф.,
проректор з наукової роботи, Україна

Повзун О.І., Донецький національний технічний університет, к.т.н., доцент,
доцент кафедри електромеханіки та машинобудування,
Україна

Калиниченко В.В., Донецький національний технічний університет, к.т.н.,
завідувач кафедри електромеханіки та машинобудування,
Україна

Abstract

The gross emission of harmful substances (dust) during unloading from the body of a dump truck of metallurgical slag of PJSC "Mariupol Metallurgical Plant named after Ilyich" in dumps and during their storage in them is calculated. Raw materials were selected and the physical and mechanical properties of blast furnace granulated slag, which was used as one of the components for the production of non-autoclaved aerated concrete, were studied. The expediency of blast furnace granular slag recovery as a siliceous component in cellular concrete has been proved. The technology of manufacturing effective products from cellular concrete of non-autoclave hardening with the use of blast furnace granulated slag has been developed. Blast furnace granulated slag, quartz sand and quicklime calcium lime were previously prepared. Before grinding in a ball mill, the blast furnace granulated slag was dried to 2% moisture. The specific surface area of ground slag was 250-300 m² / kg. As a gasifier, aluminum powder was used in an amount that depends on the projected average density of concrete. The optimal compositions of aerated concrete

mixtures (including with the additive-plasticizer LST - technical lignosulfonate) were determined on the basis of criteria: average density of aerated concrete in the dry state and its compressive strength.

Вступ

Шлаки чорної металургії є неминучим побічним продуктом основного виробництва, вихід яких становить 10-40 % виробленого металу (Калмыкова, Ларин и Хоботова, 2016). Вони завдають великої шкоди довкіллю і здоров'ю людини; займають величезні площі; забруднюють токсичними сполученнями ґрунт, водний та повітряний басейни; підвищують собівартість готової продукції підприємств через значні витрати на їх транспортування, розміщення і зберігання. У той самий час, такі відходи, що є техногенними родовищами цінної вторинної сировини, можуть забезпечувати потреби промислового виробництва високоякісної і дефіцитної для України продукції. Вони знаходять широке застосування у дорожньому будівництві, загальнобудівельних роботах при підготовці територій. Однак об'єми шлаків, що накопичені у провідних виробників металу в Україні, значно перевищують потреби традиційних споживачів, і металургійні комбінати вимушені шукати нові напрямлення використання шлаків.

В роботі викладено, що фракція >10 мм доменного гранульованого шлаку ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» може бути рекомендована до практичного використання за двома напрямками виробництва в'язучих: як сировинний компонент для виробництва портландцементного клінкера і у виробництві шлакопортландцементу при сумісному помелі цементного клінкера та шлаку.

Проведені дослідження (Елисеєва, 2014) основних фізико-механічних і хімічних властивостей доменних гранульованих шлаків ПрАТ «Дніпровський металургійний комбінат» показали, що вони у проєктованих складах дрібнозернистих цементних бетонів можуть виконувати не тільки роль заповнювача, але й роль наповнювача, який замінює частину в'язучого.

В роботі також визначено основні критерії використання шлаків як сорбенти для очищення вод: відсутність токсичних елементів, наявність у складі алюмосилікатів кальцію і магнію, аморфний стан речовин, відповідність вимогам норм радіаційної безпеки. Фракція >10 мм доменного гранульованого шлаку ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відповідає зазначеним критеріям. Досліджуваний шлак не токсичний і під час тривалої експлуатації не порушує санітарно-гігієнічних вимог, які висуваються до питної води, що доведено відсутністю десорбції зі шлаку токсичних сполук.

Метою роботи є проведення розрахунків рівня приземних концентрацій забруднюючих речовин (пилу) в атмосферному повітрі біля шлакового відвалу і обґрунтування сировинної цінності доменного гранульованого шлаку ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» для виробництва ніздрюватого бетону.

Методика і матеріали

Валовий викид пилу визначали (відповідно до методик (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000)) поблизу відвалів промислових відходів ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» (ММК), які розташовані у балці Грековата (відвали експлуатуються з 1972 року минулого століття). Найбільший об'єм займають шлаки доменні (до 75 % річного об'єму) і шлаки сталеплавильні, перероблені на установках цеху переробки шлаків і відходів виробництва АМКМ-1 та АМКМ-2 (до 15 % річного об'єму). Всі інші види відходів становлять 10 % річних відходів. Установки АМКМ-1 та АМКМ-2 – це сепараційно-сортувальні установки продуктивністю до 2 млн. т шлаку за рік для вилучення металевих компонентів з відвального шлаку з подальшим використанням їх як вторинну сировину.

Площа відвалів в межах земельного відводу становить 154,9486 га. Відвали відсипано на площі 115 га. 5 га відносяться до прибережної захисної

смуги існуючого ставка. 16,8 га займає заболочена територія. 20 га – резервна територія для розширення відвалу.

За геодезичними вимірюваннями станом на вересень 2019 року об'єм відходів становить 17,116 млн. м³. Спосіб формування відвалів – бульдозером. Спосіб транспортування відходів – автосамоскидами.

Площі і об'єми накопичених відходів обчислено за трьома окремими контурами (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1. Схема відвалів накопичених відходів ММК ім. Ілліча у балці Грековата

Таблиця 1

Площі та об'єми накопичених відходів ММК ім. Ілліча

№ контуру	Площа контуру, м ²	Об'єм відходів, м ³	Види відходів
I	662034	6190478	Шлаки сталеплавильні (в тому числі перероблені на установках АМСОМ-1,2)
II	193000	2914193	Шлаки доменні (лежалі та поточні)
III	66745	675957	Різнманітні промислові відходи (залізобетонні конструкції, вогнетриви тощо)

Подальше складування відходів на площі існуючих відвалів можливе в межах контуру I та частково контуру II за рахунок збільшення висоти відвалів на 5-20 м. Орієнтовний об'єм відходів, який можна розмістити на площах трьох контурів, дорівнює 4 млн. 250 тис. м³.

Ресурсну цінність відходу металургії – доменного гранульованого шлаку ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» (IV клас небезпеки (ДСТУ Б В.2.7-90:2011, 2012)) – визначали за фізико-механічними властивостями-критеріями неавтоклавного ніздрюватого бетону (середня густина ніздрюватого бетону у сухому стані та його межа міцності на стиск).

Доменний гранульований шлак – дрібнозернистий сипкий багатокомпонентний матеріал, переважно склоподібний, одержуваний швидким охолодженням водою рідкого гарячого шлаку, утвореного під час плавлення чавуну в доменній печі (рис. 5). У Державному класифікаторі відходів ДК-005-96 кваліфікаційне угруповання «Шлаки доменні гранульовані для будівництва, інші» належить до відходів виробництва металів основних (група 27, код 2711.2.9.11).

Для виготовлення ніздрюватобетонної суміші використовували такі матеріали:

1. Як кремнеземистий компонент – мелений доменний гранульований шлак ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», який відповідав вимогам ДСТУ Б В.2.7 -302:2014 (ДСТУ Б. В.2.7-302:2014, 2015).

2. Портландцемент ПрАТ «Івано-Франківськцемент» ПЦ П/А-Ш-500 (П – тип цементу – портландцемент з мінеральними добавками від 6 % до 35 %; А – підтип цементу (відрізняється вмістом компонентів), А-Ш – портландцементного клінкера 80-94 % з добавкою доменного гранульованого шлаку від 6 до 20 %, 500 – марка цементу за міцністю у кгс/см², що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010 (ДСТУ Б В.2.7-46:2010, 2011).

3. Вапно кальцієве комове негашене Колективного підприємства «Фірма «Азовбудматеріали» (м. Маріуполь Донецької області) – відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7 -90:2011 (ДСТУ Б В.2.7-90:2011, 2012).

4. Газоутворювач – пудра алюмінієва ПАП-1 (пігментна), яка відповідає ГОСТ 5494-95 Пудра алюминиевая. Виробник – ТОВ НВП «Укрваторресурс», (м. Рівне).

5. Поверхнево-активна речовина – пральний порошок.

Добавка-пластифікатор ЛСТ – лігносульфонат технічний – це продукт відходів сульфітцелюлозного виробництва і являють собою суміш натрієвих солей лігносульфонових кислот, з домішкою мінеральних речовин. Виробник – ТОВ «Промислова компанія «Лімас» (м. Запоріжжя). За зовнішнім виглядом – це однорідна в'язка рідина темно-коричневого кольору. ЛСТ – не токсичний; не подразнює шкірні покриви, слизові оболонки очей; не викликає алергійних реакцій. Через втрату чинності Державних санітарних норм і правил ДСанПіН 2.2.7.029-99 «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» і унеможливлення визначення класу небезпеки ЛСТ за відомою методикою, останній можна прийняти (з деякими припущеннями) на підставі діючих Гранично допустимих концентрацій хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць, затверджених т.в.о. головного державного санітарного лікаря України Протасом С.В. 15 березня 2015 року, як «натрію сульфит-сульфатні солі», який має III клас небезпеки (рядок 322 у переліку речовин). Саме такий клас небезпеки (третій) зазначено в Паспортах небезпеки хімічної продукції (лігносульфонат технічний), які надає ТОВ «Промислова компанія «Лімас» на свою продукцію.

6. Вода відповідала вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ДСТУ Б. В.2.7-302:2014 (EN 1567-1:2006, NEQ, 2015)).

Склад ніздрюватого бетону розраховували згідно з методикою, викладеною в (Дворкін Л.Й. і Дворкін О.Л., 2015). Компоненти газобетонної суміші дозували в змішувальну чашу за такої послідовності – вода, мелений доменний гранульований шлак та вапно, цемент марки М 500 та алюмінієва суспензія (алюмінієва пудра + пральний порошок + вода). Спочатку перемішували воду при температурі 60°C, мелений доменний гранульований шлак та вапно. Потім суміш перемішували з цементом та алюмінієвою суспензією, після чого її виливали у металеву форму на три гнізда для

формування зразків-кубів з ребром 10 см. Спучування газобетонної суміші тривало 40 хвилин. Після набору необхідної міцності і зрізання «горбушки» форми розбирали.

При формуванні зразків ніздрюватого бетону в одному випадку у складі ніздрюватобетонної суміші використовували вапно кальцієве комове негашене в кількості 5%, а в іншому – дію вапна було замінено структуроутворюючою добавкою ЛСТ - лігносульфонат технічний (рідкий).

Добавку ЛСТ дозували в ніздрюватобетонну суміш у кількості 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 % від маси сухих компонентів. Дослідження впливу добавки на фізико-механічні властивості ніздрюватого бетону показали, що оптимальна її концентрація у суміші дорівнює 0,2 % від маси сухих компонентів.

Перед випробуванням зразків-кубів 10x10x10 см на середню густину бетону у сухому стані та міцність на стиск їх висушували в електрошафі за температури (105 ± 10) °С до постійної маси (п. 3.1.13 (ДСТУ Б В.2.7-170:2008, 2009)).

Середню густину бетону ρ_m визначали за формулою:

$$\rho_m = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

де m – маса зразка, кг; V – об'єм зразка, м³.

Міцність ніздрюватого бетону (МПа, кгс/см²) розраховували з точністю до 0,1 МПа (1 кгс/см²) за формулою (ДСТУ Б В.2.7-214:2009, 2010):

$$\sigma_{ст.кубе} = \frac{\alpha \cdot F \cdot K_w}{A}, \quad (2)$$

де F – руйнівне навантаження, Н, (кгс); A – площа робочого перерізу зразка, мм² (см²); α – масштабний коефіцієнт для приведення міцності бетону до міцності бетону в зразках базового розміру та форми (для зразків-кубів з ребром завдовжки 100 мм $\alpha = 0,95$, примітка 2 табл. 5 (ДСТУ Б В.2.7-214:2009, 2010)); K_w – поправочний коефіцієнт для ніздрюватого бетону, який враховує вологість в момент випробування (для вологості 0 % – зразки висушені до постійної маси – $K_w = 0,8$, табл. 6 (ДСТУ Б В.2.7-214:2009, 2010)).

Результати та обговорення

3.1. Розрахунок пилу при висипанні шлаків з кузова автомобіля у відвали

Інтенсивними неорганізованими джерелами пилоутворення є пересипання матеріалу, навантаження у відкриті вагони, напіввагони, завантаження матеріалу грейфером у бункер, зсипання матеріалу відкритим струменем до складу тощо. Об'єм пилових видалень для валових викидів від висипання металургійних шлаків з кузова автомобіля у відвали обчислювали за формулою (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000):

$$P_{pp} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot V \cdot G_p, \quad (3)$$

де P_{pp} - об'єм пилу річний розрахунковий, т/рік; K_1 - вагова частка пилової фракції в матеріалі (табл. 1 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000)). Визначають шляхом відмулювання і просіювання проби з вилученням фракції пилу розміром від 0 до 200 мкм; K_2 - частка пилу (від всього вагового пилу), який переходить в аерозоль (табл. 1 (ДСТУ Б В.2.7-273:2011, 2012)). K_3 - коефіцієнт, враховуючий місцеві метеорологічні умови (табл. 2 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000)); K_4 - коефіцієнт, враховуючий місцеві умови, ступінь захищеності вузла від зовнішніх впливів, умови пилоутворення (табл. 3 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000)); K_5 - коефіцієнт, враховуючий вологість матеріалу; визначають відповідно до даних табл. 4 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000). K_7 - коефіцієнт, враховуючий крупність матеріалу; приймають згідно з табл. 5 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000); K_8 - поправочний коефіцієнт для різних матеріалів залежно від типу грейфера (табл. 3 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000)); при використанні інших типів пристроїв, що перевантажують, $K_8 = 1$. K_9 - поправочний коефіцієнт при потужному залповому скиданні матеріалу під час розвантаження автосамоскиду. $K_9 = 0,2$ при скиданні матеріалу масою до 10 т і $K_9 = 0,1$ - понад 10 т. Для решти неорганізованих джерел коефіцієнт $K_9 = 1$; V - коефіцієнт, враховуючий висоту пересипання; приймають за табл. 7 (ЗАО

"НИПИОСТРОМ", 2000); G_p - сумарна кількість перероблюваного матеріалу впродовж року, т/рік.

Для шлаку $K_1 = 0,05$, $K_2 = 0,02$.

Середня швидкість вітру* у м. Маріуполі становить 5,4 м/с (табл. 2).

Таблиця 2

Швидкість вітру у м. Маріуполі за місяцями, м/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Середнє значення за рік
6,3	7,1	6,1	5,5	5,0	4,4	4,2	4,4	4,8	5,4	5,8	5,9	5,4

* валові викиди за період, що розглядається, визначають за середніми значеннями швидкості вітру і вологості цього періоду (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000).

Значить, $K_3 = 1,4$.

У зв'язку з тим, що шлакові відвали відкриті з чотирьох боків, то K_4 при пересипанні матеріалів, що пилять, без використання завантажувального рукава, дорівнює 1,0.

Середня вологість шлаків дорівнювала 10 % (визначали за методикою (ДСТУ Б В.2.7-170:2008, 2009). Отже, $K_5 = 0,1$.

Згідно з даними роботи (Кравченко, Татарина и Ганкевич, 2017) максимальний вміст частинок доменного шлаку ММК імені Ілліча відноситься до фракцій 500-800 мкм. Таким чином, $K_7 = 1,0$.

У зв'язку з тим, що відвали металургійних шлаків ММК імені Ілліча у балці Грековата формують бульдозером, то $K_8 = 1,0$.

Промислові відходи ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» вивозять у відвали автосамоскидами КАМАЗ, маса матеріалу в кузові яких становить понад 10 т. Відповідно $K_9 = 0,1$.

При висоті падіння шлаку з кузова самоскида КАМАЗ-55111 1м (відстань від землі до дна кузова дорівнює 1 м) $B = 0,5$.

Орієнтовна місячна кількість всіх промислових відходів ММК, що вивозять до відвалів, складає 250,0 тис. т (90 % цього об'єму є металургійні

шлаки (доменні і сталеплавильні). Сумарна кількість переробленого шлаку впродовж року G_p дорівнюватиме $0,9 \cdot 250000 \cdot 12 = 2700000$ т.

Отже, об'єм пилових видалень для валових викидів від висипання металургійних шлаків з кузова самоскида КАМАЗ-55111 у відвали становитиме:

$$P_{pp} = 0,05 \cdot 0,02 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot 2700000 \text{ т/рік} = 18,9 \text{ т/рік.}$$

3.2. Розрахунок пилу під час зберігання шлаків у відвалах

Валовий викид $P_{зр}$ (розрахунковий) шкідливих речовин (пилу, т/рік) під час зберігання металургійних шлаків ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» у відвалах (балка Грековата) обчислювали за формулою (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000):

$$P_{зр} = 0,11 \cdot 8,64 \cdot 10^{-2} \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot q \cdot F_{пл} \cdot (1-\eta) \cdot (T-T_c-T_d), \quad (4)$$

де K_6 - коефіцієнт, враховуючий профіль поверхні складованого матеріалу; визначають як відношення $F_{макс}/F_{пл}$; $F_{пл}$ - поверхня видалення пилу в плані, m^2 ; $F_{макс}$ - фактична площа поверхні складованого матеріалу при максимальному заповненні складу, m^2 ; q - максимальна питома здуваність пилу, $mg/(m^2 \cdot c)$; підкорюється ступеневому закону;

$$q = a \cdot v^b, \quad (5)$$

де v - швидкість вітру, m/c ; a і b - емпіричні коефіцієнти, які залежать від типу матеріалу, що перенавантажуються (табл. 8 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000)). Результати математичної обробки q для декількох видів матеріалу, що перенавантажуються, наведено в табл. 9 (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000). η - ступінь уловлювання твердих частинок в установці, що вловлює пил; частка одиниці - визначають за даними фактичних вимірювань. Якщо засоби придушення пилу відсутні, то коефіцієнт η приймають як таким, що дорівнює 0; T - загальний термін зберігання матеріалу за період, що розглядається, дні; T_c - кількість днів зі сталим сніговим покривом, дні; $T_d = 2T_d^0$ (год.)/24 -

кількість днів з дощем, де $2T^{\circ}_d$ (год.) – сумарна тривалість опадів у вигляді дощу за період, що розглядається, у годинах.

Оскільки питома здуваність з часом зменшується через збіднення поверхневого шару матеріалу пиловою фракцією (що є природним явищем) і призводить до зниження винесення пилу, то в розрахункову формулу валового викиду внесено поправочний коефіцієнт 0,11.

З формули (4): $K_4 = 1,0$; $K_5 = 0,1$; $K_7 = 1,0$.

Умовно прийнявши поверхню шлакових відвалів горизонтальною, то $K_6 = F_{\text{макс}}/F_{\text{пл}} = 1,0$.

Емпіричні коефіцієнти для шлаку (як для щебеню) такі: $a = 0,0135$; $b = 2,987$. Середня швидкість вітру $v = 5,4$ м/с (табл. 2). Підставляючи ці значення у формулу (5), одержимо:

$$q = 0,0135 \cdot 5,4^{2,987} = 2,08 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 0,000208 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Поверхня видалення пилу $F_{\text{пл}}$ дорівнює сумі площ контурів I та II (табл. 1), які займають відвальні шлаки сталеплавильні та доменні, а саме: $F_{\text{пл}} = 662034 + 193000 = 855034 \text{ м}^2$.

Ступінь уловлювання твердих частинок пилу $\eta = 0$ (засоби придушення пилу відсутні).

Загальний термін зберігання матеріалу $T = 365$ днів (розглядаємо рік).

У м. Маріуполі тривалість періоду зі сталим сніговим покривом $T_c = 60$ днів. Для Донецької області середня річна тривалість (у годинах) опадів (дощів) $T^{\circ}_d = 1000$ годин (табл. 4.32 (Смирнова, 1990)). Тоді $T_d = 2 \cdot 1000 / 24 \approx 84$ дні.

Отже, річний валовий викид пилу $P_{\text{зр}}$ (т/рік) від металургійних шлаків у відвалах (балка Грековата) становить:

$$P_{\text{зр}} = 0,11 \cdot 8,64 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,000208 \cdot 855034 \cdot 1 \cdot (365 - 60 - 84) = 37,4 \text{ т/рік}.$$

В розрахунках приземних концентрацій забруднюючих речовин повинні використовуватися потужності їх викидів, віднесених до 20-ти хвилинного інтервалу часу (ЗАО "НИПИОСТРОМ", 2000). Ця вимога стосується викидів

забруднювальних речовин, тривалість T (с) яких менше 20-ти хвилин ($T < 1200$ с). Для таких викидів значення потужності M (г/с) визначають таким чином:

$$M = Q/1200, \text{ г/с}, \quad (6)$$

де Q - загальна маса забруднювальних речовин, викинутих в атмосферу з розглядуваного джерела забруднення атмосфери впродовж його дії.

У даному разі загальна маса забруднювальних речовин Q дорівнюватиме сумі валових викидів від металургійних шлаків ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» під час їх висипання з кузова автомобіля у відвали Π_{pp} та під час зберігання шлаків у відвалах $\Pi_{зр}$. Тобто потужність валових викидів пилу:

$$M = (\Pi_{pp} + \Pi_{зр})/1200 = [(18,9 \cdot 10^6 + 37,4 \cdot 10^6)/365 \cdot 24]/1200 = 5,4 \text{ г/с}.$$

3.3. Визначення фізико-механічних властивостей ніздрюватого бетону

Для визначення середньої густини ніздрюватого бетону у сухому стані та його межі міцності на стиск формували зразки-куби з ніздрюватобетонних сумішей таких складів (табл. 3).

У всіх сумішей, що було досліджено, витрата води однакова - 55 % від сухих компонентів. У складах сумішей серій зразків I-IV постійна кількість вапна - 5 % за масою, а у складах сумішей серій зразків V-VIII постійна кількість добавки ЛСТ (лігносульфонат технічний) - 0,2 % за масою.

Добавку ЛСТ дозували в ніздрюватобетонну суміш у кількості 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 % від маси сухих компонентів. Дослідження її впливу на фізико-механічні властивості ніздрюватого бетону показали, що оптимальною кількістю її в сумішах є 0,2% від сухих компонентів. В межах кожної серії зразків однаково змінюється концентрація алюмінієвої пудри - 0,06 %; 0,065 %; 0,07 %.

Склади ніздрюватобетонних сумішей на основі меленого доменного
гранульованого шлаку

№ серії зраз- ків	№ складу суміші	Склади сумішей, % за масою						Поз- нака на гра- фіку
		Цемент, Ц	Компоненти, що піддавалися помелу у кульовому млині		Алюмінієва пудра, А.п.	Добавка, ЛСТ	Вода (від сухих компонентів), W	
			шлак Ш	вапно В				
I	1	25	70	5	0,07	-	55	○
	2	25	70	5	0,065	-	55	
	3	25	70	5	0,06	-	55	
II	4	30	65	5	0,07	-	55	□
	5	30	65	5	0,065	-	55	
	6	30	65	5	0,06	-	55	
III	7	35	60	5	0,07	-	55	△
	8	35	60	5	0,065	-	55	
	9	35	60	5	0,06	-	55	
IV	10	40	55	5	0,07	-	55	◇
	11	40	55	5	0,065	-	55	
	12	40	55	5	0,06	-	55	
V	13	25	75	-	0,07	0,2	55	●
	14	25	75	-	0,065	0,2	55	
	15	25	75	-	0,06	0,2	55	
VI	16	30	70	-	0,07	0,2	55	■
	17	30	70	-	0,065	0,2	55	
	18	30	70	-	0,06	0,2	55	
VII	19	35	65	-	0,07	0,2	55	▲
	20	35	65	-	0,065	0,2	55	
	21	35	65	-	0,06	0,2	55	
VIII	22	40	60	-	0,07	0,2	55	◆
	23	40	60	-	0,065	0,2	55	
	24	40	60	-	0,06	0,2	55	

Основною відмінністю ніздрюватого бетону від інших видів бетону є його високі теплоізоляційні властивості. При розробці складів такого бетону слід намагатися здобути найбільшу міцність при його найменшій середній густині. Ніздрюваті бетони всіх досліджуваних у роботі складів мають значення середньої густини від 690 кг/м³ до 740 кг/м³, а значення міцності на стиск коливаються від 1,8 МПа до 2,7 МПа (рис. 2 - рис. 5).

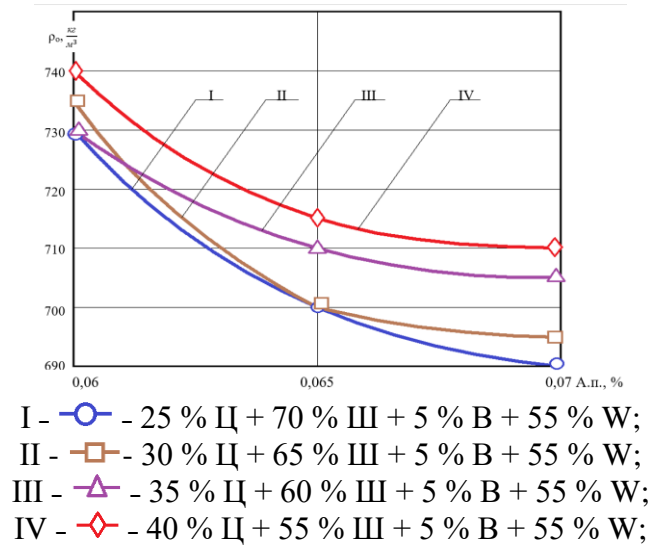


Рис. 2. Залежність середньої густини ніздрюватого бетону (з вапном без добавки ЛСТ) від концентрації алюмінієвої пудри

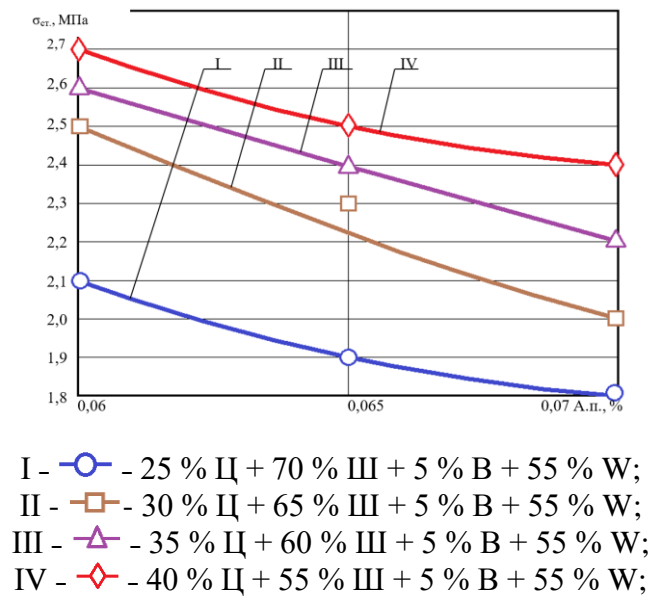
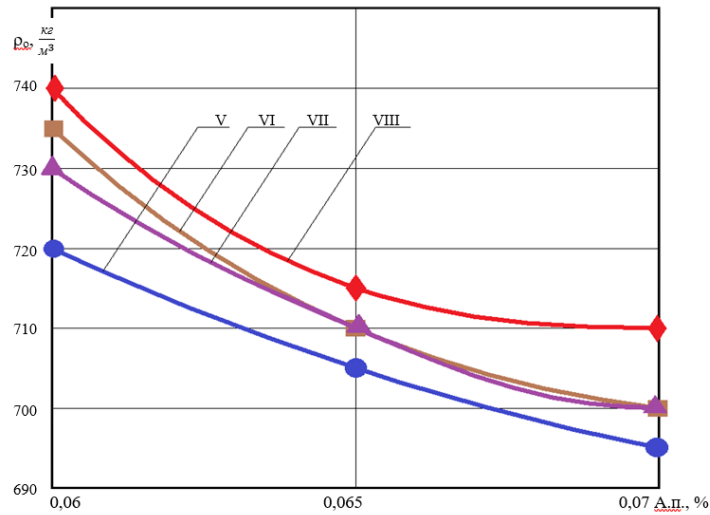
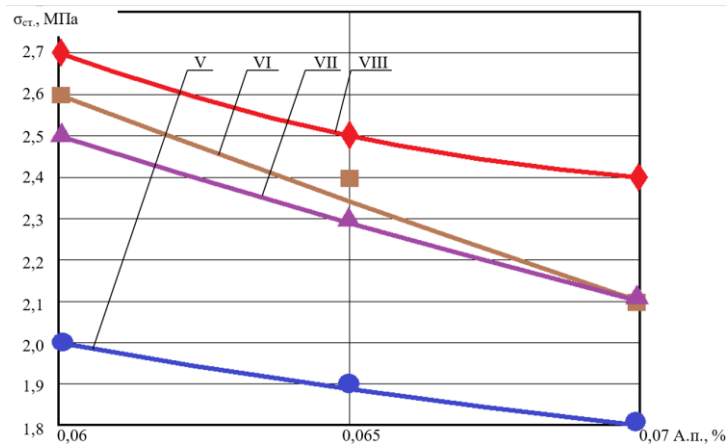


Рис. 3. Залежність міцності на стиск ніздрюватого бетону (з вапном без добавки ЛСТ) від концентрації алюмінієвої пудри



- V - ● - 25 % Ц + 75 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;
 VI - ■ - 30 % Ц + 70 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;
 VII - ▲ - 35 % Ц + 65 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;
 VIII - ◆ - 40 % Ц + 60 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;

Рис. 4. Залежність середньої густини ніздрюватого бетону (з добавкою ЛСТ без вапна) від концентрації алюмінієвої пудри



- V - ● - 25 % Ц + 75 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;
 VI - ■ - 30 % Ц + 70 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;
 VII - ▲ - 35 % Ц + 65 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;
 VIII - ◆ - 40 % Ц + 70 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W;

Рис. 5. Залежність міцності на стиск ніздрюватого бетону (з добавкою ЛСТ без вапна) від концентрації алюмінієвої пудри

Таким чином, згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010 (ДСТУ Б В.2.7-45:2010, 2010) всі вони мають марку за середньою густиною D700 (табл. 1 (ДСТУ Б

В.2.7-45:2010, 2010)), а за міцністю - класи В1,0 і В1,5 (табл. 2 (ДСТУ Б В.2.7-45:2010, 2010)).

Як показано на рис.2, середню густину 700 кг/м^3 (при концентрації алюмінієвої пудри 0,065 %) мають бетони двох серій зразків: I серія - склади №№ 1-3 (табл. 3) і II серія - склади №№ 4-6 (табл. 3).

Міцність на стиск бетону складу № 5 (■ - 30 % Ц + 65 % Ш + 5 % В + 0,065 % А.п. + 55 % W) суттєво вища за таку для бетону складу № 2 (○ - 25 % Ц + 70 % Ш + 5 % В + 0,065 % А.п. + 55 % W), а саме: 2,3 МПа проти 1,9 МПа (рис. 3).

Отже, оптимальним складом ніздрюватого бетону серед складів бетонів з вапном без добавки ЛСТ є саме склад № 5 (хоча і є бетони з більшою міцністю, але вони мають і більшу за 700 кг/м^3 середню густину).

На рис. 4 показано, що при тій самій (як і попередньо) концентрації алюмінієвої пудри (0,065 %) однакову середню густину мають бетони теж двох серій зразків: VI серія - склади №№ 16-18 (табл. 3) і VII серія - склади №№ 19-21 (табл. 3). Вищу міцність на стиск має бетон складу № 17 (■ - 30 % Ц + 65 % Ш + 0,065 % А.п. + 0,2 % ЛСТ + 55 % W) (тому він і є оптимальним серед складів бетонів з добавкою ЛСТ без вапна) - 2,4 МПа (рис. 4). Бетон складу № 20 (▲ - 35 % Ц + 65 % Ш + 0,2 % ЛСТ + 55 % W) має міцність на стиск 2,3 МПа (рис. 4).

Обидва ніздрюваті бетони оптимальних складів (№ 5 і № 17) за призначенням відносяться до конструкційно-теплоізоляційного виду (табл. 3).

На підставі складеного Лабораторією електромагнітних полів та інших фізичних факторів відділу дослідження фізичних і хімічних факторів (м. Маріуполь) Протоколу радіаційної якості доменний гранульований шлак ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» відноситься до I класу (Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97, 1998). За вмістом природних радіонуклідів сумарна питома активність досліджених проб не перевищує 370 Бк/кг , що відповідає вимогам п. 8.5.1 «Норм радіаційної безпеки

України НРБУ-97». Отже, даний матеріал можна використовувати в будівництві без обмежень.

Висновки

1) Проаналізовано, що екологічна ефективність виробництва доменного гранульованого шлаку замість доменного відвального шлаку сприяє ліквідації шлакових відвалів і вивільняє з-під них площі корисних земель (тим самим знижуючи навантаження на природне середовище в регіонах металургійного виробництва);

2) Встановлено, що для умов підприємства ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» відсутність шлакових відвалів скорочує викиди пилу в атмосферне повітря на десятки тонн за рік;

3) Виділено переваги використання доменного гранульованого шлаку (ДГШ) у сфері природоохоронної діяльності, які полягають у такому: можливість відновлення ДГШ (меленого) у виробництві ніздрюватих бетонів як кремнеземистого компонента; низька вартість матеріалів, що виробляються на основі цього відходу;

4) Доведено, що оптимальним складом ніздрюватого бетону серед складів бетонів з вапном без добавки ЛСТ (лігносульфонат технічний) є склад 30 % цементу + 65 % шлаку + 5 % вапна + 0,065 % алюмінієвої пудри + 55 % води, а серед складів бетонів з добавкою ЛСТ без вапна оптимальним є склад 30 % цементу + 65 % шлаку + 0,065 % алюмінієвої пудри + 0,2 % ЛСТ + 55 % води.

5) Визначено, що згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010 всі досліджувані ніздрюваті бетони мають марку за середньою густиною D700, а за міцністю на стиск – класи B1,0 і B1,5. За призначенням відносяться до конструкційно-теплоізоляційного виду.

6) Встановлено, що за негативним впливом на об'єкти довкілля доменний гранульований шлак належать до IV класу небезпеки (помірнонебезпечні), за вмістом природних радіонуклідів відноситься до I класу, що дозволяє його використання у будівництві без обмежень.

Подальші розробки будуть присвячені практичному впровадженню результатів досліджень ніздрюватих бетонів на основі доменного гранульованого шлаку у виробництво.

Список літератури

Retrieved from <http://online.budstandart.com/ua/>

Retrieved from <http://skaz.com.ua/>

Retrieved from <http://www.autoopt.ru/auto/>

Retrieved from <http://www.limas.com.ua>

Retrieved from <http://www.meteorprog.co.il/>

Retrieved from https://issuu.com/s_kvт/

Дворкін, Л. Й., & Дворкін, О. Л. (2015). *Проектування складів бетонів*. Рівне: НУВГП.

ДСТУ Б В.2.7-170:2008. (2009). *Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ Б В.2.7-214:2009. (2010). *Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ Б В.2.7-273:2011. (2012). *Вода для бетонів і розчинів*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ Б В.2.7-45:2010. (2010). *Бетони ніздрюваті*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ Б В.2.7-46:2010. (2011). *Цементи загальнобудівельного призначення*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ Б В.2.7-90:2011. (2012). *Вапно будівельне*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДСТУ Б В.2.7-302:2014 (EN 1567-1:2006, NEQ). (2015). *Шлак доменний гранульований для цементів, бетонів і будівельних розчинів*. Київ: Мінрегіонбуд України.

- Елисеева, М. А. Свойства доменных гранулированных шлаков, влияющие на качество мелкозернистого бетона. (2014). *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 4, 30-38.
- ЗАО "НИПИОСТРОМ". (2000). *Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов*. Новороссийск: НПО "Стромэкология".
- Калмыкова, Ю. С., Ларин, В. И., & Хоботова, Э. Б. (2016). Рациональные пути использования отвалных доменных шлаков. *Енергетика: економіка, технологія, екологія*, 1, 44-50.
- Кравченко, В. П., Татарина О. В., & Ганкевич В. Ф. (2017). Способ эффективного дисперсного измельчения доменных шлаков, *Збагачення корисних копалин*, 66 (107).
- Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97. (1998). Київ: Міністерство охорони здоров'я України.
- Смирнова, Н. С. (1990). *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Ленинград. Гидрометеиздат.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ГЛИНИСТОГО СОРБЕНТУ

Сакалова Г.В., Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, д.т.н., професор, Україна

Василінич Т.М., Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, к.т.н., доцент, Україна

Петрук Г.Д., Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, к.т.н., доцент, Україна

Трач І.А., Вінницький національний технічний університет, к.т.н, доцент кафедри екології та екологічної безпеки, Україна

Abstract

In the work main methods of nutrient removal from wastewater are discussed, perspective technologies and techniques are presented.

The contains recommendations for optimal conditions for the deposition of ammonia nitrogen from an ion exchange regenerator for further use as an ammonium fertilizer.

In the course of research, the ion-exchange material of the natural zeolite of the Sokyrnytsia deposit reached a breakthrough, after which the ion-exchange material was regenerated by pumping 30 g/l NaCl through it. The maximum saturation of the ion exchange material was determined by increasing the electrical conductivity of the solution at the outlet of the column.

The studies were performed at different molar ratios of magnesium and phosphate ions and at different pH values. The obtained data were compared with the initial concentrations in the model solution of the corresponding ions to determine the deposition efficiency. The maximum efficiency of nitrogen ammonium removal has been established.

According to the results of the best variants, the deposition of real ion exchange concentrates was carried out.

The moisture level was set during the drying of mineral fertilizers. Based on the moisture values, we determined the sediment content, which is close to the number of water molecules to the formula of the fertilizer $MgNH_4PO_4 \cdot 5H_2O$.

Complex phosphorus fertilizer struvite is characterized. It was performed a comparative agronomic evaluation of synthetic struvite. The influence of struvite on the processes of germination of cultivated plants has been conducted. The results show that the method of obtaining struvite does not significantly affect the processes of germination of wheat, and the determining factor for the effectiveness of fertilizers is the way of its application and dosage.

Вступ

Надходження біогенних елементів до поверхневих вод відбувається через природні чинники (вимиванням з верхнього шару ґрунту, атмосферними опадами, промисловими та господарсько - побутовими стічними водами, стоками сільськогосподарських угідь та тваринних комплексів). Внаслідок цього відбувається евтрофікація таких водойм, підвищується їх некорисна продуктивність, відбувається посилений розвиток фітопланктону, водоростей тощо. Коли вміст фосфору та азоту у воді перевищує критичний рівень, прискорюються життєві процеси водних організмів. Як наслідок, починається масовий розвиток планктонних водоростей («цвітіння» води). Вода набуває неприємного запаху і присмаку, її прозорість знижується, збільшується кольоровість, підвищується вміст розчинених і завислих органічних речовин. В глибинній зоні посилюється анаеробний обмін, нагромаджується сірководень, аміак тощо. Порушуються окислювально-відновлювальні процеси і виникає дефіцит кисню. Це призводить до загибелі цінних видів риб і рослин, вода стає непридатною не тільки для пиття, але й для купання. Така евтрофікована водойма втрачає господарське і біогеоценотичне значення. При розкладанні

водоростей у великих кількостях виділяється метан, аміак, сірководень. Біомаса фітопланктону під час «цвітіння» збільшується до $2,5 \div 10,0$ г/см³, тоді як в оліготрофних водоймах вона в нормі складає $0,1 \div 0,4$ мг/дм³.

Розкладання солей амонію веде до вивільнення аміаку, який є токсичним для флори і фауни. Крім того, в результаті окиснення амонійного азоту знижується вміст кисню до 22 – 44% від загальної кількості кисню, розчиненого у воді. Як наслідок взаємодії аміаку з активним хлором в процесі знезараження води на станціях підготовки питної води відбувається утворення хлорамінів. Ці сполуки є токсичними та мутагенними. В цілому при застосуванні у водопідготовці вод з підвищеним вмістом амонію спостерігається підвищення поглинання хлору у воді та зниженню ступеня її знезараженості, що є неприпустимим для господарсько-побутових цілей.

Присутність сполук азоту в стічних водах викликає в водоймах масовий розвиток планктону, водоростей, появу присмаків і запахів води, порушення кисневого режиму і норм життєдіяльності гідробіонтів, створює додаткові труднощі при очищенні води водойм, що використовується для господарсько-питних і виробничих цілей. Присутність іону амонію у водоймі надає сильний токсичний вплив на рибу, наявність нітритів у питній воді викликає онкологічні захворювання, нітратів - метгемоглобінемію у дітей. Присутність сполук азоту в оборотній воді призводить до біологічного обростання трубопроводів і технологічного обладнання. Сполуки азоту, що містяться в стічних водах великої кількості галузей промисловості, а саме: хімічної, нафтохімічної, медичної, мікробіологічної, металургічної, коксо-хімічної, харчової, агрохімічної, а також в господарсько-побутових і підземних водах. Очищення води від сполук азоту класичними методами вимагає дорогих реагентів і обладнання, ці методи складні в експлуатації і малоефективні. Стічні води зазначених галузей промисловості очищаються звичайними біологічними методами (в аеротенках), проте сполуки азоту практично не вилучаються.

Мета дослідження – на основі експериментальних даних розробити рекомендації щодо оптимальних умов осадження амонійного азоту з регенерату іонного обміну та встановлення його придатності для використання в органічному виробництві продукції рослинництва.

Розробка нових високоефективних технологічних схем очистки води на існуючих очисних спорудах, а також удосконалення існуючих схем регенерації та утилізації адсорбентів і видалених поллютантів дозволить вирішити проблеми скиду недостатньо очищених стічних вод у водні об'єкти. Вдосконалення реагентної очистки стоків з застосування технології нітриденітрифікації в поєднанні з дефосфатизацією за вимагає детального вивчення процесу утворення осаду магнійамонійфосфату, що відповідає за властивостями і хімічним складом біогенному мінералу струвіту - $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$.

Осадження амонію з міських стоків

Можливість концентрування іонів амонію зі стоків з використанням іонного обміну попередньо досліджувались рядом авторів (Мальований А.М., Мальований М.С., Ятчишин і Плаза, 2011; Tulaydan, Malovanyu & Kochubei, 2017; Sakalova, Vasylynych, Shevchuk & Tkachuk, 2018). У цих дослідженнях іонообмінні матеріали КУ-2-8 або природний цеоліт Сокирницького родовища (Закарпаття) насичували іонами амонію з модельних стоків у колонному апараті

Вихідний модельний розчин містив $40 \text{ мг/дм}^3 \text{ NH}_4^+ - \text{N}$ рН = 6 при загальному вмісті катіонів $2,46 \text{ мекв/дм}^3$. Результати насичення катіоніту КУ-2-8 та природного цеоліту модельним розчином та подальшої регенерації представлені у таблиці 1. Максимальне насичення іонообмінного матеріалу визначали за зростанням електропровідності розчину на виході з колони.

Результати насичення іонообмінного матеріалу
амонієм його подальшої регенерації

Показник	Використання катіоніту КУ-2-8	Використання природного цеоліту
Об'ємна витрата модельного р-ну, 10^{-3} ОК/с	11,4	9
Перші сліди NH_4^+ в очищеній воді, ОК	92	70
Динамічна обмінна ємність, мг NH_4^+ -N/г	10,1	4
Об'ємна витрата р-ну для регенерації, 10^{-3} ОК/с	1,9	2
Об'єм розчину для регенерації, ОК	13	120
Ступінь регенерації, %	98	90

Було визначено, що найбільш оптимальними умови процесу реагентного осадження амонійного азоту при початковій концентрації NH_4^+ в перерехунку на азот – 550 мг/л є рН 9 та стехіометричне співвідношення $\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-} = 1,5:1:1,5$. При цьому частка адсорбованих іонів NH_4^+ -N – 52,69%, PO_4^{3-} – 96,6%. При початковій концентрації NH_4^+ -N – 470 мг/л оптимальними умови процесу реагентного осадження амонійного азоту є рН 8,5 та стехіометричне співвідношення $\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-} = 1,5:1:1,5$. При максимальній ефективності видалення амонійного азоту ступінь вилучення PO_4^{3-} також максимальна при рН 8,5 та при співвідношенні $\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-} = 1,5:1:1,5$.

Отже встановлено, що максимальна ефективність видалення амонійного азоту досягається в межах рН 8,5 – 9 та при співвідношенні $\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-} = 1,5:1:1,5$. Зміна співвідношення $\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-}$ при даних рН призводить до зменшення ефективності видалення NH_4^+ . Подальше зростання рН призводить до різкого зменшення ефективності видалення іонів амонію.

Результати лабораторних досліджень зведені у комбіновану діаграму, яка показує ефективність осадження NH_4^+ -N в залежності від рН при співвідношенні $\text{Mg}^{2+} : \text{NH}_4^+ : \text{PO}_4^{3-} = 1,5 : 1 : 1,5$ (Рис.1).

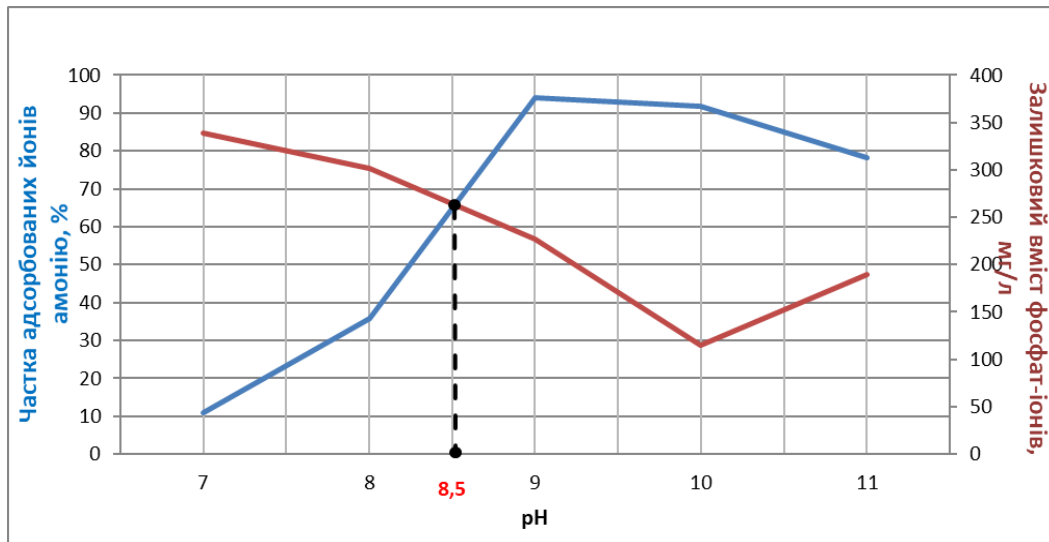


Рис. 1. Оптимальні умови одночасного вилучення іонів амонійного азоту та фосфат-іонів у розчині $Mg^{2+}:NH_4^+:PO_4^{3-} = 1,5:1:1,5$

Також проводилось осадження реальних концентратів іонного обміну. При цьому ступінь осадження іонів NH_4^+ для концентрату вилученого з катіоніту складав 94,5%, а для концентрату, вилученого з цеоліту 93,91%, тобто результати мало різняться від значень модельних концентратів, в яких частка адсорбованих іонів NH_4^+ – 93,91%

Розрахунок вологості осаду дав можливість встановити формулу кристалогідрату $MgNH_4PO_4 \cdot 5H_2O$, яка близька до формули мінерального добрива струвіт $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$.

Встановлення ефективності струвіту за впливом на врожайність сільськогосподарських культур.

Для проведення досліджень обирають два види рослин, які відносяться до однієї з категорій. Категорія 1 – однодольні рослини: жито, рис, овес, пшениця, ячмінь, сорго звичайне, кукурудза. Категорія 2 – дводольні: гірчиця біла, ріпак, редька, редис та ріпа дика, китайська капуста, крес-салат садовий, томат, біб.

Ефективність дії синтетичного струвіту визначали за такими показниками: за динамікою пророщування насіння редьки посівної та насіння

пшениці м'якої озимої. Схожість і енергію проростання насіння пшениці м'якої озимої, відповідно у трьох і п'ятикратній повторюваності із чистої фракції насіння по 10 штук визначали, використовуючи наступні схеми дозування магній-амоній фосфату (МАФ):

1. Контроль (дистильована вода);
 - 1.1. Норма внесення МАФ 0,025 г/мл дистильованої води;
 - 1.2. Норма внесення МАФ 0,068 г/мл дистильованої води;
- 2.1. Норма внесення МАФ 0,025 г/мл 1%-вого розчину лимонної кислоти;
- 2.2. Норма внесення МАФ 0,068 г/мл 1%-вого розчину лимонної кислоти;
- 3.1. Норма внесення МАФ 0,025 г/мл 2%-вого розчину лимонної кислоти;
- 3.2. Норма внесення МАФ 0,068 г/мл 2%-вого розчину лимонної кислоти.

Результати досліджень проростання насіння редьки посівної (*Raphanus sativus* L.) сорту Сакса представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Вплив струвіту на проростання насіння редьки
посівної (*Raphanus sativus* L.) сорту Сакса

№ дослідю	Схожість насіння, %	Відхилення від контролю, %	Тривалість пророщування, діб	Енергія проростання, %
1. Контроль	90,0	-	1	90,0
1.1.	93,3	3,3	2	93,3
1.2.	93,3	3,3	2	93,3
2.1.	90,0	0	2	90,0
2.2.	86,7	-3,3	3	86,7
3.1.	86,7	-3,3	3	86,7
3.2.	80,0	-10	4	76,7

В результаті п'ятиденного пророщування насіння редьки посівної встановили, що у контрольному варіанті, на дистильованій воді, насіння проросло уже на другий день експерименту. У варіантах з розчином лимонної кислоти схожість насіння складала в середньому 88,35% для варіантів другої групи і 83,35% для варіантів третьої групи. У варіантах з розчинами МАФ вищі показники проростання були характерні для водних розчинів, однак

імовірно, що струвіт сповільнював проростання насіння дослідної культури. Однозначно можна стверджувати, що розчин лимонної кислоти сповільнює проростання насіння редьки посівної і знижує показники проростання в більшій мірі за рахунок підкислення середовища. Значення показників вологості насіння редьки посівної підтверджують, що лимоннокисле середовище зменшує вологість пророщеного насіння, а це вказує на зниження ефективності його проростання.

Результати пророщування насіння пшениці представлені у таблиці 3. Пророщення насіння відбувалось впродовж 2 діб

Таблиця 3

Вплив струвіту на проростання насіння пшениці

№ дослідю	Схожість насіння, %	Відхилення від контролю, %
1. Контроль	93,3	-
1.1.	93,3	0,0
1.2.	93,0	-0,3
2.1.	83,3	-10,0
2.2.	76,7	-16,6
3.2.	77,7	-15,7
3.3.	80,0	-13,3

Результати досліджень вказують, що у лимоннокислому середовищі застосування струвіту зменшує схожість і збільшує час проростання насіння пшениці. При цьому водний розчин струвіту, не змінює суттєво динаміку процесів пророщування. Отже, використання струвіту на стадії пророщування насіння є малоефективне.

Дослідження по пророщенню насіння пшениці на водній культурі проводили, визначаючи приріст кореневої системи для розчинів, що містили відповідно струвіт (0,068 г/мл) одержаний реагентним методом (Sr) і добриво з концентрату іонного обміну при його осадженні (Sk). Результати досліджень представлені у таблиці 4.

Вплив струвіту на морфологічні зміни кореневої системи

Варіант	I-день		II-день		III-день		IV-день		V-день		П _б
	D	П _л	d	П _л	D	П _л	d	П _л	d	П _л	
Контроль	1,4	1,4	1,8	0,4	2,3	0,5	2,9	0,5	3,6	0,7	0,72
Sr1	1,6		1,9	0,3	2,7	0,8	3,3	0,6	4,0	0,7	0,8
Sr2	1,8		1,9	0,1	2,4	0,5	3,1	0,6	3,8	0,7	0,76
Sr3	1,7		2,3	0,6	2,7	0,4	3,2	0,5	3,9	0,7	0,78
Sr4	1,8		2,1	0,3	2,6	0,5	3,0	0,4	3,8	0,8	0,76
Sr5	2,1		2,2	0,1	2,8	0,6	3,0	0,2	3,8	0,8	0,76
Середнє значення Sr	1,8	2,08	2,08	0,28	2,64	0,56	3,12	0,48	3,86	0,74	0,77
Sk	1,6		2	0,4	2,7	0,7	3,2	0,5	4,1	0,9	0,82
Sk	1,4		2,4	1,0	3,1	0,7	3,5	0,4	4,1	0,6	0,82
Sk	1,5		2,1	0,6	2,8	0,7	3,0	0,2	3,6	0,6	0,72
Sk	1,8		2,4	0,6	2,9	0,5	3,2	0,3	3,9	0,7	0,78
Sk	2,1		2,4	0,3	3,0	0,6	3,3	0,3	3,9	0,6	0,78
Середнє значення Sk	1,68	1,68	2,06	0,38	2,9	0,84	3,28	0,38	3,92	0,64	0,78

Аналізуючи результати, представлений у таблиці 4, можна стверджувати, що наявність струвіту сприяє видовженню кореневої системи. В середньому щоденний приріст для контрольних варіантів становить 0,72 см та $0,77 \div 0,78$ см для варіантів із струвітом. При цьому середня довжина кореневої системи рослин у варіантах із струвітом на 5-6% більша.

Лінійний приріст кореневої системи у випадку контрольного варіанту спостерігаємо найбільшим на 5 день проростання. Такий же показник маємо при використанні струвіту, отриманого реакгентним способом. В той же час, використання струвіту, отриманого з концентрату іонного обміну дає найбільший приріст кореневої системи на 3 день і чисельно це відхилення досить значне, в порівнянні з іншими варіантами – відхилення становить майже 35%. Можливо ця зміна пов'язана із можливими домішками цеоліту, що присутній в такому добриві, адже цеоліт теж використовують як поживне середовище. В цілому можна констатувати, що походження струвіту мало впливає на морфологічні зміни кореневої системи пшениці у водній культурі. Що до змін надземної частини, то вони практично відсутні.

Дослідження по визначенню ефективної кількості струвіту, необхідного для внесення в ґрунт для підвищення врожайності пшениці проводили протягом 10 днів. Попередньо визначено (Макаренко та ін., 2013), що у випадку норми внесення амоній-фосфатного добрива вище 150 кг/га, продукція не може вважатись екологічно безпечною для споживання.

Дослідження проводили за трьома варіантами:

№1 Контроль – пророщення насіння пшениці у ґрунті без дозування добрива.

№2 С80 – внесення сухого добрива у ґрунт разом з насінням у кількості 80 кг/га;

№3 С140 – внесення сухого добрива у ґрунт разом з насінням у кількості 140 кг/га.

Результати 10-ти денного терміну проростання визначали візуально та за морфологічними показниками надземної і кореневої частини (табл. 5).

Таблиця 5

Вплив мінерального добрива струвіт на ростові процеси пшениці м'якої озими

Варіант	Кількість листків	Середня довжина надземної частини, см	Середня довжина підземної частини, см	Маса підземної частини, г	Умовна щільність кореневої частини, г/см ³	Співвідношення надземної і підземної частини	
Контроль	1	4	23,85	8,5	0,019	0,0125	2,71:1
	2	5	28,9	10,5	0,01		
	3	6	28,12	7,5	0,015		
	4	5	23,44	9	0,012		
	5	5	25,1	12,3	0,017		
	С.з	5	25,9	9,56	0,015		
№3 С140	6	4	28,5	14,2	0,032	0,0189	2,56:1
	7	6	30,3	12,45	0,02		
	8	5	29,7	11	0,035		
	9	6	29,6	8,8	0,019		
	10	5	32,6	12,33	0,036		
	С.з	5,2	30,14	11,76	0,028		
№2 С80	11	5	29,82	13,12	0,037	0,0171	2,33:1
	12	5	29,2	12,37	0,04		
	13	4	30,3	14,5	0,024		
	14	5	31,7	13,5	0,028		
	15	6	30,9	11,8	0,02		
	С.з	5	30,38	13,06	0,028		

Аналізуючи результати, наведені у таблиці, можна стверджувати, що морфологічна структура при внесенні добрив суттєво не змінюється, оскільки показник співвідношення надземної і підземної частини близький за значенням для всіх варіантів. При внесенні струвіту зростає сира маса коренів при цьому найбільш щільна структура кореневої частини визначена для варіанту №3. Загалом внесення добрива сприяє ростовим процесам, про що свідчить більші значення довжини надземної та підземної частини рослин за варіантами внесення добрив у порівнянні з контролем. В цілому дозування струвіту у кількості 80 кг/га має забезпечити достатню урожайність пшениці оскільки така кількість добрива позитивно впливає на формування кореневої і надземної частин рослини.

Рекомендоване внесення добрива у кількості 80 кг/га потребувало додаткової екологічної перевірки з використанням хімічних методів для встановлення безпечних норм застосування добрива (Malovanyu, Sakalova, Vasylinych & Kryklyvuyi, 2019). Результати свідчать, що використання струвіту у заданій кількості збільшує вміст амоній-іонів в кореневій системі на 0,8%, а фосфатів на 1,15% і такі значення знаходяться в межах похибки експериментів.

Висновки

Реагентний метод дозволяє одночасно вилучати іони амонію до 95% та фосфат-іони – до 98%.

Встановлено, що найбільш оптимальними умовами процесу реагентного осадження амонійного азоту є стехіометричне співвідношення $Mg^{2+}: NH_4^+: PO_4^{3-} = 1,5:1:1,5$ і при початковій концентрації $NH_4^+-N - 550$ мг/л рН = 9, а при початковій концентрації $NH_4^+ -N - 470$ мг/л рН=8,5.

Визначено формулу кристалогідрату $MgNH_4PO_4 \cdot 5H_2O$, яка близька за до формули мінерального добрива струвіту.

Доведено, що отримане добриво є добривом проголошеної дії і ефективно впливає на процеси проростання насіння та сприяє ростовим процесам, про що

свідчать більші значення довжини надземної та підземної частини рослини пшениці м'якої озимої.

Список літератури

- Malovanyu, M., Sakalova, H., Vasylynych, T., & Kryklyvyi, R. (2019). The Research on the Ammonium Concentrations in City Stocks and Further Sedimentation of Ion-Exchange Concentrate. *Journal of Ecological Engineering*. 20(1), 158–164.
- Sakalova, G., Vasylynych, T., Shevchuk, O., & Tkachuk, O. (2018). Perspectives of integration the technology of ion-exchanging ammonium extraction from the system of municipal drain water purification. *Ukrainian Journal of Ecology*. 8(1), 568-571.
- Tulaydan, Yu., Malovanyu, M., & Kochubei, V. (2017). Treatment of high-strength wastewater from ammonium and phosphate ions with the obtaining of struvite. *Chemistry & Chemical Technology*. 11(4). 463-468.
- Макаренко, Н. А., Мельничук, М. Д. та ін. (2013). Органічна сільськогосподарська продукція: основні вимоги до якості та умов виробництва: науково-методичні рекомендації. К.: НУБіП України.
- Мальований, А. М., Мальований, М. С., Ятчишин, Й. Й., & Плаза Е. (2011). Концентрування амонію зі стічної води з використанням колонних апаратів та іонообмінних матеріалів. *Екологія и промисленность*. № 29(4). 71–78.

ПРОБЛЕМА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД АПК ВІД ЙОНІВ АМОНІЮ

- Мацуська О.В.**, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, к. с-г. н., доцент, доцент кафедри екології, Україна
- Сабадаш В.В.**, Національний університет «Львівська політехніка», інститут екології, природоохоронної діяльності та туризму імені В. Чорновола, д.т.н., професор кафедри екології та збалансованого природокористування, Україна
- Гумницький Я.М.**, Національний університет «Львівська політехніка», інститут екології, природоохоронної діяльності та туризму імені В. Чорновола, д.т.н., професор кафедри екології та збалансованого природокористування, Україна
- Параняк Р.П.**, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, д. с-г. н., професор, завідувач кафедри екології, Україна
- Сухорська О.П.**, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, к. с-г. н., доцент, доцент кафедри екології, Україна

Abstract

The wastewater of the agro-industrial complex (AIC) are complex multicomponent systems, containing the pollutants of both mineral and organic origin, which requires the search for the effective methods of their purification. The results of the environmental assessment of the wastewater of the meat processing enterprises indicate an exceedance of the maximum permissible limit (MPL) for ammonia nitrogen content – 1.3-3 MPL. The concentration of ammonium nitrogen in poultry farms is 3.8 MPL. In the wastewater of dairy enterprises – the content of ammonia nitrogen reaches 2.5 MPL.

Harmful impurities may be removed from the sewage water by various methods. Viewing the fact that great volumes of the sewage water are subject to cleaning, the most economically reasonable is usage of natural sorbents. In this work, the comparative sorption properties the different peats in relation to the possibility and efficiency of ammonium ion removal from water.

The rational usage of natural resources involves the complex usage of natural resources. The nitrogen absorbed by ammonium peat, as well as the peat itself is a sufficient fertilizing land, so the use of used peat complex in agriculture allows to solve not only problems of fertilizers, but also to achieve greening in sewage water treatment technologies.

The presents a comparison of the physiological indices of plants, depending on the application of the species and form of Gamaliyevka-Gribovichi peat deposit, Yavoriv district, when fertilizing the substrate (sand as a background) of the study areas.

Вступ

Водні проблеми зумовлені нераціональним використанням води різними галузями діяльності із застосуванням водомістких технологій, скиданням у природні водойми забруднених стічних вод. До цих галузей належать підприємства агропромислового комплексу, особливо тваринництво, птахівництво, а також переробні підприємства сільськогосподарської продукції, що об'єднуються у велику галузь народного господарства – підприємства харчової промисловості.

Підприємства харчової промисловості характеризуються (Мацуська, Параняк, Сабадаш та Гумницький, 2013, Саблій, 2013):

✓ водомісткими технологіями, де кількість води з виробничих цехів сягає 95 % у вигляді сильно забруднених стоків;

✓ нерівномірністю надходження виробничих стічних вод на очисні споруди за витратою, показником рН, температурою і концентраціями забруднюючих речовин;

✓ високим вмістом завислих часточок, хімічних речовин як органічного (жирів, білків) так мінерального походження (азоту амонійного, фосфатів) та патогенних мікроорганізмів.

Вміст стічних вод деяких підприємств агропромислового комплексу, а саме: м'ясо- та молокопереробних підприємств, птахо підприємств, та гранично допустимі норми вказаних забрудників, представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Екологічна оцінка стічних вод деяких підприємств АПК

№ п/п	Назва забруднюючої речовин	Вміст забрудника у стоках:			ГДК
		Птахо-підприємств	МПП	Молоко-заводів	
1	рН	8,8	8,0	5,3-5,9	6,5-8,5
2	Азот амонійний, мг/дм ³	77,5	31,0	50,0	не>20,0
3	Хлориди, мг/дм ³	183,9	165,0	160,0	не>200,0
4	БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	4000,0	140,0	2000,0	150,0
5	Завислі речовини, мг/дм ³	724,0	1060,0	270,0	не>210,0
6	Фосфати, мг/дм ³	75,0	21,3	31-70	7,0
7	Сульфати, мг/дм ³	104,0	122,0	29,2	не>250,0
8	Жири, мг/ дм ³	134,0	830,0	до100	не>50,0
9	ЗЧМ, КУО/см ³	1,7×10 ⁷	5,2×10 ⁶	-	10 ³ -10 ⁴
10	Колі-індекс (E.coli), КУО/дм ³	1,36×10 ⁶	5,0×10 ⁶	3,0×10 ⁶	1,0×10 ²

Як видно із представлених даних, стоки АПК представляють собою складні багатоконпонентні системи, перевищення ГДК спостерігається за багатьма показниками:

✓ у результаті діяльності м'ясопереробних підприємств: завислі речовини – 5,05 ГДК, жири – 2,68 ГДК, азот амонійний – 1,55 ГДК, фосфати – 10,7 ГДК, а також значне мікробне забруднення;

✓ у результаті діяльності птахопідприємств: завислі речовини – 3,45 ГДК, жири – 16,6 ГДК, азот амонійний – 3,78 ГДК, фосфати – 3 ГДК та значне мікробне забруднення;

✓ у результаті діяльності молокозаводів та молокопереробних підприємств: завислі речовини – 1,29 ГДК, жири – 2,0 ГДК, азот амонійний – 2,5 ГДК, фосфати – 4,3-10 ГДК та високий вміст мікроорганізмів.

Часто для очищення стоків АПК застосовують біологічний спосіб очистки із застосуванням спеціальних біологічних систем, які складаються із бактерій або ферментів, що здатні руйнувати органічні забрудники в аеробних та анаеробних умовах (Маслій, 2015). При цьому відбувається втрата цінних харчових компонентів. Крім того, біологічна очистка висококонцентрованих рідин вимагає їх попередньої підготовки механічними та фізико-хімічними методами і є малоефективна для вилучення із стоків біогенних елементів, особливо сполук азоту. Цей метод є найбільш доцільним для видалення розчинених органічних речовин, проте не вигідний для заводів малої потужності, оскільки потребує великих затрат на його впровадження та експлуатацію.

Найбільш оптимальним у цьому випадку є застосування фізико-хімічних методів. До них відноситься мембранна фільтрація, флотація, реагентна обробка та адсорбція (Штепа, 2014; Scharma, 2014; Sabadash, Gumnitsky & Нувлюд, 2016). Найпоширенішими серед цих методів є коагуляція та флокуляція, які дозволяють за один прийом за допомогою органічних та неорганічних коагулянтів осадити основні забруднюючі компоненти, тим самим полегшити їх видалення під час подальшого відстоювання чи фільтрування. Недоліками флокуляції та коагуляції є невеликий ступінь очищення (~90%) внаслідок нестабільності процесу та вторинне забруднення очищеної води залишками реагенту. Висока вартість і дефіцитність, наприкладі іонообмінних смол на основі целюлози перешкоджає їх широкому застосуванню в процесах очищення води.

Одним із основних компонентів – забруднювачів стічних вод є амонійний азот, який втрачається зі стічною водою, і на його поповнення затрачаються значні кошти. Ми вважаємо, що значну кількість амонійного азоту можна уловити та вернути для сільського господарства.

Аналізуючи сучасні методи очищення водних розчинів від амонійного азоту, як з економічної так і технологічної точки зору, можна вважати, що одним із найефективніших є метод іонного обміну з використанням природних дисперсних сорбентів (Humnytskyu & Matsuska, 2011; Borkowski, Rydelek & Szala, 2012; Malovanyu, Petrushka K. & Petrushka I., 2019). Очищення водних розчинів за допомогою яких відповідає багатьом вимогам екологічночистого та енергоощадного виробництва, що базується на принципі безвідходності (Тимчук, Мальований, Одноріг та Гаджула, 2013; Мацуська, Ціжовська та Хапко, 2019). Значні геологічні запаси природних сорбентів, не складний їх видобуток, транспортування та ефективне застосування, вказують на можливість використання відпрацьованих сорбентів в різних технологічних процесах. Нами досліджено адсорбцію амонійного азоту природним цеолітом та показано високу ефективність методу і можливість його застосування (Humnytskyu & Matsuska, 2011; Мацуська та ін., 2013).

Метою даної роботи є дослідження та порівняння адсорбційної здатності торфу (верхових та низинних проб) Верещиця-Янівського та Гамаліївка-Грибовицького родовищ до азоту амонійного із водного середовища, а також встановлення можливості відпрацьованого торфяного комплексу для підживлення сільськогосподарських угідь не лише амонійним азотом, але і вуглецевими компонентами та мікроелементами торфу.

Матеріали і методи дослідження

Торф це полідисперсна система, основу якого складають рослинні залишки твердих полімерів целюлозної природи і продукти їх розпаду, що

перебувають у рівновазі з водним розчином низько- та високомолекулярних речовин.

Головним джерелом неорганічних сполук торфу є водна міграція мінеральних компонентів, що надходять з паводковими та ґрунтовими водами, а також повітряна і біогенна міграції. Неорганічна частина торфової води представлена переважно катіонами (здебільшого Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , K^+ , Na^+) і аніонами (HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) хімічних елементів. Вміст катіонів у торфовій воді (особливо Ca^{2+}) впливає на кислотність середовища і визначає концентрацію розчинених органічних сполук.

Джерелом органічної речовини торфу є болотні рослини-торфоутворювачі: мохи, трави, деревні породи. Склад і властивості торфу залежать від хімічних особливостей рослинного матеріалу, отже – і від типу торфу. Основу органічної складової торфу становлять гумінові речовини (гумінові кислоти, фульвокислоти та їх солі), які спричиняють до іонообмінних властивостей торфу.

Іонообмінні властивості гумінових речовин зумовлені великою кількістю карбоксильних $-\text{COOH}$ та фенольних $-\text{OH}$ груп. Більше 50% іонного обміну припадає на карбоксильні групи, оскільки фенольні гідроксили при $\text{pH} < 6$ практично не дисоційовані і вступають у іонний обмін лише при $\text{pH} = 9 - 10$. Також, макромолекули гумінових речовин за рахунок водневих зв'язків та полівалентних йонів можуть «зшиватися» з утворенням просторових структур, які здатні поглинати та утримувати велику кількість води з розчиненими в ній речовинами, що підкреслює їх адсорбційні властивості (Кравченко В.С., Боднарюк, Кравченко Ю.В. та Курилюк, 2009).

Для досліджень адсорбційної здатності торфу відбирали його проби із досліджуваних родовищ з різних глибин: 10-20 см та близько 1,5 м.

Відомо, що походження торфу значно позначається на його хімічному складі. Вміст гумінових кислот у низинного виду торфу близько 1,6 рази

вищий, ніж у верхового. Солей у низинному виді торфу також міститься багато – 200-700 мг/л, у верховому – до 70-180 мг/л.

Структуру відібраних та взятих для досліджень проб торфу спостережено нами під мікроскопом (рис. 1,2).

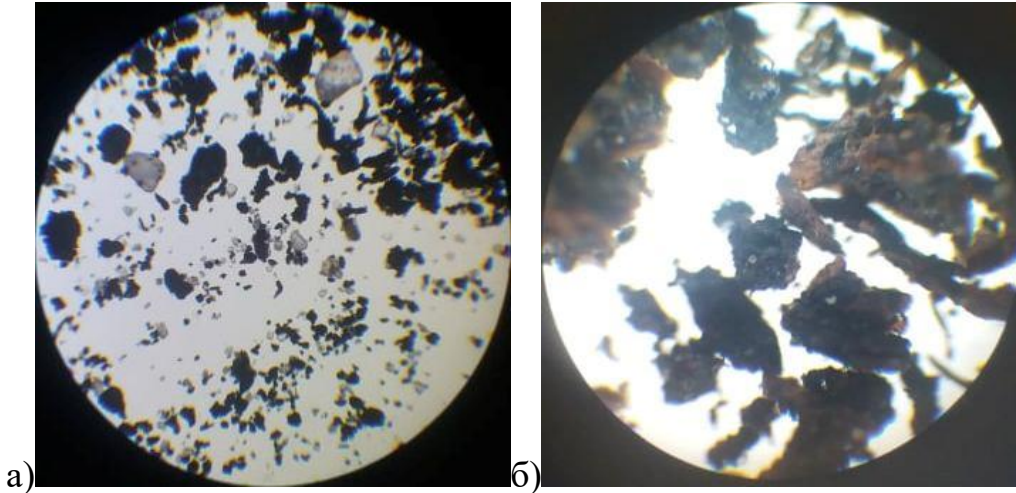


Рис. 1. Фото досліджуваних проб торфу родовища Гамаліївка-Грибовичі під мікроскопом (збільшення у 7×8 раз): а) верхового та б) низинного

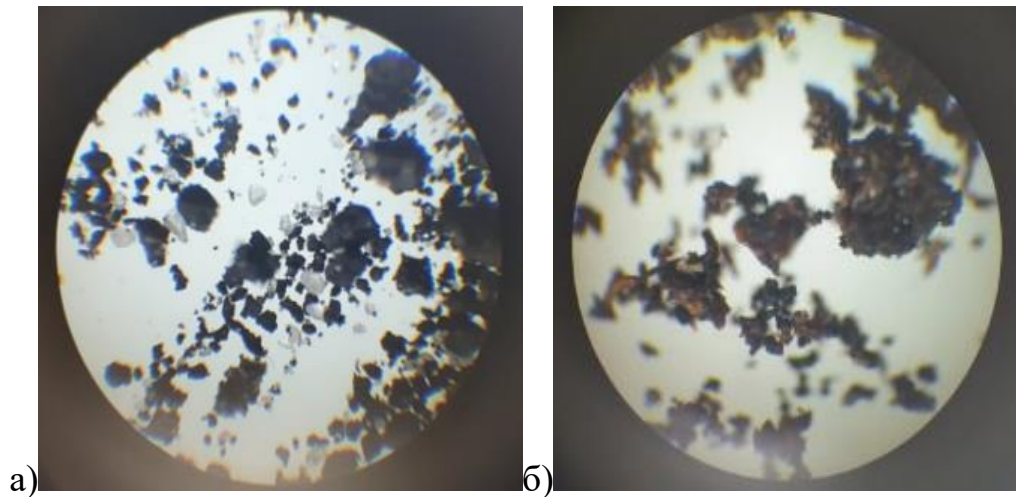


Рис. 2. Фото досліджуваних проб торфу Верещиця-Янівського родовища під мікроскопом (збільшення у 7×8 раз): а) верхового та б) низинного

У структурі низинного виду торфу (рис. 1б, 2б) на відміну від верхового (рис. 1а, 2а) переважають рослинні волокна, що підтверджує високий вміст органіки у ньому.

Для встановлення сорбційної здатності проб торфу щодо азоту амонійного до змодельованих розчинів (по 100 мл) із концентрацією йонів

амонію (Споч йонів амонію 20-70 мг/дм³) додавали попередньо висушені зразки торфу (~ по 2,7 – 3,7 гр). Діапазон концентрацій даних забруднюючих компонентів відповідав їх вмісту у реальних стічних водах. Колби герметично закривали і залишали при періодичному перемішуванні на дві доби, при температурі +20°C. Сорбент відділяли від розчинів, які аналізували на вміст азоту амонійного на фотоелектроколориметрі за загальновідомою методикою.

Для дослідження впливу добрив на кінетику росту рослин ставили п'ять паралельних дослідів: ♦-пісок без удобрення (контроль); ♦-пісок + верхова проба торфу; ♦-пісок + низинна проба торфу; ♦-пісок відпрацьований верховий торф та ♦-пісок + відпрацьований низинний торф.

В горщечки висівали крес-салат, який являється тестовою культурою (по 150 зернят). Протягом вегетаційного періоду проводився догляд та спостереження за рослинами (спушування піску, полив (500 мл)), в результаті чого порівнювали їх ступінь розвитку та маси одержаного врожаю.

Адсорбційна здатність торфу до йонів амонію із водного середовища

До основних технологічних характеристик адсорбційного процесу належить насамперед питома витрата адсорбенту на очищення одиниці стоку. Для визначення цього показника потрібно знати, як використовується ємність адсорбенту (його адсорбційна здатність), чи залежить процес сорбції від рН середовища і яким має бути його оптимальне значення.

Адсорбційну ємність сорбенту (мг/дм³) визначали за наступною формулою:

$$A = \frac{C_{\text{поч}} - C_{\text{кін}}}{n} \times V, \quad (1)$$

де $C_{\text{поч}}$ – початкова концентрація забрудника в розчині, г/дм³; $C_{\text{кін}}$ – кінцева концентрація забрудника в розчині, г/дм³; n – наважка сорбенту, г; V – об'єм розчину взятого для дослідження, дм³.

Порівняльний аналіз ефективності вилучення йонів амонію за допомогою торфів різних видів та родовищ, представлено на рис. 3,4 у виді ізотерм

адсорбції, які характеризують максимально можливу сорбційну здатність.

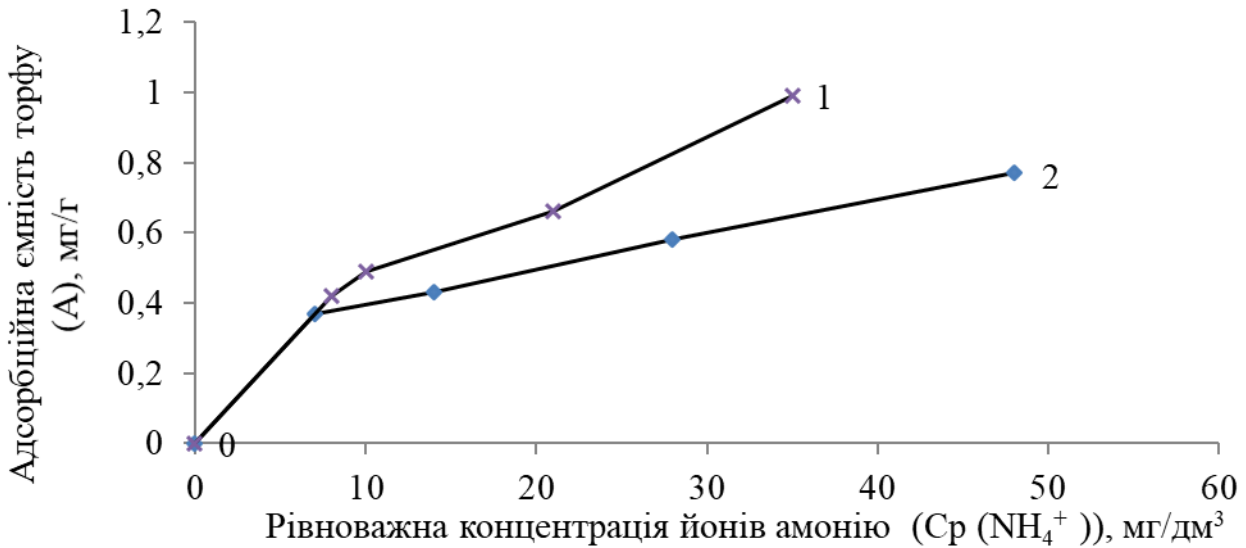


Рис. 3. Ізотерма сорбції йонів амонію на торфі родовища Гамаліївка-Грибовичі:

1- низинна проба; 2 – верхова проба

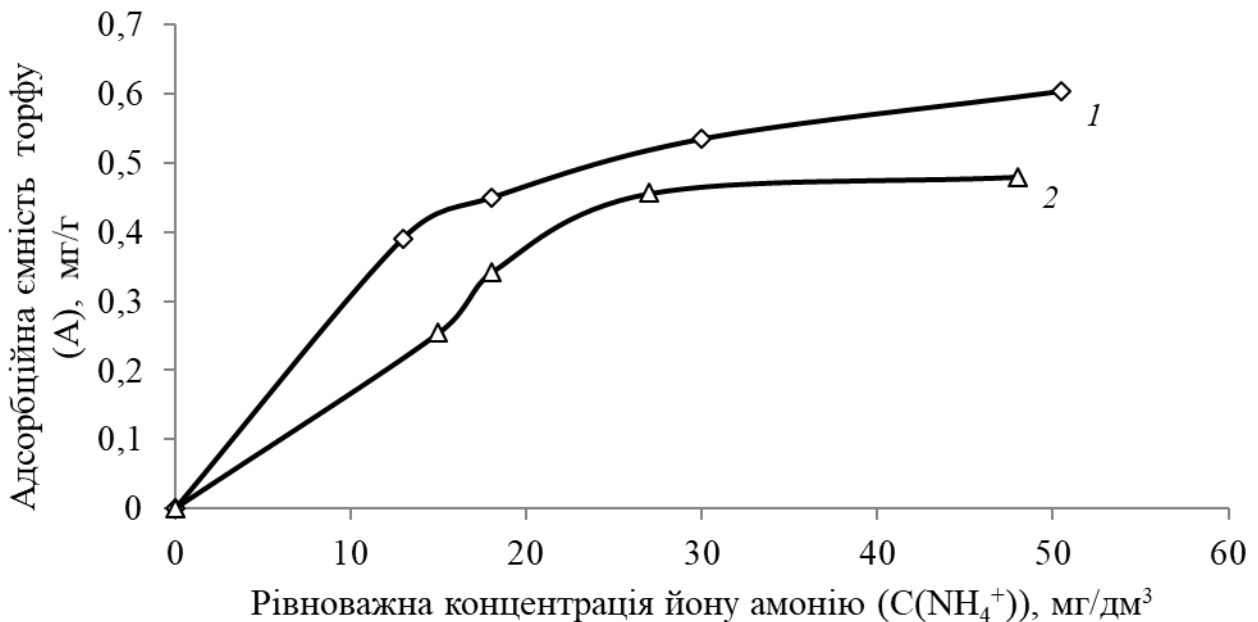


Рис. 4. Ізотерма сорбції йонів амонію на торфі родовища Верещиця-Янівське:

1 – низинна проба; 2 – верхова проба

Як видно із представлених результатів досліджень (рис. 3,4), дані торфи мають здатність вилучати йони амонію із води. Адсорбційна здатність торфу родовища Гамаліївка-Грибовичі до даного забрудника є вищою ніж торфу Верещиця-Янівського родовища: для низинного виду торфу у 1,63 рази,

верхового у 1,91 раз. Сорбційні властивості низинного торфу даних родовищ до йонів амонію є вищими від верхового (н-д, рН низинного торфу Верещиця-Янівського родовища – 5,08, верхового – 5,29) ~ у 1,25 раз. Адсорбційні властивості торфу можна пояснити тим, що у його структурі є значне переплетіння рослинних залишків, просторові та колоїдні частинки яких поглинають велику кількість води, що забезпечує поглинання забрудника. В результаті просушування досліджуваних зразків торфу ($T = 60 \pm 3^\circ\text{C}$) спостерігається значна втрата вологи: 45-55 % та 35-40% у низинному та верховому видах торфу родовища Верещиця-Янівське; 55-62% та 20-27% – у низинному та верховому видах торфу родовища Гамаліївка-Грибовичі (Мацуська, Калин та Павлюк, 2017; Matsuska, Suchorska & Gumnitsky, 2020).

Перспективи екологізації процесу очищення стоків АПК

Азот амонійний є одним із біогенних елементів, які потрапляючи в об'єкти довкілля із стічними водами, особливо при значному перевищенні допустимих значень спричиняють ряд екологічних проблем. Проте, у сільському господарстві, даний досліджуваний компонент є важливим елементом живлення рослин, адже азот входить до складу рослинних білків, амінокислот, нуклеїнових кислот та інших життєво важливих сполук. Рослини засвоюють лише мінеральний азот у формі йонів амонію (NH_4^+) та нітрат-йонів (NO_3^-). За нестачі азоту спостерігається гальмування росту рослин, послаблюється утворення бокових пагонів і коренів, спостерігається дрібнолисточковість, тощо. Основною зовнішньою ознакою дефіциту азоту є блідо-зелене забарвлення листків, поява некрозів, висихань і відмирань тканин.

Для встановлення можливості екологізації технології очищення стічних вод, особливо агропромислового комплексу, було проведено вегетаційні дослідження, що відтворювали реальні умови вирощування сільськогосподарських культур (крес-салату) при удобреннях субстрату різними формами та видами торфу (природного та відпрацьованого). Режим

підживлення та поливу рослин відповідав процесу їх вирощування у тепличних господарствах. Період вегетації тривав 14 днів. Важливо підкреслити, що субстратом для вирощування рослин обрано пісок (як фон), який не містить необхідних елементів живлення для їх росту, що дає можливість оцінити та порівняти саме вплив досліджуваних удобрюючих компонентів на розвиток тест культури.

Норма внесення аміачних добрив на 1 га ріллі під овочеві культури становить 220 кг, тому дана дослідна ділянка, приготовлена для досліджень, ($0,03 \text{ м}^2$) потребує $\sim 0,67$ гр даного елемента живлення. Враховуючи сорбційну здатність торфу до йонів амонію, а також природний вміст азоту, у складі торфу (на 1 т торфу ~ 20 кг азоту, 3 % із якого засвоюється рослинами), то на дослідну площу внесено \sim по 40 мг висушених проб торфу (втрата вологи при сушінні ($T - 60 \pm 3^\circ\text{C}$) низинного та верхового торфу становить відповідно: 55-62% та 20-27%) та у таких же кількостях їх відпрацьованих форм.

На 13 день вегетаційних досліджень було спостережено, що $\sim 20\%$ рослин на контрольній ділянці зів'януло, що вказує на нестачу необхідних елементів для їх живлення. Також, стебла цих рослин були досить тонкими, максимальна їх висота перед збором урожаю – 3-4,5 см. Природні види торфу забезпечують належний ріст та розвиток крес-салату, проте висота рослин при підживленні верховим торфом була дещо кращою, ніж при вирощуванні їх із низинною пробою торфу: 4,5-6 см та 4-5,5 см відповідно. Спостережено також неоднаковий вплив відпрацьованих форм сорбентів на розвиток досліджуваних культур: відпрацьований низинний торф, у порівнянні із його природною формою, покращує ефективність росту рослини \sim у 1,5 рази (висота рослин досягнула 6-7,5 см). Відпрацьований верховий торф дещо пригнітив ріст крес-салату, висота його пагонів на 13 день вегетативного періоду становила 3-4,5 см, що у $\sim 1,5$ рази нижче ефективності росту рослин при вирощуванні їх природнім верховим торфом.

Досить важливим параметром, який відображає ефективність та доцільність застосування відпрацьованих форм сорбентів для підживлення рослин є маса вирощеного урожаю. Тому, на завершальному етапі даних досліджень рослини були зібрані та висушені до їх постійної ваги. Порівняння одержаних мас рослин, які вирощувались при різних удобреннях субстрату, відображено у табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння одержаних мас рослин, що вирощувались
при різних удобреннях дослідних ділянок

№ п/п	Назва удобрюючого компоненту	Маса рослин, гр
1	Контроль: без підживлення	0,16
2	Низинна проба торфу	0,41
3	Відпрацьований низинний торф	0,69
4	Верхова проба торфу	0,69
5	Відпрацьований верховий торф	0,44

Аналізуючи дані табл. 2, бачимо, що маса рослин підживлених верховим видом торфу у 1,6 рази вища ніж тих, що вирощувались із додаванням низинного виду торфу. Проте, відпрацьована низинна форма торфу забезпечила кращу ефективність зібраного врожаю ніж відпрацьована верхова форма торфу у 1,57 раз (Мацуська та ін., 2019).

Висновки

1. За результатами аналізу екологічної оцінки стічних вод АПК встановлено перевищення допустимих норм за вмістом азоту амонійного: для м'ясопереробних підприємств – 1,3-3 ГДК, птахофабрик – 3,8 ГДК та молокопереробних підприємств – 2,5 ГДК.

2. Досліджено та порівняно сорбційні властивості торфу різних родовищ до найбільш поширеного забрудника стічних вод АПК – амонійного азоту.

3. Адсорбційна здатність торфу родовища Гамаліївка-Грибовичі до йонів амонію є вищою ніж торфу Верещиця-Янівського родовища: низинного виду –

у 1,63 рази, верхового – у 1,91 раз. Сорбційні властивості низинного торфу даних родовищ щодо йонів амонію є вищими ніж верхового ~ у 1,25 раз.

4. Одержані дані щодо можливості застосування торфу як сорбенту у процесах очищення води значно розширюють сферу його застосування.

5. З метою очищення води від йонів амонію ефективним є застосування низинного виду торфу родовища Гамаліївка-Грибовичі, відпрацьована форма якого забезпечує у 4,31 рази вищу врожайність вирощеної культури, ніж тих, що вирощувались без елементів живлення, в 1,68 рази, порівнюючи із природною формою низинного виду торфу та в 1,57 раз, порівнюючи із відпрацьованою верховою пробою торфу.

Перспективи подальших досліджень

Буде досліджено сорбційну здатність даних видів торфу до інших забрудників стоків агропромислового комплексу, з метою розроблення ефективних та маловідходних способів очищення стічних вод. Відпрацьовані сорбенти із компонентами стоків буде перевірено на можливість та ефективність їх застосування як добрив для підживлення сільськогосподарських угідь.

Список літератури

- Borkowski, A., Rydelek, P., & Szala, M. (2012). Charakterystyka procesu adsorpcji azototrazolanu w gruntach organicznych na przykladzie torfu. *Inżynieria Ekologiczna*, 29, 17-25.
- Humnytskyu, Y., & Matsuska, O. (2011). Statics and kinetics of ammonium nitrogen sorption on natural zeolite under periodic conditions. *Chemistry and chemical technology*, 5(1), 7-11.
- Malovanyu, M., Petrushka, K., & Petrushka, I. (2019). Improvement of Adsorption-Ion-Exchange Processes for Waste and Mine Water Purification. *Chemistry and chemical technology*. 13(3), 372-376.

- Matuska, O., Suchorska, O., & Gumnitsky, J. (2020). The ability of peat in adsorption of biogenic elements from water environment. *Journal of Ecological Engineering*, 21(4), 224-230.
- Sabadash, V., Gumnitsky, J., & Hyvlyud, A. (2016). Mechanism of phosphates sorption by zeolites depending on degree of their substitution for potassium ions. *Chemistry and chemical technology*, 10(2), 235-240.
- Scharma, D. (2014). Treatment of dairy waste water by electrocoagulation using aluminium electrodes and settling, filtration studies. *International Journal of Chem-Tech Research*, 6(1), 591-599.
- Кравченко, В. С., Боднарюк, Т. С., Кравченко, Ю. В., & Курилюк, М. С. (2009). Перспективи використання торфу для очищення висококонцентрованих виробничих стічних вод. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*, 3(47), 2, 250-257.
- Маслій, І. В. (2015). Проблеми очистки стічних вод тваринницьких підприємств. *Вісник Сумського національно аграрного університету. Серія: Будівництво*, 10, 75-77.
- Мацуська, О. В., Калин, Б. М., & Павлюк, І. О. (2017). Порівняльний аналіз використання природних сорбентів у процесах очищення стоків підприємств АПК. *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ ім. С.З. Гжицького*, 19(79), 159-162.
- Мацуська, О. В., Параняк, Р. П., Сабадаш, В. В., & Гумницький, Я. М. (2013). Еколого-економічна доцільність застосування кавітаційно-адсорбційного очищення стічних вод м'ясопереробних підприємств. *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ ім. С.З. Гжицького*, 19 (79), 159-162.
- Мацуська, О. В., Ціжовська, М. В., & Хапко, Д. М. (2019). Перспективи екологізації процесу очищення стічних вод АПК при використанні нетрадиційних сорбентів. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія «Сільськогосподарські науки»*, 21(91), 54-59.

- Саблій, Л. А. (2013). *Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод*: Монографія. – Рівне: НУВГП,
- Тимчук, І., Мальований, М., Одноріг, З., & Гаджула, Т. (2013). Еколого-економічні аспекти використання природних сорбентів у агротехнологіях. *Зб. Міжнародна науково практична конференція «Соціально-екологічні проблеми переходу до сталого розвитку: реалії та перспективи XXI століття»*, (pp. 76-78), НУБІП, Херсон.
- Штепа, В. М. (2014). Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління. *Енергетика і автоматика*, 2, 61-71.

AVAILABEL WATER SUPPLY AS S MAJOR FACTOR OF THE URBAN TERRITORIES STABLE DEVELOPMENT

Voloshkina O., Kyiv National University of construction and architecture, Doctor of Technical Sciences, professor Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, Ukraine

Telyma S., Institute of hydromechanics, NAS of Ukraine, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Scientist Institute of hydromechanics, NAS of Ukraine Kyiv, Ukraine

Zhukova O., Institute of hydromechanics, NAS of Ukraine, 3Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), docent Kyiv national university of construction and architecture Kyiv, Ukraine

Abstracts

As known in Ukraine the deficit of the water resources for population watersupply of the qualitative drink water is observed more and more. This problem is given in consideration as the stable development of the separate regions is impossible without availabel watersupply. In paper the problems of selection of sites for the location of groundwater intakes in complex environmental conditions are considered. As a practical example the results of an integrated approach for justifying of the selection of the perspective places for water intakes construction using the modern methods for interpreting field data, numerical modeling and predictive calculations for assessing fresh groundwater resources of the water intakes group in the Volyno-Podolsk artesian basin are presented. The tyfication of groundwater deposits of the basin was carried out according to geological and hydrogeological characteristics, the conditions of formation of groundwater resources and the possibilities of using groundwater to watersupply of the population with high-quality drinking water. Carried out studies on the assessment of groundwater resources on existing and designed water intakes in given region have shown that the main

resources of the fresh waters are found in the fissured rocks of the Devonian, Chalk and Neogene ages that were formed as a result of the tectonic displays in area during the processes of orogenesis in the zones of joining of the Volyno-Podilskyi platform and the Carpathian geosynclinale. A permanently existing mathematical models of the investigated groundwater fields have been created to assess the operational groundwater resources for a long-term period which allows to provide the modeling of project water intakes exploitation in different operating modes, to solve the problems of regulating and optimization of the water withdrawal under different conditions of water intakes exploitation, expansion their productivity depending on the economic needs in the region, to solve problems of supporting of the quality of the drinking water by predicting the possible pollution and depletion of major aquifers during their operation. The created model of the underground water deposits of the Rudno (Lviv region) may be used as an analog – intake when selecting perspective sites for the placement of the new water intakes which will help to reduce the material resources during their justification and construction. As a result of the research the groundwater resources in the water intake areas were justified which allows to increase the water availability of the population of this territory for a long-term period and to reduce the load on the operation of existing water intakes thereby regulating the groundwater resources of the Pricarpathian region.

Introduction

In the design and installation of groundwater intakes as a rule a complex of search and research works is carried out for the analysis of geological and hydrogeological conditions in the selected territory and the choice of the main aquifers that can adequately provide drinking water to one or another region. In this case search work is aimed to identifying complexes of waterbearing rocks with increased collecting properties. Subsequently areas are selected for the development of water intakes, the tests of aquifers are conducted through pilot-operation pumping with the interpretation of the data obtained and the use of various techniques

including numerical-analytical modeling and methods for identifying the main characteristics of the aquifers (Telyma, 2013). At the final stage of surveys a forecast of changes in hydrogeological conditions for the project period (25 years) is carried out and the operational resources of specific water intakes are calculated. Geological and hydrogeological information of the geological environment serves as the basis for choosing one or another area for groundwater intakes.

The article deals with the problems of optimization of the work of groundwater intakes based on the example of group of the Lviv groundwaters ones. The description of the geological structure of the region in terms of rocks collector characteristics, the influence of tectonic displays, data on existing water intakes and the results of the geological and hydrogeological information interpretation by identification methods to increase the reliability and validity of the input data for predictive calculations of operational resources of groundwaters are analysed. As an example of a systematic approach the results of research on water intake Rudno are presented.

The purpose of the research is in a systematic integrated approach to the valuation on the predictive groundwater resources of the working and projected water intakes in difficult geological and hydrogeological conditions of the Pricarpathian region.

Materials and methods

The research methodology consists in a detailed analysis of the geostructural formation and hydrogeological conditions of the existing and projected water intakes. In this case the water-bearing rocks filtration properties were studied, the data of regime observations, the chemical composition of groundwater were analyzed, mathematical modeling methods were used to identify the basic aquifers geofiltration parameters and to solve the predictive problems in assessing groundwater resources for the long-term period.

Results and discussions

The investigated area is located in the south-western part of the Volyno-Podilsky subregion of the East European Platform and it is a platform region the foundation and sedimentary rocks of which are hollowly immersed in the western and southwestern directions (Zajats, 2013, 2016).

In the geological structure of the territory there are two structural tiers, namely: the first, represented by intensively dislocated Lower Proterozoic formations involved in the structure of the platform foundation; the second - a sedimentary layer composed of diffusely-sedimentary formations with a total thickness of 5000 m and more.

From the point of view for the fresh groundwater use in these sediments the deposits of the Cretaceous system which are widespread within the platform are represented of the interest. The deposits relate to this system lithologically represented by sands, sandstones, marls, chalk and limestones with a total thickness of 100 -150 m to 600 m and more. For the most part of the platform the chalk deposits lie directly under the Quaternary and Neogene rocks at depths of 3-5 m to 80-100 m.

The upper part of Cretaceous deposits to the depths of 50-80 m is characterized by increased fracturing which contributes to the powerful aquifer formation and contains fresh water. The most intense cracking is associated with zones of tectonic disturbances which are well correlated with the studied region hydrography.

Thus the hydrodynamic role of bursting tectonic disturbances and consequently the relief is of paramount importance when selecting areas for the development of groundwater intakes.

Analysis of the geohydrogeological conditions of this region allowed to choose out the three types of underground water deposits that differ in terms of the formation of operational groundwater resources (Shestopalov, Blinov & Ljutyi, 2010): 1 - deposits of groundwater in river valleys; 2 - in limited-area structures; 3 - in artesian basins. The water intakes that are considered exploit aquifers in Upper Devonian,

Upper Cretaceous, Neogene and Quaternary sediments.

The water supply system of the Lviv city (Ukraine) includes 49 water intakes which are grouped into four ones, namely: North, Western, Eastern and Southern (Shestopalov et al., 2010; Lujta N.G. & Lujtyi G.G, 2016). Investigated water intake Rudno (Lviv region, Ukraine) belongs to the Western group which also includes water intakes Malchytsia, Kernytsia and Kamenebrid. A typical geological and hydrogeological section for this area is shown in Fig. 1.

The analysis of the hydrogeological conditions of the Western group water intakes made it possible to conclude that the upper Baden and Upper Cretaceous aquifers are the main aquifers on this area. These aquifers are conditionally well protected and connected by a fissure type collector with varying thickness and the different filtration properties. The hydrochemical conditions of the area are quite complicated. The formation of the operational resources of the aquifers in the sediments of the lower Baden and upper Cretaceous is due to infiltration and the groundwater flow from the Upper Cretaceous deposits.

In the practice of hydrogeological prospects on the stages of searches, preliminary and detailed prospecting as well as data analysis of regime observations the interpolation and extrapolation methods are often used. There are many methods for solving problems of data processing of the search geofiltration works. Quite substantially the methods of interpolation and techniques are highlighted in the works of many domestic and foreign authors among which it may be distinguish for example the generalization works (Zatserkovnyi, Burachek, Zhelezniak & Tereshchenko, 2017) concerning their use in the hydrogeological researches.

In presented here work the results of using one of the interpolation methods namely the method of kriging which has recently been widely used in the analysis and processing of search data for solving various hydrogeological problems are presented.

According to the interpolation methods the set of hydrogeological parameters are considered as so-called "regionalized variables" that is they are sharply varying in

area and exist within the defined spatial structure and the main propositions of geostatistics are based on the estimation of regionalized variables using the methods of interpolation of data. The use of interpolation methods for the interpretation of input data allows us to increase the validity of solving the various predictive tasks of water- and mass transfer in the studied territories.

In most cases mathematical modeling methods are used to predict the water systems behavior. In this case there is a need to determine a large number of input data which depends on the model scale and the discretization ones. It is very difficult often to evaluate the accuracy of these parameters since they are measured at several points in the selected filtration area.

Therefore, it is necessary to evaluate and increase the probability of discrete values of parameters that were obtained on the basis of field works by means of solutions of direct and inverse filtration problems. Deterministic methods are not very effective due to the large variability of hydrogeological parameters both in space and in time. Field heterogeneity of groundwater basins is often uncertain and it is very difficult to analyze it based on deterministic methods. Measurements at the scale of the basin show that the physical characteristics of the hydrogeological variables are highly irregular. However this spatial variability is not coincidental but is correlated to a certain extent in the space of the distribution field of these variables. If the phenomenon is propagated in a space and has a definite spatial structure then we can say that this is a regionalized variable. From a mathematical point of view such a variable is a function of space but is highly irregular. Thus, all the parameters used in geofiltration, namely: piezometric heads, coefficients of transmissivity, storage, infiltration inflow, flow and others can be considered as the regionalized variables.

Practical realization of the kriging method is shown on the example of processing and analysis of input geofiltration data in the forecast assessment of groundwater resources for providing drinking water to settlements of the investigated region.

As mentioned above the studied area is characterized by the complexity of

hydrogeological conditions and there is a need for a detailed account of the main factors of the formation of operational resources in this area and for the groundwater resources valuation the geofiltration model of the underground water deposit at the Rudno area (Lviv region, Ukraine) with using mathematical modeling methods was created (Telyma, 2013, 2014; Telyma & Voloshkina, 2018).

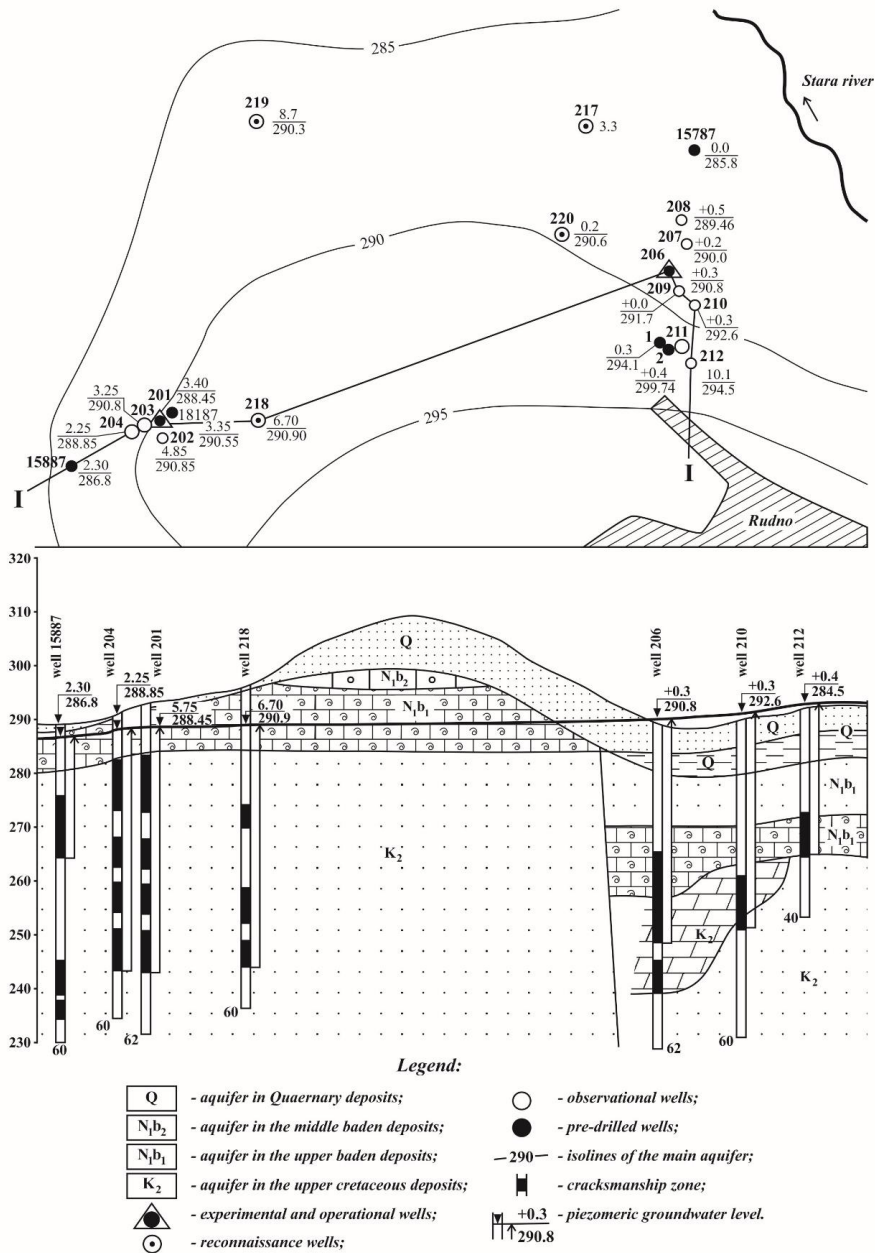


Fig. 1. Geolo-hydrogeological section along the line I-I and the location of water intake wells at the designed water intake Rudno site (Lviv region, Ukraine).

Scale: Horizontal 1: 25000, Vertical 1:1000

The geofiltration model of the deposit covers an area of 120 sq km (12 km x 10 km). The discrete mesh consists of uneven blocks with a maximum step of 1140 m and a minimum of 285 m. The total number of nodes in a model discrete mesh is 1152 (36x32). In this model the groundwater filtration was modeled in the system of two aquifers in the Quaternary sediments and in the upper Chalk deposits which interact hydraulically with each other through a weakly permeable clay layer.

At the first stage of the research the schematization of the filtration area was carried out both in the plane and in the section. Waterbearing aquifers are schematized in the section as a two-layer aquifer with a single separation layer. The discharge of the area of Quaternary aquifer was taken into account from above due to infiltration of atmospheric precipitation and overflow from the lower aquifers was assumed to be zero.

In the plane the external boundaries of the model were selected taking into account the distribution of aquifers in the area, their filtration heterogeneity and sustainability and also taking into account the possible influence of the existing Malchytsia water intake.

The inner boundaries of the model are the Vereschytsia and Stara rivers and their tributaries located within the selected model which take into account as the additional concentrated aquifer accretion.

In order to simplify the simulation of the given problem it was solved relatively to the function of drawdowns the levels and heads for each of the selected aquifers. At the same time there was no need to specify and construct groundwater levels maps in Quaternary sediments for phone and disturbed conditions, to set the arrays of roof and heath marks of aquifers, additional calculations of drawdowns at each time interval in the process of modeling of the predictive tasks and to preserve the large arrays of intermediate data also which complicated the simulation.

With regard to the amount of infiltration accretion it was given on the model as the difference between the mean value of rainfall in the model area and evaporation and was taken as 0,00042 m/day.

To increase the probability of solving the predictive problems a calibration of the model was performed which consisted in refining and determining of its main parameters. At the first stage the group pumpings from a network of exploring and operational wells 201 and 206 was modeled which allowed to increase out the precision of the hydrogeological parameters of transmissivity and conductivity. On the next stage the redistribution of the heads of groundwater of the Lower-Baden-Upper Cretaceous aquifer system in undisturbed conditions was restored on the model. As the basis of the solution of this inverse problem a map of water table isolines built in the process of analysis of data of the levels and heads in the area was used obtained with using the data of previous works (hydrogeological surveys and other search works).

When processing the mentioned above data the method of kriging was used in the accordance software package. With the help of this method a schematic map of groundwater levels in an undisturbed condition was constructed (Fig. 2).

The analysis of the obtained cartographic material showed that the map constructed in this way trustworthy to reflect the hydrodynamics of groundwaters in undisturbed conditions within the research area taking into account the existing river network.

Construction of the map of the water levels in undisturbed conditions allowed to construct a map of the coefficients of transmissivity in this area. The peculiarity of the solution of this inverse problem is that when determining the values of transmissivity in discrete points on the model as an additional information the data relative to the heads at the same points were used for the conditions of the undisturbed filtration regime.

Thus the multiparameter problem was solved in relation to the transmissivity parameter which allowed to significantly increase the degree of probability of the obtained transmissivity values using the possibilities of the kriging method (Fig. 3).

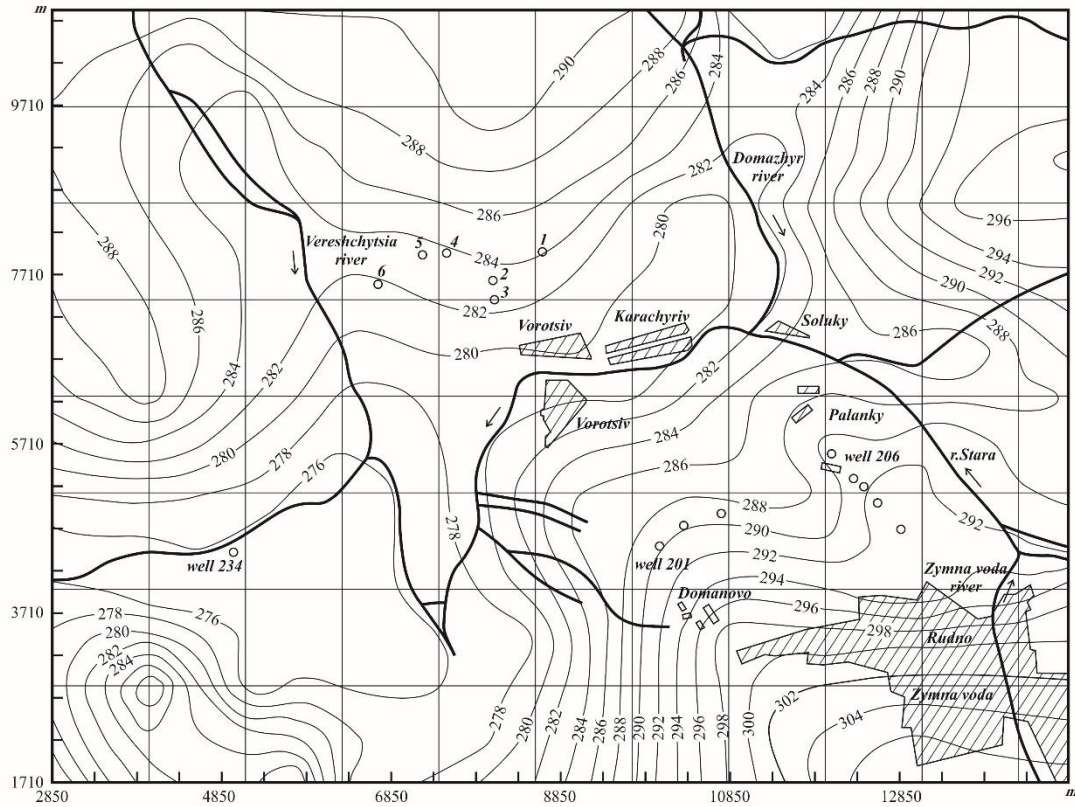


Fig. 2. Schematic map of water table isolines of the main aquifer for undisturbed groundwater filtration conditions at the Rudno (Lviv region) water intake area constructed by the method of kriging. Scale: 1:50000

To determine the values of the permeability of submerged sediments in the valleys of the Vereschytzia and Stara rivers and their tributaries as well as the permeability of the separation layer in the Quaternary deposits the inverse non-stationary filtration problem was solved. At the same time the nonstationary regime was reproduced at the expense of the Malchytzia water intake with a total water sampling rate of 21 thousand cubic meters/day. The maximum values of the drawdowns for the period of 25 years from the beginning of the water intake work were obtained on the basis of the simulation as 14,63 m and according to the regime observations - 14,2 m. As a result of the solution of the inverse nonstationary problem the values of the coefficients of permeability of the submerged and weakly permeable deposits were corrected and constituted accordingly 0,00004 and 0,00062 days⁻¹.

The calibration in this way the entire created geofiltration model of the Rudno site allowed identifying the main hydrogeological parameters and get over to the solutions of various variants of the forecast task for the estimation of the productivity of the designed water intake in the area.

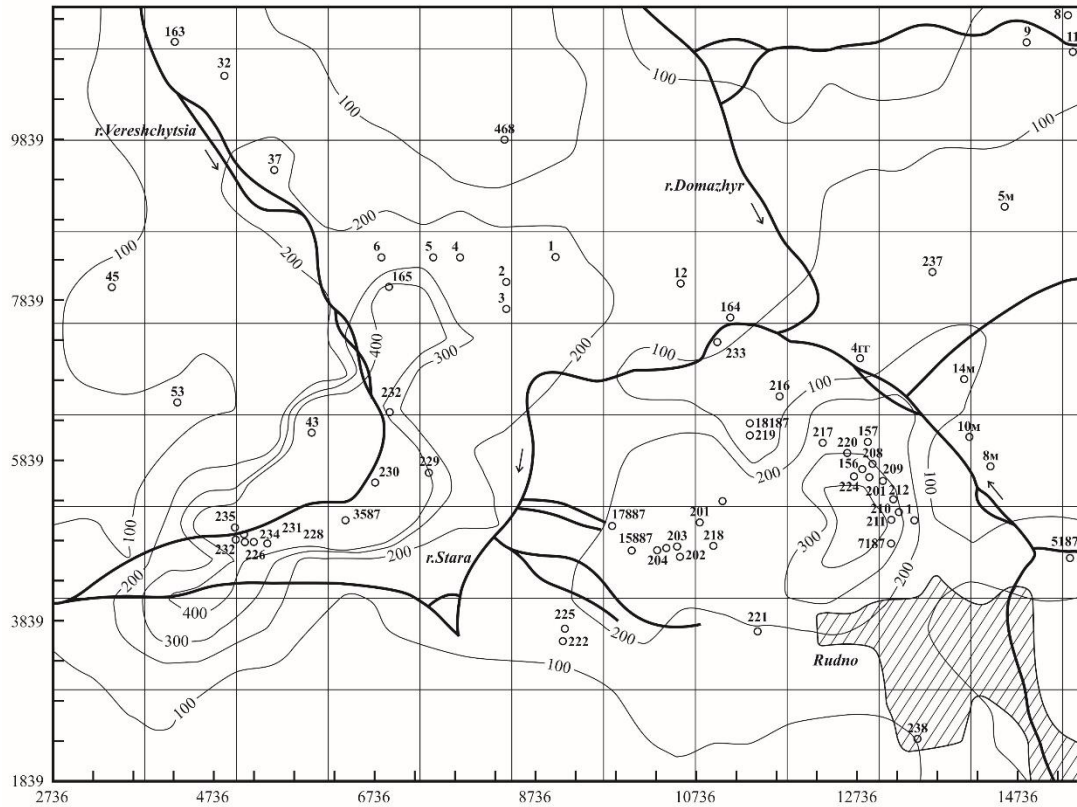


Fig. 3. A schematic map of the transmissivity of the main aquifer built with the help of the method of kriging according the data of research and surveys works on the site Rudno(Lviv region). Scale: 1:50000

The forecast of Rudnensky water intake productivity was performed on the specified by the solution of a series of inversed tasks filtration model for the period up to 2025 on conditions of taking into account the projected waterwithdrawal and the possible impact of the existing Malchytsia water intake. The seven wells with a summary water withdrawal of 9600 cubic meters/day were modeled in all. The predicted problem was solved in two stages. At first the non-stationary task for the period of 25 years with the reproduction of the work of the Malchytsia water intake was solved and then the withdrawal of the designed wells was included and the task

was solved further by the year 2025. At the same time the time step varied from 0.1 days to 5 days as the speed reduction of the heads drop on the model was reduced. To prevent additional modeling errors when setting the debits of the design wells the time step was again set to the minimum (0,1 day) and then increased in the process of solving the predictive task.

As a result of simulation the maximum drawdowns in the calculative period in the center of the depression cone of the designed water intake was 8,59 m, and in the center of the Malchytsia water intake – 15,04 m with a permissible drawdown of the heads on the area of the Rudno water intake of 15 m that is the designed withdrawal within the defined area is secured at the accepted value of the projected drawdowns of the groundwater heads.

In fig. 4, 5 the corresponding plane and spatial maps of heads drawdowns on the Rudno site are presented based on the results of the solution of the predictive task which are constructed using the method of kriging. As can be seen the drawings in the limits of the the depression cone cover the areas of the projected and active Malchytsia water intake with a general contour of head drawdown of 2,0 m and is distributed mainly in the center of the model area which confirms the available watersupply of the project water withdrawal due to feeding from the river network and overflowing through a low-permeable separate layer from above. The main source of the development of operational resources at this site is the natural resources the volume of which according to the modeling is 50400 cubic meters/day and the amount of water recharge at the expense of the river network and due to the overflow through a separate layer from above - 31600 cub.m/day that is the operational resources of groundwater on the site are fully provided with natural resources.

Reliability of the received data concerning the quantities of groundwater resources is ensured due to the accepted validated calculation scheme and modeling using the trustworthy values of the main hydrogeological parameters which specified at the solutions of the inverse identification tasks.

A permanently working mathematical model has been created for the

assessment of groundwater resources on the basis of a comprehensive analysis of the hydrogeological conditions at a specific location of the project water intake. The model allows to consider different options for the regimes of operation of water intake depending on the technical and economic conditions and the possible increase in watersupply needs taking into account environmental measures and the impact of water intakes on the environment.

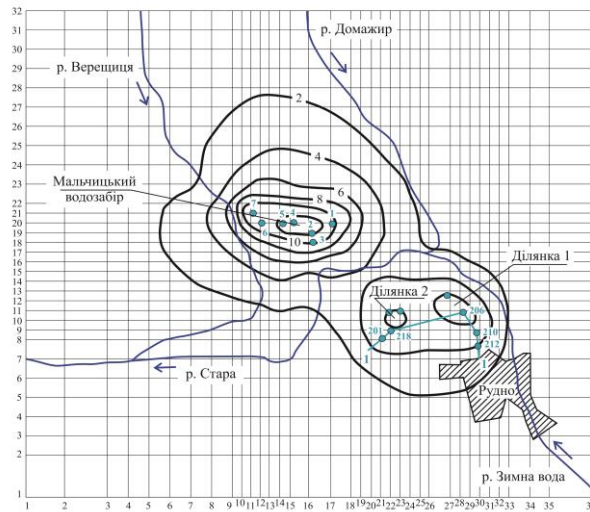


Fig.4. Schematic map of groundwater head drawdowns on the site Rudno based on the results of simulation of the forecast task and constructed with using the method of kriging. The upper part of the figure shows a depression cone for heads lowering on the Malchytisia water intake and in the bottom - a cone of drawdowns on the projected water intake near the town of Rudno (Lviv region)

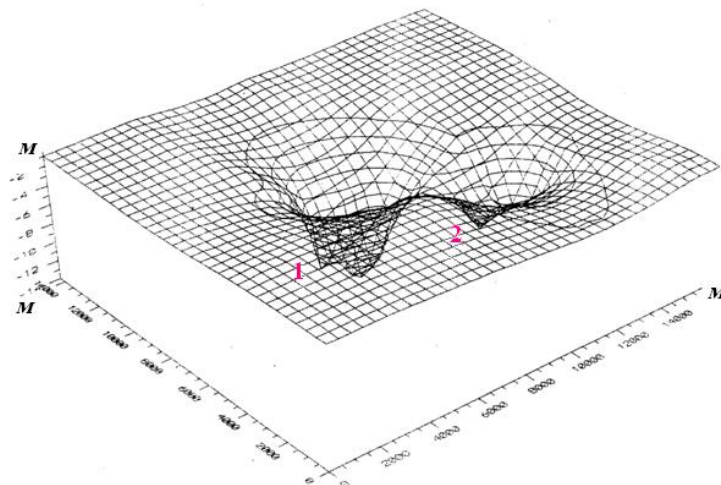


Fig.5. Schematic three-dimensional block-diagram of groundwater head drawdowns based on the results of simulation of the forecast task at the Rudno site (Lviv region) and constructed by the method of kriging. 1 – Malchytisia water intake; 2 – Rudno intake

As a result of the research the groundwater resources in the water intake area were provided which allows to increase the water availability of the population of this territory for a long-term period and reducing the load on the operation of existing water intakes thereby regulating in such way the groundwater resources of the Pricarpathian region.

Conclusions

The carried out studies on the assessment of groundwater resources of the designed and existing water intakes in the given region for the perspective have shown that the main resources of fresh groundwaters are found in fissured rocks of the Chalk and Neogene ages that are formed as a result of tectonic displays in the area in the process of orogenesis in the zone the joining of the Volyno-Podilskyi platform and the Carpathian geosyncline. On the basis of the analysis of the waterbearing sedimentary thickness it has been established that the dominant meaning in the selection of sites under the location of water intakes has hydrodynamic conditions on the places of discontinuous tectonic disturbances. In this case the three types of the groundwaters deposits are identified the water resources formation of which occurs due to the infiltration of precipitation and the flow of groundwaters from the Upper Cretaceous deposits. The limitation of water resources in selected areas of these deposits due to the existing geohydrodynamic conditions envisages the use of groundwaters for watersupply of the population in the region in an optimization regime to prevent the depletion and reduction of groundwaters resources of the main aquifers.

References

- Ljuta, N. G., & Ljutyi, G. G. (2016). Some features in changing of the ground waters quality during of the operation process Lviv region intakes *Materials of International geologic forum "Actual problems and perspectives of geology development: science and production"*. (pp. 2002-2008). Ukraine, Koblevo.

- Shestopalov, V. M., Blinov, P. V. & Ljutyi G. G. (2010). Hydrogeological division into districts of Ukraine territory Kyiv. *UkrDGRI*. 3-8.
- Telyma, S. V. (2013). Relative to exactness of the flow parameters determination on the test data. *Kyiv Problems of watersupply, sewerage and hydraulics*, iss. 21. 86-92.
- Telyma, S. V. (2014). About the factors affecting on the processes of water exchange in a saturated-unsaturated medium. *Kyiv Mistobuduvannja ta terytorialne planuvannja*, no. 51. 590-597.
- Telyma, S., & Voloshkina, E. (2018). About some features of forecasting masstransport processes in saturated-unsaturated media. *USEFUL online journal*, is published by Svp4U, MAIAMI, FL, 01-08. doi: <https://doi.org/10.32557/useful-2-4-2018-0001>.
- Zajats, X. (2013). *Glybyнна budova Zakhidnogo regionu Ukrainy na osnovi seismichnykh doslidjen i naprjamky poshukovykh robit na naftu i gas (The deep structure of the West region of Ukraine on the base of the seismic investigations and the ways of the sources works on the oil and gas)* Lviv: Centr Evropy.
- Zajats, X. (2016). *Pivdenno-Zakhidni meji vidkladiv mezozoju (South-west boundaries of the mesozoic deposits)*. Lviv, vydavnytstvo SPOLOM.
- Zatserkovnyi, V. I., Burachek, V. H., Zhelezniak, O. O., Tereshchenko, A. O. (2017). *Geoinformational systems and data bases* book 2, Nizhyn, NDU.

ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІ ОЧИСНИХ СПОРУД ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Проценко С.Б., Національний університет водного господарства та природокористування, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції і санітарної техніки, Україна

Кізєєв М.Д., Національний університет водного господарства та природокористування, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції і санітарної техніки, Україна

Новицька О.С., Національний університет водного господарства та природокористування, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції і санітарної техніки, Україна

Abstract

The analysis of the existing methods of initial data definition for calculation and design of wastewater treatment plants' reconstruction according to standards of Ukraine and other countries of the world is performed. The method based on statistical analysis of long-term observations of wastewater consumption and mass daily loads of pollution at treatment plants and determining the design pollution indicators of wastewater at the given degree of security is efficient to apply. It was proved on the example of the initial data's definition for design of wastewater treatment plant's reconstruction in one of the largest cities of Ukraine. The high efficiency of the described approach is proved by computer dynamic modeling of wastewater treatment plants calculated from the actual initial data of wastewater flow rates, temperature and other wastewater quality indicators.

Вступ

Однією з найбільш важливих та складних задач при проектуванні реконструкції очисних споруд водовідведення є обґрунтований вибір адекватних вихідних даних для їхнього розрахунку. Від цього безпосередньо залежать проектні рішення, що приймаються, капітальні й експлуатаційні видатки та подальша стала і надійна робота очисних споруд.

При реконструкції існуючих каналізаційних очисних споруд в розпорядженні проектувальника, як правило, є значний масив фактичних даних щодо витрат та якості вихідних стічних вод, проте обробка такої інформації є достатньо складною задачею. Чинні в Україні нормативні документи не містять чітких конкретних рекомендацій щодо методики визначення розрахункових вихідних даних на підставі результатів фактичних спостережень. Тому проектувальники, зазвичай, обчислюють розрахункові значення показників забруднення стічних вод на підставі популяційного еквіваленту та питомих кількостей забруднень на одного жителя за нормативною літературою. Проте подібний підхід може призводити до значних помилок при подальшому прийнятті проектних рішень.

Відтак, постає задача вибору та впровадження у вітчизняну практику проектування такої методики статистичної обробки наявних фактичних даних щодо кількості та забруднення вихідних стічних вод, яка б дозволяла отримати адекватні розрахункові дані.

Аналіз існуючих методів визначення вихідних даних

Згідно з чинними в Україні Державними будівельними нормами ДБН В.2.5-75:2013 (ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні..., 2013) «очисні споруди населених пунктів або окремих об'єктів проектують з урахуванням витрати стічних вод *за добу найбільшого водовідведення* і сумарної кількості забруднювальних речовин в усіх категоріях стічних вод, які надходять на очисні споруди». При цьому зазначено, що «при розширенні, реконструкції або

технічному переоснащенні існуючих очисних споруд слід користуватися **даними аналізів стічних вод**, що надходять на очищення (у літній та зимовий періоди)». За відсутності таких даних при виконанні попередніх розрахунків допускається визначати розрахункову кількість забруднювальних речовин на одного жителя в господарсько-побутових стічних водах населеного пункту згідно з табл. 16 ДБН В.2.5-75:2013 (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння значень питомої кількості забруднень на одного жителя за нормативними документами різних країн

Показники забруднення стічних вод	Питома кількість забруднень на одного жителя, г/добу		
	за ДБН В.2.5-75:2013 (Україна)	за СП 32.13330.2012 (Російська Федерація)	за ATV-DVWK-A 131E (Німеччина)
Завислі речовини	65	65	70
БПК ₅	60	60	60
БПК _{повн}	83	–	–
ХПК	87	–	120
Азот загальний	11	13	11
Азот амонійних солей	8	10,5	–
Фосфор загальний	1,8	2,5	1,8
Фосфор фосфатів	1,44	1,5	–

На жаль, у ДБН В.2.5-75:2013 не описаний механізм використання результатів вимірювання витрат та даних аналізів стічних вод, а саме: вимоги до обсягу і тривалості спостережень, методика статистичної обробки інформації та обґрунтування вибору вихідних даних.

Для порівняння, у Зводі правил Російської Федерації СП 32.13330.2018 (СП 32.13330.2018. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные..., 2018) містяться більш конкретні рекомендації щодо обробки даних фактичних спостережень. Зокрема, зазначається, що вихідні дані для проектування розвитку та реконструкції існуючих очисних споруд слід приймати на підставі отриманих належним чином результатів контролю витрати та властивостей стічних вод, що надходять, за період не менше 3 років, з урахуванням перспективного розвитку населених пунктів.

Як розрахункові вихідні дані слід використовувати:

– **масове навантаження** за забруднювальною речовиною (кг/добу, т/добу), яке визначають як добуток витрати стічних вод за добу на концентрацію даної забруднювальної речовини в цю добу;

– **витрату** стічних вод;

– **концентрації** забруднювальних речовин у стічних водах, які визначають як відношення релевантних навантажень до відповідних їм значень витрат.

Вибрані вихідні дані повинні забезпечувати розрахункові показники очисних споруд **із забезпеченістю не менше 85%** стосовно до середньодобової (24-годинної) пропорційної проби.

Також зазначено, що в технологічних розрахунках реконструкції існуючих споруд очищення міських стічних вод, що працюють за самопливною гідравлічною схемою, допускається приймати значення **добової витрати із забезпеченістю 97%**. Для цього за розрахункову добову витрату допускається приймати максимальне за три роки щодобових спостережень значення витрати стічних вод, що надходять, за виключенням з розгляду перших десяти максимальних за кожний рік спостережень значень (крім тих, що припадають на 30-31 грудня та 30-31 серпня).

Аналіз нормативної бази різних країн світу показує, що найбільш докладна методика визначення вихідних даних при розрахунку систем водовідведення та споруд очищення стічних вод викладена в німецькому стандарті ATV-DVWK-A 198E (2003). Так, зокрема, для розрахунку розмірів очисних споруд з активним мулом, що працюють у режимі видалення зі стічних вод азоту та фосфору у відповідності з ATV-DVWK-A 131E (2000), рекомендується вибирати двотижневі періоди (а у випадку одночасної стабілізації мулу – чотиритижневі) з найнижчою та найвищою температурами стічних вод упродовж щонайменше двох останніх років і визначати для них відповідні (**релевантні**) середньодобові навантаження за ХПК, БПК₅, завислими речовинами, азотом і фосфором.

За неможливості (або недоцільності) отримання описаних вище даних допускається виконувати розрахунок очисних споруд за добовими навантаженнями, що спостерігаються не менше ніж у 85% випадків (*значення 85-го перцентилу*), при цьому масив даних повинен включати результати щонайменше 40 спостережень, рівномірно розподілених на період до трьох років.

За існування помітної сезонної нерівномірності навантажень (коли максимальні чи мінімальні середньомісячні навантаження відрізняються від середнього значення за рік більше ніж на $\pm 20\%$) рекомендується визначати вихідні дані для окремих періодів року першим або другим способом.

Якщо даних спостережень недостатньо, або спостереження не можуть бути проведені, то допускається визначати вихідні дані на підставі *популяційного еквіваленту* (еквівалентної чисельності жителів) та питомих кількостей забруднень на одного жителя, які наведені в табл. 1.

На думку авторів статті, саме такий підхід, що ґрунтується на виконанні статистичного аналізу фактичних *масових добових навантажень за забрудненнями* на очисні споруди та на визначенні розрахункових (вихідних) показників забруднення стічних вод за потрібної (не менше 85%) забезпеченості сталої роботи споруд біологічного очищення, є найбільш точним і може бути застосований у вітчизняній практиці проектування споруд очищення стічних вод.

Приклад визначення вихідних даних

Розглянемо приклад визначення розрахункових вихідних даних для проекту реконструкції очисних споруд водовідведення продуктивністю 400 тис. м³/добу одного з великих міст України.

Наявний інформаційний масив, що характеризує об'єми та властивості вихідних стічних вод, включає такі дані спостережень за останні чотири роки і чотири місяці:

- середні за місяць добові витрати стічних вод, що надходили на очисні споруди;
- середньомісячні температури стічних вод на вході очисних споруд;
- середньомісячні та середньорічні показники якості вхідного потоку стічних вод, у тому числі за ХПК, БПК₅, завислими речовинами, азотом амонійним, фосфатами тощо.

Середньомісячна добова витрата стічних вод, що надходили на діючі очисні споруди, упродовж останніх чотирьох років змінювалась від 309,8 до 427,2 тис. м³/добу. Середнє за період спостережень значення середньомісячної добової витрати стоків становило 381,46 тис. м³/добу.

Аналіз розподілу витрат стічних вод упродовж року (рис. 1) показує чітку тенденцію до зменшення витрати стоків у літній період (червень – серпень) та до її збільшення на початку весняного (лютий – квітень) і наприкінці осіннього (листопад – грудень) періодів. Водночас з роками витрата стічних вод суттєво не змінювалась.

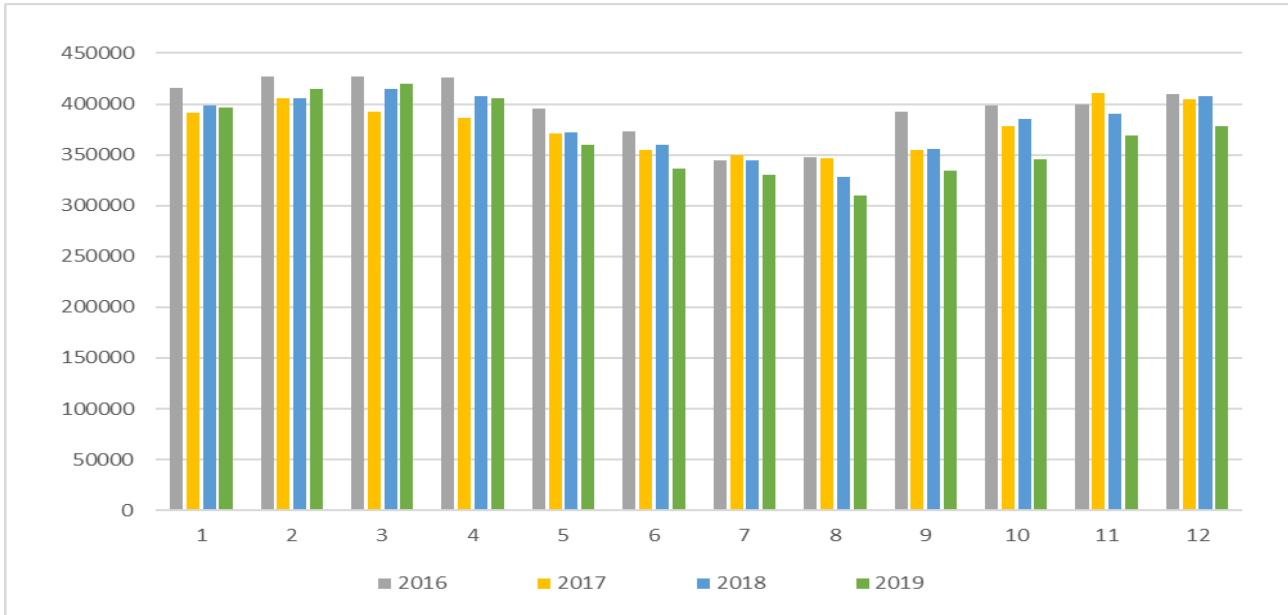


Рис. 1. Середньомісячні добові витрати стічних вод, м³/добу, що надходили на очисні споруди за 2016 – 2019 роки

Аналіз показників забруднення стічних вод не виявив помітної сезонної нерівномірності якості стоків. Також за період спостережень, попри певні

коливання концентрацій, не виявлено явної тенденції до зміни вмісту у стічних водах органічних забруднень (за показниками ХПК і БПК₅), завислих речовин та сполук азоту і фосфору.

Середньомісячні температури стічних вод змінювались у межах від 10,6°C до 27°C (рис. 2). Найхолоднішими стічні води, зазвичай, були в січні-лютому, найтеплішими – в липні-серпні.

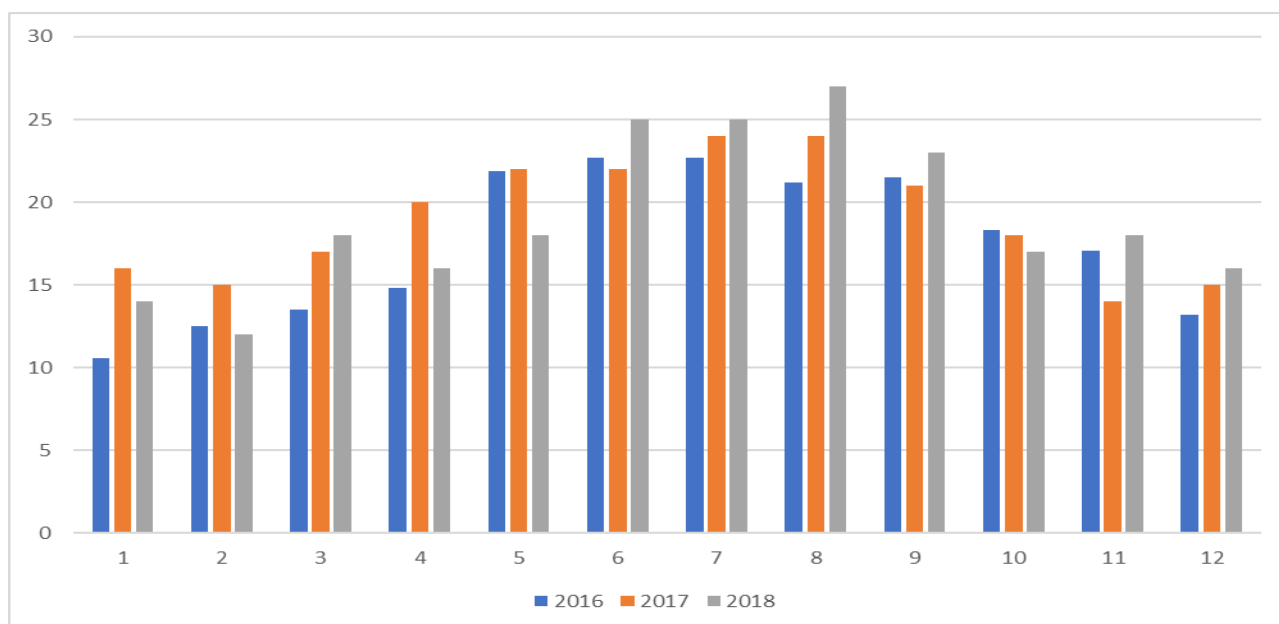


Рис. 2. Середньомісячні температури стічних вод, °С, на вході очисних споруд за 2016 – 2018 роки

Статистичний аналіз даних спостережень за якістю стічних вод, що надходили на очисні споруди, виконували в такий спосіб. Спочатку визначали середньомісячні масові добові навантаження за забрудненнями як добуток середньомісячної добової витрати стічних вод на відповідне середньомісячне значення показника забруднення (ХПК, БПК₅, концентрації забруднювальної речовини). Далі результати обчислень подавали у вигляді гістограм частоти варіацій, що дозволяло визначити розрахункові (релевантні) навантаження за забрудненнями на очисні споруди за потрібної (85%) забезпеченості. Після цього обчислювали розрахункові значення показників забруднення вихідних стічних вод як відношення релевантних навантажень до розрахункової добової

витрати стоків, яка, згідно з вимогами замовника проекту, була прийнята рівною 400 тис. м³/добу.

Як приклад, на рис. 3 наведена гістограма частоти варіацій та інтегральний графік забезпеченості середньомісячних добових навантажень органічних забруднень у стічних водах за показником ХПК.

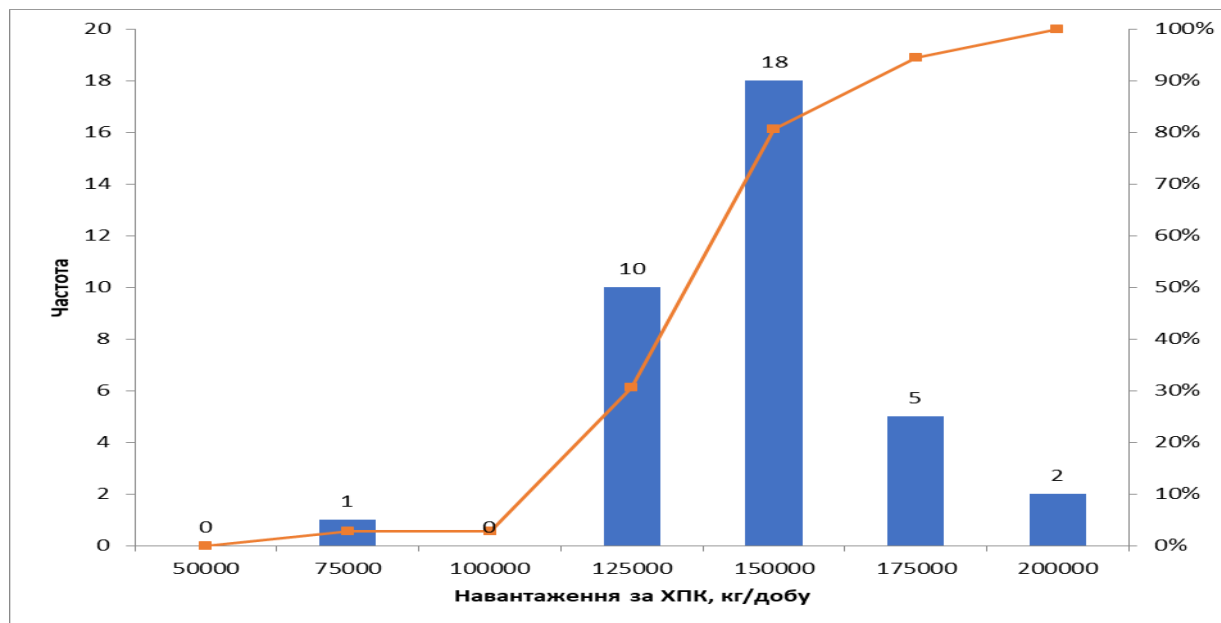


Рис. 3. Гістограма частоти варіацій та інтегральний графік забезпеченості середньомісячних добових навантажень органічних забруднень за ХПК

Зі статистичного аналізу даних виходить, що середньомісячні добові навантаження органічних речовин за ХПК знаходяться в діапазоні від 52 396 до 191 355 кг/добу. Найбільша частота варіацій 28 (або 53,8% від загальної кількості спостережень 52) припадає на діапазон навантажень від 130 000 до 150 000 кг/добу, при цьому середньостатистичне навантаження становить 133 536 кг/добу. При забезпеченості 85% розрахункове добове навантаження за ХПК дорівнює 154 844 кг/добу. За розрахункової добової витрати 400 тис. м³/добу йому відповідає ХПК стічних вод 387,1 мг/дм³.

Необхідно відмітити, що за описаного підходу вибір конкретного значення розрахункової добової витрати стічних вод не має суттєвого впливу на точність визначення розмірів очисних споруд з точки зору їх очисної спроможності. Адже від розрахункової витрати залежить тільки гідравлічна

пропускна здатність споруд, натомість їх очисна продуктивність визначається розрахунковими добовими навантаженнями за забрудненнями, а вони, згідно з описаним методом, приймаються із заданим ступенем забезпеченості сталої роботи споруд (в наведеному прикладі – не менше 85%).

Також слід сказати, що середньомісячне значення ХПК стічних вод 85% забезпеченості (408,6 мг/дм³) та отримане розрахункове значення ХПК (387,1 мг/дм³), що відповідає добовому навантаженню за ХПК 85% забезпеченості, не однакові, оскільки вони відносяться до різних добових витрат стічних вод.

Аналогічні розрахунки були виконані для решти наявних показників якісного складу стічних вод. Узагальнені результати розрахунків показані в табл. 2. Для порівняння в таблиці також наведені показники забруднення стічних вод, що були розраховані за популяційним еквівалентом в 1,034 млн жителів і розрахунковою витратою стоків 400 тис. м³/добу та за питомих кількостей забруднень на одного жителя згідно з нормативними документами різних країн (див. табл. 1).

Таблиця 2

Показники якісного складу стічних вод, що надходять на очисні споруди

Показники забруднення стічних вод, що надходять	Значення показників, мг/дм ³				
	ХПК	БПК ₅	завислі речовини	азот амонійний	фосфати
Середньомісячні значення:					
– мінімальні	134,4	112,2	146,6	14,4	12,7
– максимальні	496,1	247,3	379,2	43,8	33,3
– середні	351,3	157,0	210,3	26,2	22,2
– 85% забезпеченості	408,6	185,6	257,2	33,3	27,6
Розрахункові значення (із забезпеченістю навантаження за забрудненнями 85%)	387,1	178,1	245,5	31,2	26,5
Значення, що розраховані за популяційним еквівалентом:					
– за ДБН В.2.5-75:2013	224,9	155,1	168,0	28,4	11,4
– за СП 32.13330.2012	–	155,1	168,0	33,6	11,9
– за ATV-DVWK-A	310,2	155,1	181,0	28,4	–

Як слідує з табл. 2, отримані результати визначення показників забруднення вихідних стічних вод за різними нормативними документами суттєво відрізняються як один від одного, так і від отриманих авторами значень. Відтак постає задача перевірки адекватності описаного методу визначення вихідних даних для розрахунку очисних споруд.

Перевірка адекватності описаного методу

Для перевірки адекватності описаного методу визначення вихідних даних авторами було виконане динамічне моделювання роботи споруд біологічного очищення стічних вод від органічних забруднень та азоту і фосфору, розрахованих за отриманими у прикладі вихідними даними, при витратах, температурах і показниках якості стоків згідно з фактичними середньомісячними значеннями.

Розрахунок очисних споруд був виконаний за методикою, викладеною в німецькому стандарті ATV-DVWK-A 131E (2000). Вимоги щодо якісного складу очищених стічних вод були такими, мг/дм³: ХПК – 80; БПК₅ – 15; завислі речовини – 15; азот амонійний – 2; нітрити – 3; нітрати – 45; фосфати – 3,5. Для одночасного біологічного видалення зі стічних вод органічних забруднень та азоту і фосфору була вибрана схема процесу ЖНВ (Мешенгиссер, 2012; Henze, van Loosdrecht, Ekama & Brdjanovic, 2008; van Haandel & van der Lubbe, 2012; Nutrient Removal..., 2011). При визначенні розмірів очисних споруд була врахована можливість максимального використання існуючих об'ємів та потужностей споруд.

Технологічна схема споруд біологічного очищення стічних вод (рис. 4) включає вісім первинних радіальних відстійників 2 діаметром 40 м, вісім секцій чотирикоридорного біореактора 3 – 6 з розмірами коридорів 10 x 5 x 120 м та шістнадцять вторинних радіальних відстійників 7 діаметром 40 м. Для реалізації процесів біологічної дефосфатації та нітри-денітрифікації стічних вод у біореакторах виділені окремі анаеробні 4, перші 3 і другі 5 аноксидні та

аеробні 6 зони. Співвідношення об'ємів аноксидних та аеробних зон біореакторів прийняте рівним 0,2. Коефіцієнт рециркуляції зворотного активного мулу 10 з вторинних відстійників 7 на початок першої аноксидної зони 3 дорівнює 0,75, коефіцієнт внутрішньої рециркуляції мулової суміші 9 з кінця аеробної зони 6 на початок другої аноксидної зони 5 становить 0,7. Прояснені в первинних відстійниках 2 стічні води розподіляються між першою аноксидною 3 та анаеробною 4 зонами у пропорції 1 до 4.

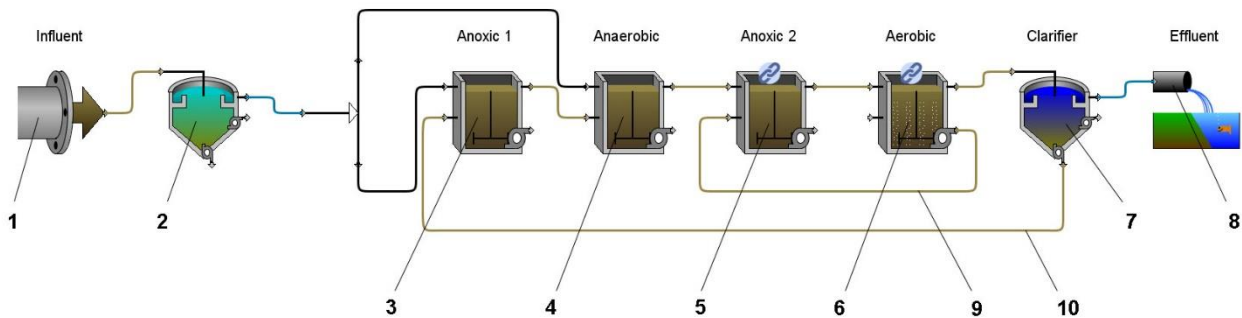


Рис. 4. Технологічна схема споруд біологічного очищення стічних вод:

- 1 – надходження стічних вод; 2 – первинні відстійники; 3 – перша аноксидна зона;
 4 – анаеробна зона; 5 – друга аноксидна зона; 6 – аеробна зона;
 7 – вторинні відстійники; 8 – випуск очищених стічних вод; 9 – внутрішня рециркуляція мулової суміші; 10 – рециркуляція зворотного активного мулу

Динамічне моделювання процесу очищення стічних вод було виконане на комп'ютерній моделі очисних споруд у програмі Hydromantis GPS-X (рис. 5) з використанням стандартних моделей процесу відстоювання *simple1d* та біохімічних процесів *mantis2*.

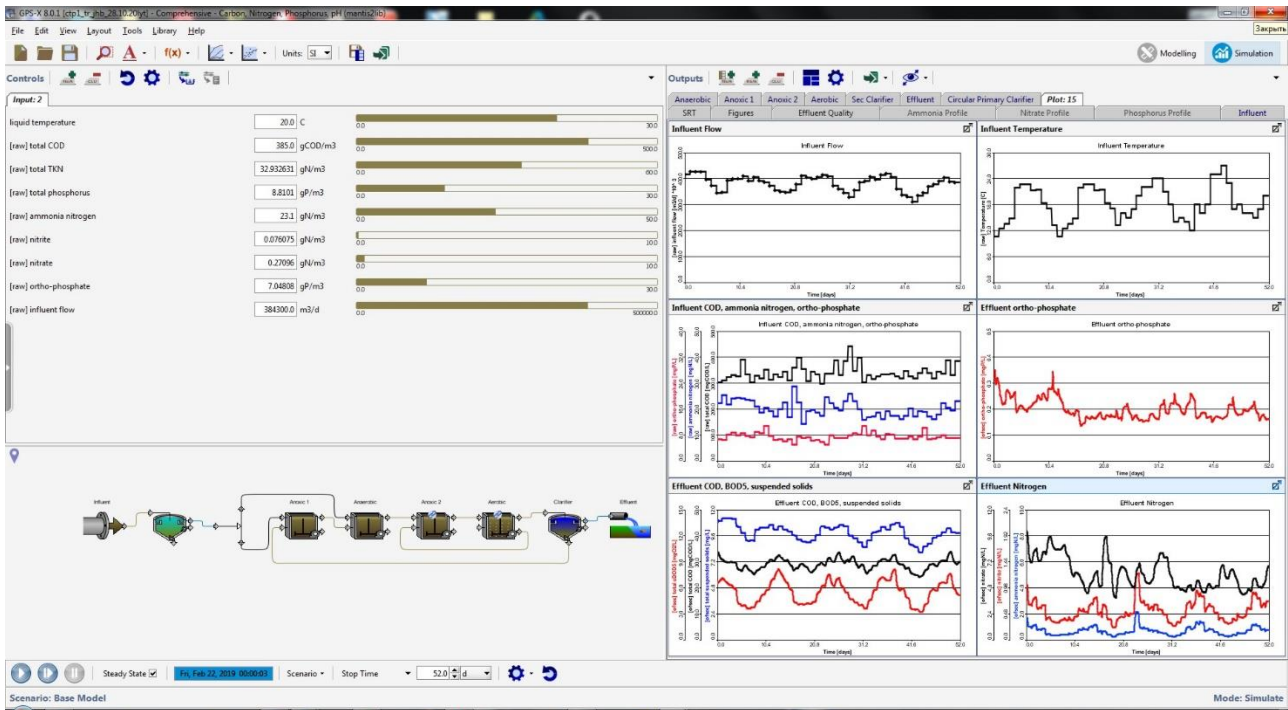
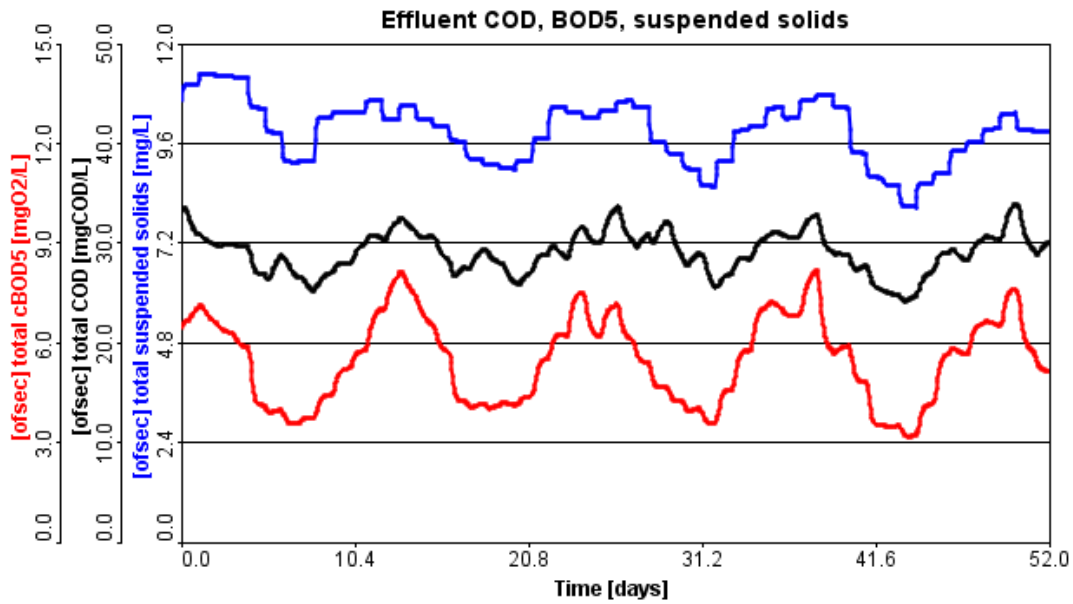


Рис. 5. Динамічне моделювання роботи споруд біологічного очищення стічних вод у комп'ютерній програмі Hydromantis GPS-X

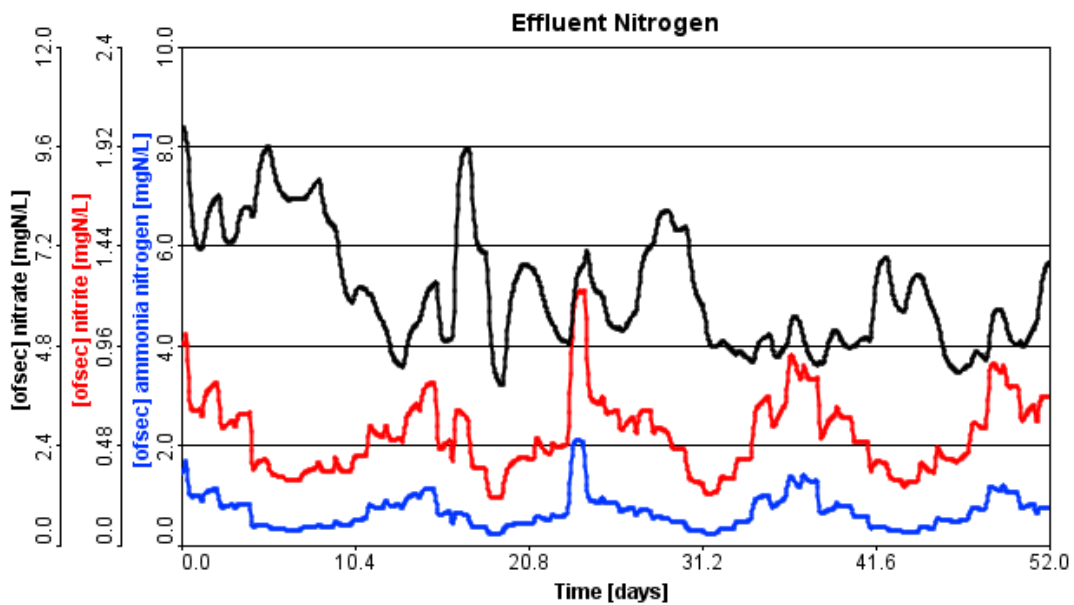
Для виконання динамічного моделювання технологічних процесів біологічного очищення стічних вод за фактичних показників витрати, температури та якості стоків згідно з даними спостережень у моделі були передбачені відповідні вхідні параметри управління, а саме: витрата, температура, ХПК, концентрації азоту загального за К'ельдалем, амонійного, нітритів і нітратів та фосфору загального і фосфатів у вихідних стічних водах. Був створений відповідний сценарій з використанням файлу з даними щодо фактичних значень показників вихідних стічних вод. При динамічному моделюванні роботи очисних споруд один умовний день відповідав одній сукупності середньомісячних показників витрати, температури та забруднення стічних вод.

Результати динамічного моделювання (рис. 6) засвідчують, що за весь розглянутий період показники якості очищених стічних вод не перевищували допустимих при скиданні у водойму значень, крім одного випадку незначного

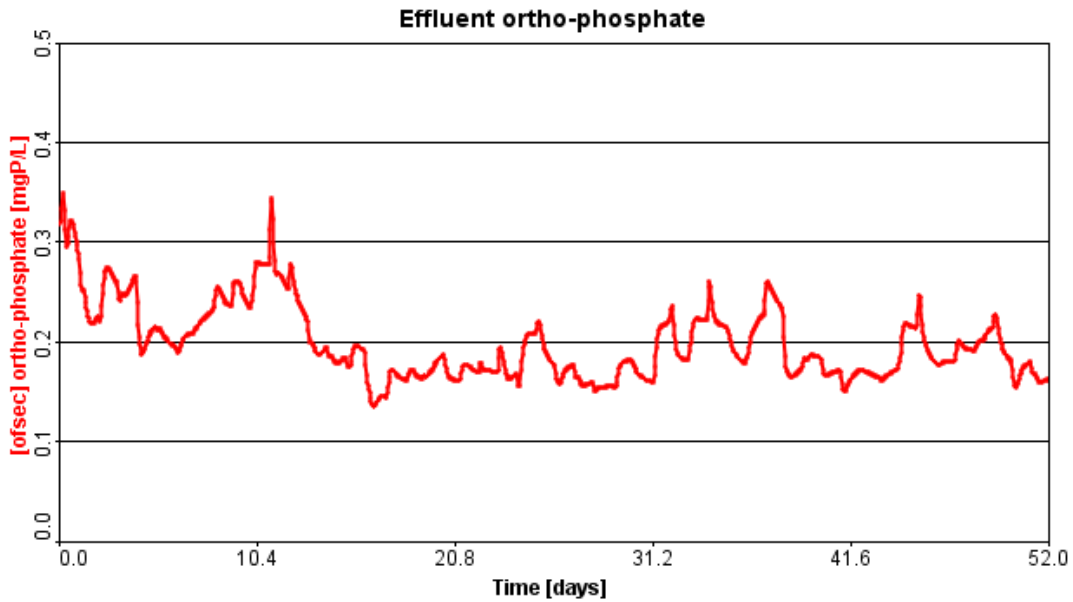
перевищення допустимих концентрацій за азотом амонійним (2,12 мг/дм³) та нітритним (1,23 мг/дм³).



a)



b)



в)

Рис. 6. Показники якості очищених стічних вод за результатами динамічного моделювання у комп'ютерній програмі Hydromantis GPS-X:

- а) ХПК, БПК₅ та завислі речовини; б) азот амонійний, нітритів та нітратів;
в) фосфор фосфатів*

Середні (мінімальні...максимальні) значення показників забруднення стічних вод на виході з очисних споруд за результатами моделювання становили, мг/дм³: ХПК – 29,1 (24,2...34,0); БПК₅ – 5,5 (3,2...8,2); завислі речовини – 9,9 (8,1...11,3); азот амонійний – 0,67 (0,23...2,12); азот нітритів – 0,53 (0,23...1,23); азот нітратів – 6,1 (3,9...10,0); фосфор фосфатів – 0,20 (0,14...0,35).

Отже, на підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що метод визначення вихідних даних для розрахунку і проектування очисних споруд водовідведення, що ґрунтується на статистичному аналізі фактичних масових добових навантажень за забрудненнями і на визначенні розрахункових показників якості стічних вод заданої забезпеченості, дозволяє достатньо адекватно встановити необхідні вихідні дані і забезпечити високу сталість

роботи очисних споруд за умов їх належного проектування, будівництва та подальшої експлуатації.

Висновки

1. Чинні в Україні нормативні документи не містять докладних рекомендацій щодо вибору вихідних даних при розрахунку і проектуванні очисних споруд водовідведення.

2. Найбільш обґрунтована зарубіжна методика вибору вихідних даних основана на статистичному аналізі результатів спостережень щодо фактичних витрат стічних вод та масових добових навантажень за забрудненнями на очисні споруди і на визначенні розрахункових показників забруднення стічних вод за заданої забезпеченості сталої роботи очисних споруд.

3. На прикладі визначення вихідних даних для проекту реконструкції очисних споруд водовідведення одного з великих міст України показана можливість застосування описаного підходу у вітчизняній практиці проектування.

4. Шляхом комп'ютерного динамічного моделювання роботи споруд біологічного очищення стічних вод, що були розраховані за отриманими описаним способом вихідними даними, при витратах, температурах і показниках якості стоків згідно з фактичними середньомісячними значеннями доведено, що розглянутий спосіб дозволяє достатньо адекватно визначити необхідні вихідні дані і забезпечити високу сталість роботи очисних споруд за умов їх належного проектування, будівництва та подальшої експлуатації.

Список літератури

ДБН В.2.5-75:2013. (2013). *Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування* (зі Зміною № 1 від 25.09.2018). (Уведено вперше; чинний від 2014-01-01). Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України.

Мешенгиссер, Ю. М. (2012). *Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод*. Москва : ООО «Издательский Дом «Вокруг цвета».

СП 32.13330.2018. СНиП 2.04.03-85 (2018). *Канализация. Наружные сети и сооружения* (с Измен. № 1 от 26.06.2019). (Дата введ. в действ. 2019-06-26).

Изд. офиц. Москва : Минстрой России.

Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological Wastewater Treatment : Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing.

Nutrient Removal : WEF Manual of Practice . (2011). No. 34. WEF Press.

Standard ATV-DVWK-A 131E. (2000). *Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants*. ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste.

Standard ATV-DVWK-A 198E. (2003). *Standardisation and Derivation of Dimensioning Values for Wastewater Facilities*. ATV-DVWK German Association for Water, Wastewater and Waste.

van Haandel, A. C., & van der Lubbe, J. G. M. (2012). *Handbook of Biological Wastewater Treatment : Design and Optimisation of Activated Sludge Systems*. Second Edition. IWA Publishing.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД А-ОКСИПРОПІОНОВОЇ КИСЛОТИ

Сабадаш В.В., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., доц., професор кафедри екології та збалансованого природокористування

Гумницький Я.М., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., проф., професор кафедри екології та збалансованого природокористування

Гивлюд А.М., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., асистент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності

Люта О.В., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., доц., доцент кафедри екології та збалансованого природокористування

Abstract

Processing of organic acids is one of the main problems at dairy plants. The ever-increasing amount of whey production, its nutritional and biological value necessitate the search for the latest, cost-effective and energy-saving ways to process it. α -oxypropionic acid remains after several technological processes of milk processing. On average, whey contains up to 48-52% milk solids, and its energy value is 36% of the nutritional value of milk, and its discharge is dangerous to the environment. To demonstrate the extent of damage that can be caused by the discharge of serum into the reservoir, the following comparison can be made: 1 m³ of serum contaminates the reservoir as it can be contaminated by 100 m³ of domestic wastewater. Currently, many methods of whey utilization have been developed: heat treatment, separation, canning, biological and membrane treatment methods, etc. It can be used: in the production of various dairy products, bread, pasta, confectionery,

sausages; to increase the nutritional value of products from secondary α -oxypropion raw materials; in the production of medicines, technical materials and feed.

Вступ

Утилізація органічних кислот є однією з головних проблем на молокопереробних підприємствах. Постійно зростаюча кількість виробництва сироватки, її харчова та біологічна цінність обумовлюють необхідність пошуку новітніх, економічно доцільних і енергозберігаючих способів її переробки.

α -оксіпропіонова кислота залишається після кількох технологічних процесів переробки молока. У середньому сироватка містить до 48-52% сухих речовин молока, а її енергетична цінність становить 36% цінності молока, а її скидання є небезпечним для навколишнього середовища. Для демонстрації розмірів збитку, що може нанести скидання сироватки у водоймище, можна привести таке порівняння: 1 м³ сироватки забруднює водоймище так, як його може забруднити 100 м³ господарсько-побутових стічних вод (Han et al., 2009; Chang, Im, Chung & Cho, 2018).

На сьогодні розроблено багато способів утилізації сироватки органічних кислот: теплова обробка, сепарування, консервування, біологічні та мембранні методи обробки тощо. Вона може використовуватися: у виробництвах різних молочних продуктів, хліба, макаронів, кондитерських виробів, ковбас; для підвищення харчової цінності продуктів з вторинної сировини; у виробництві медичних препаратів, технічних матеріалів та кормових засобів (Ogunwole, 2016; Nyvlyud, Sabadash, Gumnitsky & Ripak, 2019).

Мета роботи полягає у дослідженні структури природного цеоліту Сокирницького родовища та можливості його використання у якості адсорбенту для очищення стічних вод молокопереробних підприємств.

Дослідження адсорбційної ємності α -оксіпропіонової кислоти в статичних умовах

Експериментальне дослідження адсорбції α -оксіпропіонової кислоти проводили в статичних умовах на активованому вугіллі та цеоліті. Концентрацію молочної кислоти визначали перманганатометричним методом, рН – за допомогою іоніміра ИМ-160.

Експериментальні дані адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на активованому вугіллі та цеоліті Сокирницького родовища представлено на рис. 1.

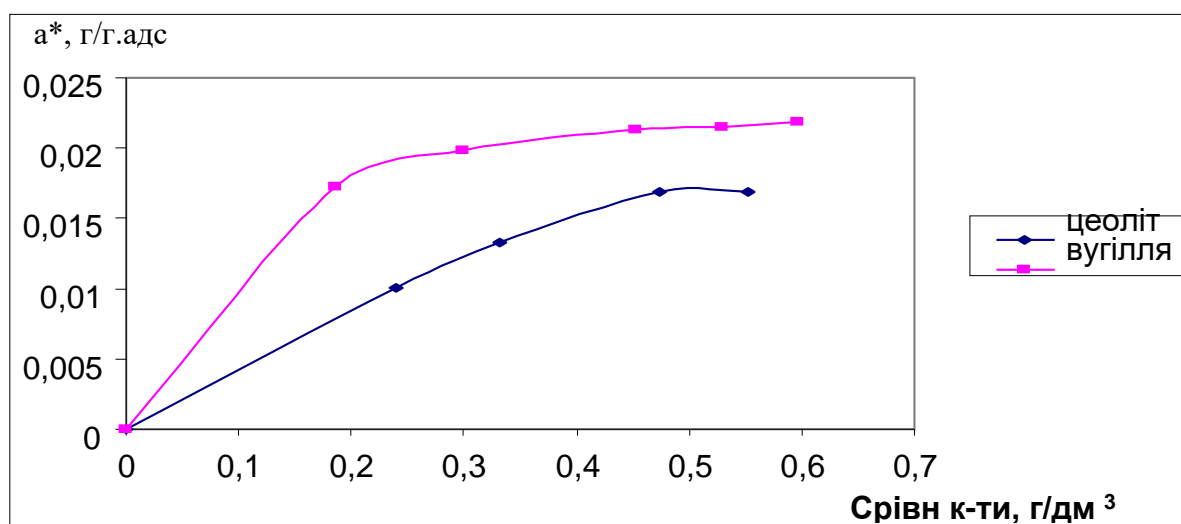


Рис 1. Ізотерми адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на клиноптилоліті Сокирницького родовища та активованому вугіллі

В результаті досліджень було встановлено, що активоване вугілля краще адсорбує α -оксіпропіонову кислоту ніж цеоліт. Це пояснюється тим, що молекули α -оксіпропіонової кислоти мають вуглецевий радикал, який проявляє спорідненість до неполярних сорбентів, тобто до активованого вугілля (Ou, Fang, Chou, Chang & Shiao, 2020). На мінеральних сорбентах, зокрема на клиноптилоліті Сокирницького родовища, відбувається адсорбція за участю гідрофільних груп - -ОН та -COOH. Це підтверджується збільшенням рН досліджуваних розчинів. Оскільки масова частка гідрофобного радикалу є суттєво вищою за функціональні групи, то сорбція краще проходить на

активованому вугілля. Кількість сорбованої α -оксіпропіонової кислоти на активованому вугіллі у 1,29 раз більша за кількість, що була поглинута цеолітом. Враховуючи те, що питома поверхня клиноптилоліту у 1,18 раз менша, ніж у активованого вугілля (для цеоліту – 766 м²/г, для активованого вугілля – 904 м²/г).

Розрахунок ізотерми адсорбції

За вихідними даними – концентрацією розбавлення та вихідною концентрацією іонів α -оксіпропіонової кислоти.

1. Розраховуємо концентрацію проби ($C_{\text{проби}}$), мг/дм³:

$$C_{\text{проби}} = 10^{-\text{pH}} \quad (1)$$

2. Розраховуємо вміст іонів α -оксіпропіонової кислоти в розчині C , мг/дм³:

$$C = (C_{\text{вих}} / C_{\text{розб}}) \cdot C_{\text{проби}} \quad (2)$$

Розраховуємо рівноважні концентрації іонів α -оксіпропіонової кислоти в розчині a^* , г/г.адс. розраховуємо за формулою:

$$a^* = (C_{\text{вих}} - C) \cdot 0,2 \quad (3)$$

4. Розрахуємо масу адсорбованої α -оксіпропіонової кислоти m , мг.екв.:

$$m = (C_{\text{вих}} - C) \cdot 0,2 / M \quad (4)$$

де M – маса природного цеоліту, $M = 142$.

За результатами обчислень будуюмо ізотерми адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на цеоліті Сокирницького родовища та на активованому вугіллі.

Розрахунок параметрів рівняння мономолекулярної адсорбції Фрейндліха

Адсорбційна рівновага в системі твердий адсорбент – розчин можна охарактеризувати за допомогою емпіричного рівняння Фрейндліха

$$a = \frac{x}{m} = kc^{1/n}, \quad (5)$$

де a – величина адсорбції (моль/г);

x - кількість адсорбованої речовини (моль);

m – маса адсорбента (г);

c – рівноважна концентрація речовини в розчині (моль/л);

k і n – сталі величини.

З метою знаходження констант рівняння Фрейндліха (k і n), його приводять до вигляду прямої логарифмуванням:

$$\lg a = \lg k + \frac{1}{n} \lg c. \quad (6)$$

Графік, побудований у координатах $\lg a = f(\lg c)$, є прямою лінією, яка відтинає на ординаті відрізок $\lg k$, а тангенс кута нахилу прямої дає величині $\frac{1}{n}$

(Рис. 2).

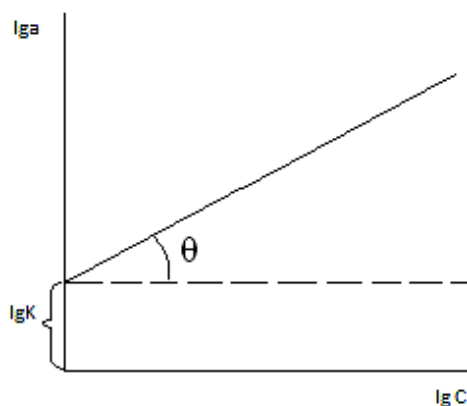


Рис. 2. Ізотерма адсорбції Фрейндліха в лінійних координатах

Представимо експериментальні дані, зображені на рис. у лінійних координатах за Фрейндліхом $\lg a = f(\lg c)$. Лінеаризована ізотерма зображена на рис. 3.

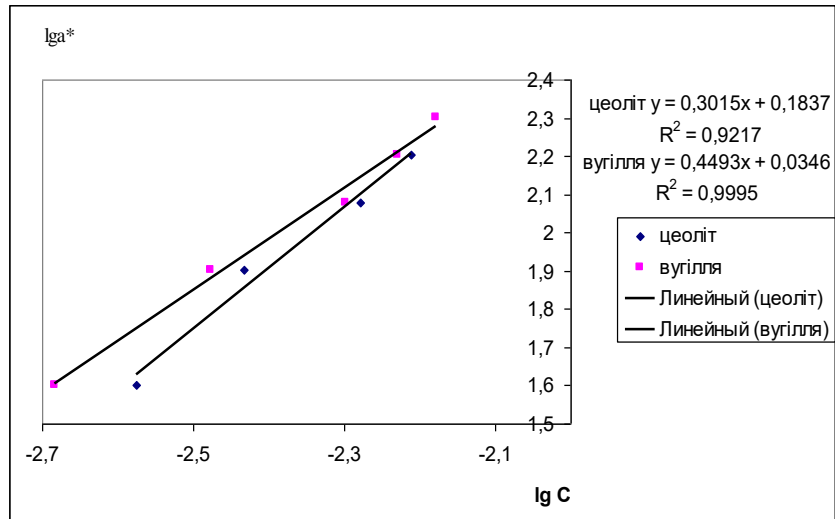


Рис. 3. Ізотерма адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на цеоліті та активованому вугіллі за Фрейндліхом в лінійних координатах

Як видно з рис. 3. експериментальні дані добре описуються рівнянням Фрейндліха. Коефіцієнт кореляції експериментальних та теоретичних даних становить 0,92 ...0,9995, що вказує на достовірність експериментальних даних (Shydakova-Kameniuka et al., 2018).

З графіку визначаємо коефіцієнти рівняння Фрейндліха:

Для цеоліту:

$$\lg K = 0,1837$$

$$1/n = 0,3015$$

Рівняння Фрейндліха для процесу адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на цеоліті:

$$\lg a = 0,1837 + 0,3015 \lg C \quad (7)$$

Для активованого вугілля:

$$\lg K = 0,0346$$

$$1/n = 0,4493$$

Рівняння Фрейндліха для процесу адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на активованому вугіллі:

$$\lg a = 0,0346 + 0,4493 \lg C \quad (8)$$

Розрахунок параметрів рівняння мономолекулярної адсорбції Ленгмюра

Процес адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на природних цеолітах достатньо добре підпорядковується мономолекулярній теорії Ленгмюра і описується рівнянням ізотерми мономолекулярної адсорбції:

$$a^* = a_{\infty} \frac{KC}{1 + KC} \quad (9)$$

де a_{∞} – графічна адсорбція (величина адсорбції при повному насиченні моношару);

K – константа адсорбційної рівноваги.

Для розрахунку граничної адсорбції α -оксіпропіонової кислоти (a_{∞}), використовуємо лінеаризоване рівняння Ленгмюра (Sabadash, V. V. et al., 2016):

$$\frac{C}{a^*} = \frac{1}{a_{\infty}K} + \frac{1}{a_{\infty}C} \quad (10)$$

$$a^* = \frac{C_{\text{поч}} - C_p}{m} V \quad (11)$$

Графік будують у координатах C/a^* від C (2), і знаходять кутовий коефіцієнт нахилу прямої $K = \Delta C / \Delta(C/a^*)$, який дорівнює величині граничної адсорбції a_{∞}

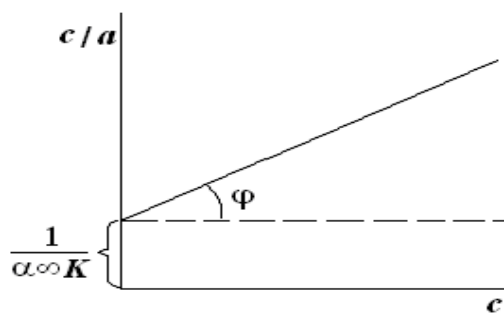


Рис. 4. Ізотерма адсорбції Ленгмюра в лінійних координатах.

Відрізок, який пряма відтинає на осі ординат, дорівнює $\frac{1}{a_{\infty}K}$, $\text{tg}\varphi = \frac{1}{a_{\infty}}$.

За значенням a_{∞} розраховуємо параметри молекул α -оксіпропіонової кислоти. Площу, яку займає одна молекула (S_0), довжину молекули (l) та питому поверхню адсорбента S_m , згідно з рівняннями:

$$S_m = a_{\infty} N_A S_0, \quad (12)$$

де, S_m – питома поверхня адсорбента ($\text{м}^2/\text{г}$);

a_{∞} – гранична адсорбція (моль/г);

N_A – число Авогадро ($6.02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$);

S_0 – площа поперечного перетину молекули адсорбтиву (м^2).

$$S_0 = \frac{1}{a_{\infty} \cdot N_A}, \quad l = a_{\infty} \frac{M}{\rho} \quad (13)$$

де ρ та M – густина і молярна маса α -оксіпропіонової кислоти;

N_A – стала Авогадро.

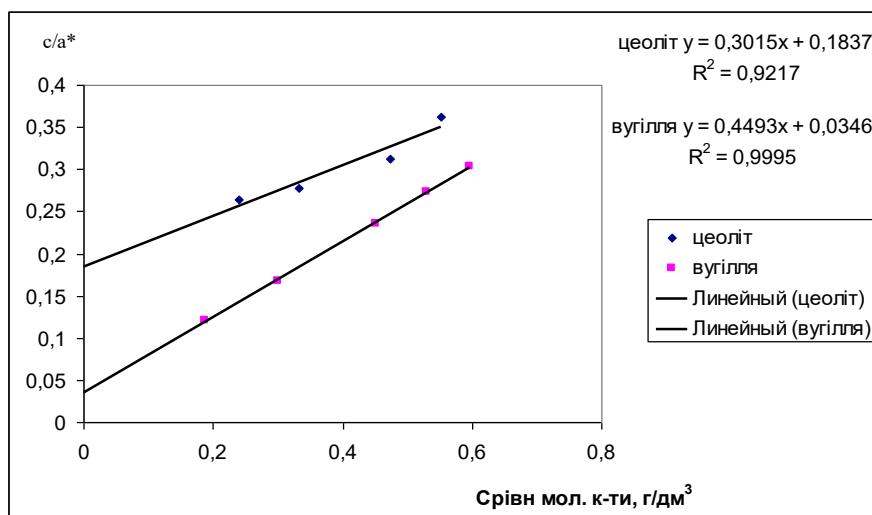


Рис. 5. Графічне визначення коефіцієнтів рівняння Ленгмюра

З графіка випливає, що ізотерма адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на цеоліті та активованому вугіллі описується рівнянням Ленгмюра.

Розрахунок параметрів рівняння Ленгмюра здійснювали також за допомогою прикладних програм Langmur 1.0 (Hyvliud, Sabadash, & Humnytskyi, 2015; Ou et al., 2020).

Чисельна обробка даних для активованого вугілля та цеоліту

Чисельна обробка даних для активованого вугілля

Чисельну обробку даних адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на активованому вугіллі проводимо з використанням прикладної програми Langmur 1.0

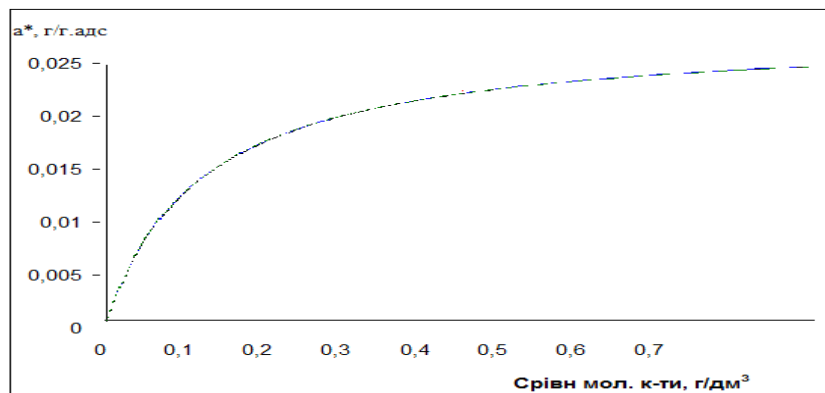


Рис. 6. Порівняння експериментальних та розрахункових даних для процесу адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на активованому вугіллі

Чисельна обробка даних для цеоліту

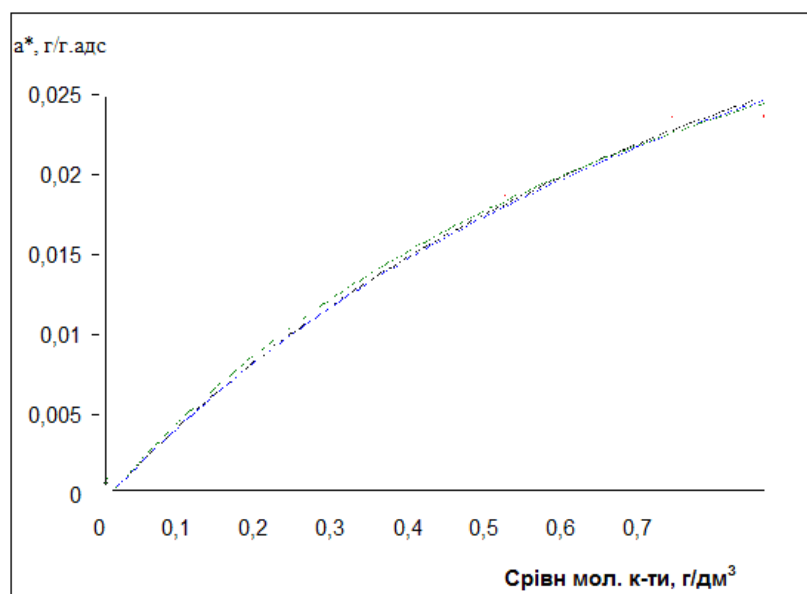


Рис. 7. Порівняння експериментальних та розрахункових даних для процесу адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на клиноптилоліті Сокирницького родовища

Для порівняння теоретичних та експериментальних даних використовуються наступні критерії:

- середньоквадратичне відхилення $\frac{1}{E_2 - E_1} \int_{E_1}^{E_2} (\mu_i(E) - \mu_{\text{exp}}(E))^2 dE$;

- критерій Чебишева $\max_{E_1 < E < E_2} |\mu_i(E) - \mu_{\text{exp}}(E)|$;

- сума квадратів похибок $\delta_{\text{заг}}^2 = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_6^2$;

- та дисперсія: $\sigma^2 = D(X) = E[(X - \mu)^2] = \sum_x (x - \mu)^2 p(x)$.

За результатами проведених досліджень можна стверджувати про відповідність експериментальних ізотерм ізотермі Ленгмюра (Gluszczyk, Jamroz, Sencio & Ledakowicz, 2004; Mahmoodi & Saffar-Dastgerdi, 2019).

Таблиця 1

Результати чисельного розрахунку параметрів ізотерми Ленгмюра для експериментальних даних адсорбції фторид іону на клиноптилоліті Сокирницького родовища

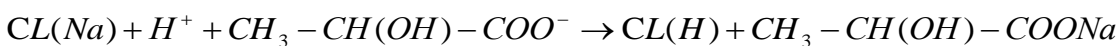
Назва речовини	Константи рівняння Ленгмюра	Метод найменших квадратів	Підбір за критерієм Чебишева	Підбір за квадратами відхилення
Цеоліт	К	13,81	13,81	17,15
	Г	0,04	0,04	0,04
	Критерій Чебишева	$9 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
	Сума квадратів похибок	0,00	0,00	0,00
Активоване вугілля	К	12,07	12,23	12,39
	Г	0,03	0,03	0,02
	Критерій Чебишева	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
	Сума квадратів похибок	0,00	0,00	0,00

Примітка: Г=a*

Експериментальні дослідження зміни рН модельної стічної води після адсорбції в статичних умовах

При адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на цеоліті та активованому вугіллі спостерігалось зниження кислотності розчинів. Це свідчить про те, що в процесі адсорбції α -оксіпропіонової кислоти поглинається не лише вуглецевий радикал, але й протон водню, який утворюється при дисоціації кислоти.

Якщо розглядати процес адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на цеоліті, справедливим може бути твердження, що протон може сорбуватися за механізмом іонного обміну, в результаті якого в розчин надходять обмінні катіони. В такому процесі задіяні активні Бренстедовські центри.



При адсорбції α -оксіпропіонової кислоти на активованому вугіллі відбувається зниження рН за рахунок утворення адсорбційного комплексу з центрами

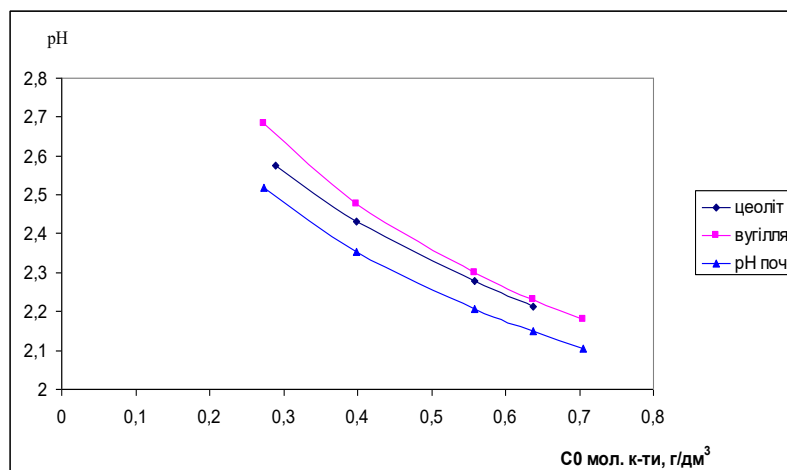
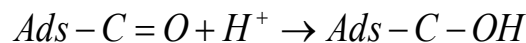


Рис. 8. Експериментальні дослідження зміни рН модельної стічної води після адсорбції на клиноптилоліті Сокирницького родовища та активованому вугіллі в статичних умовах

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, представлених на рис. 8 можна зробити висновок про те, що адсорбційна здатність сорбентів щодо α -оксіпропіонової кислоти корелюється зі зниженням кислотності

модельних стічних вод. Таким чином, поглинання α -оксіпропіонової кислоти цеолітом та активованим вугіллям проходить, очевидно, за механізмом фізичної адсорбції та іонного обміну. Здатність цеоліту до поглинання органічних радикалів карбонових кислот була підтверджена результатами ІЧ-спектроскопічних досліджень. На ІЧ-спектрах присутні смуги деформаційних та валентних коливань груп кристалічної ґратки цеоліту Si-O, Si-O-SiOH: 452, 990–1210, 1638, 3368 cm^{-1} . Виявлено коливальні спектри вільних груп OH в області 2600 cm^{-1} . Також на ІЧ-спектрі цеоліту після адсорбції карбонової кислоти виявлено додаткові поглинання в області 1700 – 1720 cm^{-1} , що характерні для карбонільної групи $\text{C}=\text{O}$ та валентними коливаннями ефірної групи C-O-C в області 1219 cm^{-1} . Отже, в кристалічній структурі цеоліту присутні радикали α -оксіпропіонової кислоти. Для досліджень використовували цеоліт типу клиноптилоліт Сокирницького родовища та модельні розчини α -оксіпропіонової кислоти. Після адсорбції сорбент висушували за температури 100-240°C. Для екстрагування ПЛА застосовували 1,2-дихлоретан і хлороформ. Подальшими завданнями для дослідження буде пошук способів комплексного очищення лактид-сирцю та розроблення технології регенерації і утилізація відходів виробництва полілактиду

Висновки

В результаті всіх досліджень було встановлено, що активоване вугілля краще адсорбує α -оксіпропіонову кислоту ніж цеоліт. Це пояснюється тим, що молекули α -оксіпропіонової кислоти мають вуглецевий радикал, який проявляє спорідненість до неполярних сорбентів, тобто до активованого вугілля. На мінеральних сорбентах, зокрема на клиноптилоліті Сокирницького родовища, відбувається адсорбція за участю гідрофільних груп - OH та COOH . Це підтверджується збільшенням рН досліджуваних розчинів. Оскільки масова частка гідрофобного радикалу є суттєво вищою за функціональні групи, то

сорбція краще проходить на активованому вугіллі. Кількість сорбованої α -оксіпропіонової кислоти на активованому вугіллі у 1,29 раз більша за кількість, що була поглинута цеолітом. Враховуючи те, що питома поверхня клиноптилоліту у 1,18 раз менша, ніж у активованого вугілля (для цеоліту – 766 м²/г, для активованого вугілля – 904 м²/г), можна вважати, що адсорбційна активність цих сорбентів щодо α -оксіпропіонової кислоти однакова. Отже, в процесі очищення промислових стічних вод молокопереробних підприємств можна застосовувати з рівнозначним успіхом цеоліти та активоване вугілля.

Список літератури

- Chang, I., Im, J., Chung, M. K., & Cho, G. C. Bovine casein as a new soil strengthening binder from diary wastes. (2018). *Construction and Building Materials*, 160, 1-9.
- Gluszczyk, P., Jamroz, T., Sencio, B., & Ledakowicz, S. (2004). Equilibrium and dynamic investigations of organic acids adsorption onto ion-exchange resins. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 26(3), 185-190.
- Han, R., Zhang, J., Han, P., Wang, Y., Zhao, Z., & Tang, M. (2009). Study of equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters about methylene blue adsorption onto natural zeolite. *Chemical Engineering Journal*, 145(3), 496-504.
- Hyvliud, A., Sabadash, V., & Humnytskyi, Y. (2015). Argumentation Of Natural Zeolite Usage Opportunity For Milk Plant Wastewater Purification. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 12, 185-190
- Hyvliud, A., Sabadash, V., Gumnitsky, J., & Ripak, N. (2019). Statics and kinetics of albumin adsorption by natural zeolite. *Chemistry & Chemical Technology*, 1 (13), 2019, (1), 95-100.
- Mahmoodi, N. M., Saffar-Dastgerdi, M. H. (2019). Zeolite nanoparticle as a superior adsorbent with high capacity: Synthesis, surface modification and pollutant adsorption ability from wastewater. *Microchemical Journal*, 145, 74-83.

- Ogunwole, O. A. (2016). Manganese, Zinc and Chloride Content of Milk of West African Dwarf Goats as Influenced by Stage of Lactation. *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 12(3), 1-6.
- Ou, H. W., Fang, M. L., Chou, M. S., Chang, H. Y., & Shiao, T. F. (2020). Long-term evaluation of activated carbon as an adsorbent for biogas desulfurization. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 70(6), 641-648.
- Sabadash, V. V., Givlyud, A. M., Gumnitsky, Y. M. (2016). Дослідження адсорбції α -оксіпропіонової кислоти в динамічних умовах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(3), 333-338.
- Shydakova-Kamieniuka, O., Shkلياiev, O., Samokhvalova, O., Artamonova, M., Stepankova, G., Bolkhovitina, O., & Rogova, A. (2018). Harnessing the Technological Potential of Chia Seeds in the Technology of Cream-whipped Candy Masses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(11), 52-60.

ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОКЛІТИННИХ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИХ МІКРОВОДОРОСТЕЙ CHLORELLA В ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Дячок В.В., Національний університет "Львівська політехніка", доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та збалансованого природокористування, м. Львів, Україна

Мандрик С.Т., Національний університет "Львівська політехніка", аспірант кафедри екології та збалансованого природокористування, м. Львів, Україна

Гуглич С.І., Національний університет "Львівська політехніка", кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування, м. Львів, Україна

Abstract

Biological fixation of carbon dioxide CO₂ with the participation of chlorophyll-synthesizing microalgae to the example of Chlorella is considered as a potential tactic not only to reduce (CO₂) emissions, but also to obtain biomass of microalgae with a high content of lipids (a source of regenerative energy). The inclusion of CO₂ in energy storage components in biomass, such as carbohydrates and lipids, based on the phenomenon of photosynthesis that is CO₂ fixation is the most promising way to capture carbon dioxide from industrial gas emissions.

At the same time, the processes of carbon dioxide fixation can be both suppressed and accelerated. In light of this, this section shows the inhibition of the effect of carbon dioxide absorption, inhibition by sulfur oxide (SO₂) and activation by phosphorus oxide (P₂O₅) and nitrogen oxides (N_xO_y) of the process of carbon dioxide absorption by chlorophyll-synthesizing microalgae. In fact, these oxides are satellites of carbon dioxide produced by the combustion of solid, liquid or gaseous fuels.

The section presents experimental dependences of the dynamics of CO₂ uptake by microalgae at a critical concentration of SO₂ inhibitor in the presence of P₂O₅ and N_xO_y activators. Mathematical models of Chlorella microalgae population growth depending on the concentration of P₂O and N_xO_y activators under the condition of constant concentration of SO₂ inhibitor are constructed. The optimal value of the total concentration of P₂O₅ activator in the presence of SO₂ inhibitor and the optimal value of the total concentration of N_xO_y activator in the presence of SO₂ inhibitor were established.

Вступ

Проблема глобальної зміни клімату обумовлена невинним зростанням парникових газів в атмосфері. Глобальне потепління тягне за собою низку проблем, серед яких підняття рівня моря (що значно підвищує ризик з одного боку повенів, а з іншого посух), збільшення кількості й інтенсивності ураганів та зникнення окремих видів рослин і тварин. Також зміни клімату ускладнять процес вирощування сільськогосподарських продуктів, запаси питної води теж скорочуватимуться (Зміна клімату. Національний..., 2020). Екологічна спільнота б'є на сполох тому, що це питання є топовою проблемою сьогодення та потребує негайного вирішення на міждержавному рівні.

12 грудня 2015 року в Парижі було прийнято міжнародну кліматичну угоду. 22 квітня 2016 року на урочистій церемонії Паризьку угоду підписали 175 країн, в тому числі й Україна. Верховна Рада України ратифікувала дану угоду 14 липня 2016 року (Паризька кліматична..., 2015).

Метою Паризького договору є посилення глобальної боротьби із загрозою зміни клімату задля стримування підвищення температури на планеті до рівня суттєво меншого ніж на 2 градуси Цельсія, у порівнянні із доіндустріальними рівнями. Паризька кліматична угода передбачає, що зобов'язання зі скорочення шкідливих викидів в атмосферу беруть на себе всі

держави, незалежно від ступеня їхнього економічного розвитку (Паризька кліматична ..., 2019).

Україна повинна скористатися усіма можливостями та механізмами, які передбачає імплементація Паризької кліматичної угоди. У результаті країна отримає значне скорочення викидів парникових газів, зменшення споживання традиційних енергоресурсів, збільшення частки відновлюваних джерел, модернізацію економіки, підвищення добробуту громадян.

Також на останніх щорічних економічних форумах у Давосі головними темами були – формування капіталізму для всіх зацікавлених сторін та екологічна ситуація в світі. З огляду на останні, жакливі природні катастрофи, які відбулися минулого року, питанню швидкої зміни клімату та наслідків від цього було присвячено багато уваги. Кліматичні зміни швидші за нас, і у війні, яку людство оголосило природі, природа б'є дуже жорстоко (Економічний форум ..., 2020).

Зміна клімату настільки небезпечна, що реакція на неї вимагає не просто комплексу заходів, а зміни моделі споживання. Ми опинилися під безпрецедентною загрозою через рукотворну зміну клімату, забруднення природи, виснаження водних ресурсів, зникнення багатьох видів живих організмів. Тому примирення економічного зростання з природними можливостями - необхідність.

Основна кількість викидів парникових газів утворюється в процесі спалювання палива – твердого, рідкого чи газоподібного (Золотарьова, Шнюкова, Сиваш та Михайленко, 2008). Основним парниковим газом, який викидається в атмосферу є вуглекислий газ (CO_2). Тому зменшення викидів CO_2 є головним завданням екологічної спільноти сьогодення.

В процесі спалювання палива утворюються супутні парникові гази такі як оксид фосфору (P_2O_5), оксиди азоту (N_xO_y), оксид сірки (SO_2) та інші. У реальних умовах індивідуальної дії компонентів які впливають на процес поглинання вуглекислого газу не буває, тому важливо досліджувати сумарний

вплив продуктів спалювання, зокрема оксиду фосфору (P_2O_5), оксидів азоту (N_xO_y) та оксиду сірки (SO_2), на ефективність поглинання вуглекислого газу на прикладі хлорофілсинтезуючих мікроводоростей *Chlorella*.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Індивідуальний вплив оксиду сірки (SO_2), як інгібітора та оксиду фосфору (P_2O_5) та оксидів азоту (N_xO_y), як активаторів на ефективність поглинання вуглекислого газу (CO_2) нами описані у роботах (Дячок, Гуглич, Катишева та Мандрик, 2017; Дячок, Мандрик, Катишева та Гуглич, 2018; Dyachok, Mandryk & Nuhlych, 2019). В літературі міститься мало інформації про одночасний вплив оксидів SO_2 , P_2O_5 , та N_xO_y на ефективність поглинання CO_2 . Тому важливо дослідити сумарну дію інгібітора SO_2 та активаторів P_2O_5 й N_xO_y на динаміку поглинання вуглекислого газу (CO_2) хлорофілсинтезуючими мікроводоростями *Chlorella*.

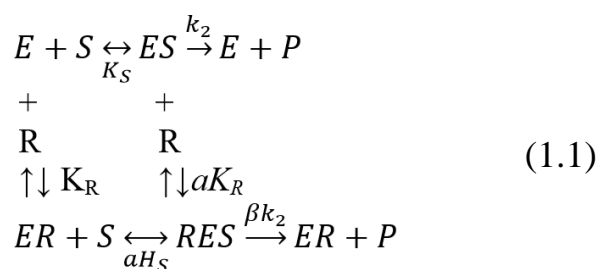
Мета досліджень була у встановленні оптимального співвідношення концентрацій інгібітора SO_2 та активатора P_2O_5 а також інгібітора SO_2 та активатора N_xO_y за яких поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроводоростями типу *Chlorella* є найефективнішим.

Теоретична частина

Усі процеси у живій природі проходять винятково ферментативним шляхом. Таким чином, перетворення забруднюючих речовин всередині клітини мікроводорості відбувається завдяки дії ферментів. Ферменти – це каталізатори, активність яких може бути регульована. Більшість ферментів можуть зв'язуватися з малими молекулами, які мають назву модифікатори (ефектори) та можуть змінювати ферментативну активність. До них належать: інгібітори–сполуки, які гальмують активність ферменту та активатори – сполуки, які збільшують ферментативну активність. Відповідно результат дії інгібіторів має назву інгібування, активаторів – активування (Дячок, Гуглич та Левко, 2015). В

нашому випадку активаторами процесу поглинання вуглекислого газу (CO_2) хлорофілсинтезуючими мікрободоростями є оксид фосфору (P_2O_5) та оксиди азоту (N_xO_y), а інгібітором – оксид сірки (SO_2) за певних значень концентрацій. Тому важливим є встановлення цих значень концентрацій. В природі інгібування та активація ферментів та ферментативних систем є важливим способом регулювання метаболізму й пристосування до умов навколишнього середовища.

Найпростіша схема впливу деякої речовини R на ферментативне перетворення субстрату S в продукт P , включає зворотню взаємодію цієї ж речовини з ферментом або фермент-субстратним комплексом:



Через K_S і K_R позначені константи нестійкості комплексів фермента з субстратом і з речовиною R . Із загальних термодинамічних міркувань очевидно, що для замкнутої системи рівноваг (1.1) константи нестійкості потрійного комплексу RES за його розпаду за двома можливими напрямками повинні відрізнятися від констант нестійкості відповідних подвійних комплексів в однакове число разів, що і враховується коефіцієнтом α . Якщо розпад фермент-субстратного комплексу з утворенням продукту відбувається з константою швидкості k_2 , потрійний комплекс може перетворюватись з виділенням того ж продукту з іншою константою швидкості βk_2 . Величина β визначає характер впливу речовини яку додали: при $\beta > 1$ вона прискорює реакцію і називається активатором (А); при $\beta < 1$ реакція сповільнюється і добавка називається інгібітором (І), а випадок коли $\beta = 0$ називається повним інгібуванням (Dyachok, Huhlych, Yatchyshyn, Zaporochets & Katysheva, 2017).

Випадки одночасної дії інгібіторів та активаторів в одній системі в літературі описані не однозначно. Проте такі випадки мають широке місце на практиці.

Виклад основного матеріалу та обговорення результатів

Для дослідження впливу активування та інгібування на процес поглинання вуглекислого газу використовували мікроводорості – *Chlorella vulgaris*. Її культивували протягом 11 діб у шести фотобіореакторах об'ємом 1 дм³. Живильні речовини - вуглекислий газ та елементи мінерального живлення клітини мікроводорості отримують безпосередньо з середовища, культивування засвоюючи їх всією своєю поверхнею. На час проведення даного дослідження температуру підтримували в межах 30°C, для досягнення максимально сприятливих умов культивування. Так, як оксиди P₂O₅, N_xO_y та SO₂ засвоюються мікроводоростями у вигляді аніонів $H_2PO_4^-$, NO_3^- , HSO_3^- тому вплив їх на приріст хлорофілсинтезуючих мікроводоростей вивчали за різних значень концентрації активаторів за постійної концентрації інгібітору. Значення критичної концентрації інгібітору встановлено експериментальним шляхом та приведено у роботі (Дячок та ін., 2017).

Для дослідження впливу активатора оксиду фосфору (P₂O₅) за присутності інгібітору оксиду сірки (SO₂) у перший фотобіореактор додали лише аніон HSO_3^- з концентрацією – 1000 мг/м³ для того щоб переконатися в тому, що оксид сірки є інгібітором приросту хлорофілсинтезуючих мікроводоростей *Chlorella*. У другий фотобіореактор і всі наступні додали аніон HSO_3^- з концентрацією – 1000 мг/м³, та аніон $H_2PO_4^-$ з концентрацією – 0,0035 мг/м³; у третій- 0,005мг/м³; у четвертий – 0,01 мг мг/м³; у п'ятий – 0,02 мг мг/м³. Тобто у всі проби було додано однакову кількість аніону HSO_3^- та різну кількість аніону $H_2PO_4^-$. Та відповідно контрольний розчин, який не містив жодних домішок аніонів у процесі дослідження.

Для дослідження впливу активатора оксидів азоту (N_xO_y) за присутності інгібітору оксиду сірки (SO₂) у перший фотобіореактор ми аналогічно додали

лише аніон HSO_3^- з концентрацією – 1000 мг/м³. У другий фотобіореактор і всі наступні додали аніон HSO_3^- з концентрацією – 1000 мг/м³ та аніон NO_3^- з концентрацією – 8,6 мг/м³; у третій - 17,2 мг/м³; у четвертий – 25,8 мг/м³; у п'ятий 34,4 мг/м³. Тобто у всі проби було додано однакову кількість аніону HSO_3^- та різну кількість аніону NO_3^- .

Приріст біомаси хлорофілсинтезуючих мікробіодоростей, за таких умов визначали фотокolorиметричним методом з використанням синього світлофільтра згідно закону Бугера-Ламберта-Бера. Так як оптична густина пропорційна концентрації, тому одержані експериментальні дані накопичення біомаси мікробіодоростей в залежності від часу в межах досліджуваної сумарної концентрації $H_2PO_4^-$ і HSO_3^- ; NO_3^- і HSO_3^- відповідали значенням оптичних густин.

В процесі обробки експериментальних даних було отримано графічні залежності, що ілюструють зміну концентрації мікробіодоростей в часі за сталого значення концентрації інгібітора та різних значень концентрацій активаторів в розчині за одноразового його введення (рис. 1, 2).

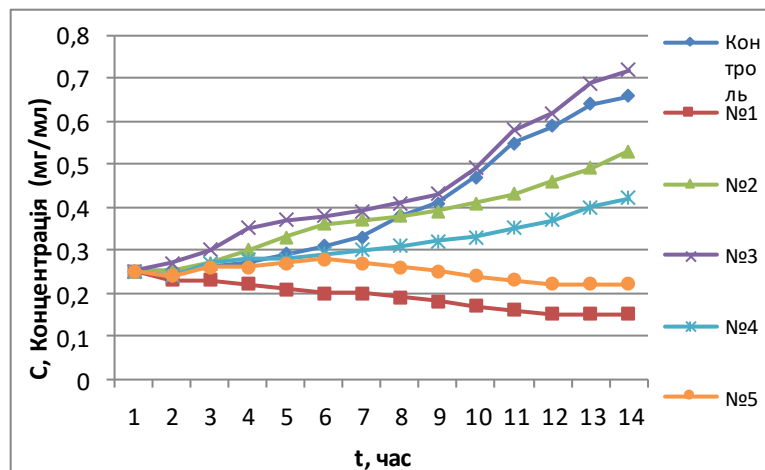


Рис. 1. Залежність зміни концентрації клітин мікробіодоростей в часі за відповідних концентрацій аніону HSO_3^- та аніону $H_2PO_4^-$

Отримані дані свідчать про те, що аніон HSO_3^- є інгібітором процесу приросту мікробіодоростей, що видно на графіку, перша проба в порівнянні з

контролем та іншими пробами впевнено спадає. Аналізуючи дані (рис. 1.) слід зазначити, що збільшення концентрації клітин мікроводоростей суттєво залежить від концентрації аніону ($H_2PO_4^-$), який виступає активатором процесу поглинання вуглекислого газу. З другої по четверту пробу ми спостерігаємо, що аніон ($H_2PO_4^-$) інактивує дію інгібітора (HSO_3^-) та збільшує приріст мікроводоростей. У випадку п'ятої проби ми бачимо, що дана концентрація аніону $H_2PO_4^-$ згубно впливає на приріст тому, спостерігається відмирання мікроводоростей.

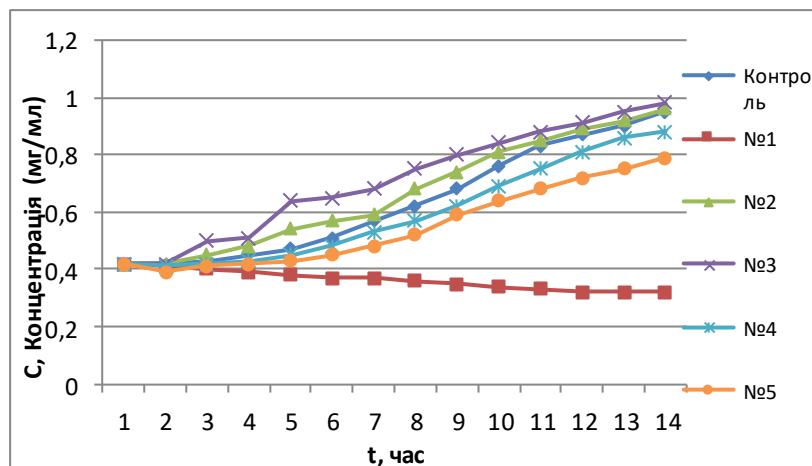


Рис. 2. Залежність зміни концентрації клітин мікроводоростей в часі за відповідних концентрацій аніону HSO_3^- та аніону NO_3^-

В подальшому аналіз даних (рис. 2) дозволяє аналогічно стверджувати, що збільшення концентрації клітин мікроводоростей суттєво залежить від концентрації оксиду азоту (NO_3^-), і цей факт дозволяє припускати, що аніон (NO_3^-) виступає активатором процесу поглинання вуглекислого газу. З другої по п'яту пробу ми спостерігаємо, що аніон (NO_3^-) інактивує дію інгібітора (HSO_3^-) і це супроводжує приріст мікроводоростей.

Визначальним параметром, який характеризує приріст мікроводоростей δ_μ – це питома швидкість приросту:

$$\delta_k = \delta C / C \times \delta t \quad (1.2)$$

де C – концентрація мікрободоростей, δ_μ – питома швидкість приросту або коефіцієнт питомого приросту (c^{-1}).

Коефіцієнт приросту може бути визначений і за рівнянням:

$$\delta C/\delta t = \mu \times C \quad (1.3)$$

Згідно рівняння, коефіцієнт приросту - μ характеризує відносний приріст густини мікрободоростей за одиницю часу. Якщо протягом певного часу $\delta\mu$ залишається незмінним, то такий приріст називається експоненційним, а відповідний йому проміжок часу – експоненційною фазою приросту.

Проінтегрувавши рівняння (1.3), постійну інтегрування знаходимо за умови, якщо в початковий момент часу $t=0$ наявна вихідна густина клітин мікрободоростей C_0 .

$$C = C_0 \times \exp(\mu t) \quad (1.4)$$

Оскільки логарифмічна залежність концентрації клітин мікрободоростей від часу в період експоненційного приросту є лінійною залежністю то це дає можливість визначити коефіцієнт приросту μ як тангенс кута нахилу експериментальної прямої. Тому підставивши експериментальні дані у рівняння (1.4) отримаємо залежності $\ln(C/C_0) = f(t)$, які зображені на рис. (3, 4) у випадку якщо активатором виступає аніон $H_2PO_4^-$.

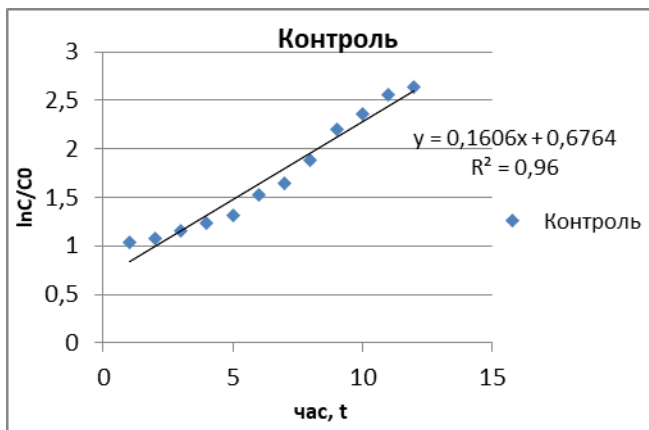


Рис. 3. Залежність зміни логарифму концентрації клітин в суспензії мікрободоростей від часу (контроль)

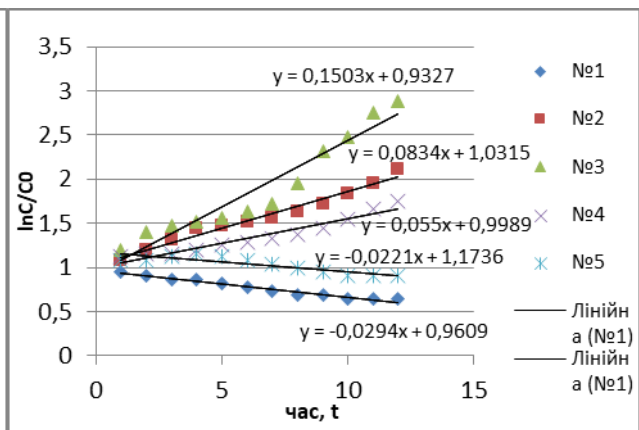


Рис. 4. Залежність зміни логарифму концентрації клітин в суспензії мікрободоростей від часу (за відповідних значень концентрацій активатора $H_2PO_4^-$ та постійної інгібітора HSO_3^-)

Використовуючи одержані результати визначаємо коефіцієнти приросту μ , як тангенс кута нахилу експериментальних прямих за рисунками (3, 4). Оскільки в контрольній ємкості має місце збільшення приросту біомаси мікроводоростей, тому значення коефіцієнта приросту додатне, $\mu = 0,1606 \text{ c}^{-1}$ (рис. 3). Значення коефіцієнту приросту μ за відповідних концентрацій аніонів $H_2PO_4^-$ та постійної концентрації інгібітора HSO_3^- наведені в таблиці 1. Оскільки в 2-4 пробах спостерігається збільшення приросту біомаси мікроводоростей, тому значення коефіцієнта приросту – додатне. У випадку першої проби, коли було додано лише інгібітор HSO_3^- та у випадку п'ятої проби, коли було додано згубну концентрацію аніонів $H_2PO_4^-$; має місце зменшення приросту біомаси мікроводоростей, тому значення коефіцієнту приросту μ в цих фітобіореакторах - від'ємне.

Таблиця 1

Значення коефіцієнту приросту μ за відповідних
концентрацій аніонів $H_2PO_4^-$ та HSO_3^-

№ проби	Коефіцієнт приросту μ c^{-1}	Концентрація HSO_3^- мг/м ³	Концентрація $H_2PO_4^-$ мг/м ³
Контроль	0,1606	-	-
Проба № 1	-0,0294	1000	-
Проба № 2	0,1503	1000	0,0035
Проба № 3	0,0834	1000	0,005
Проба № 4	0,055	1000	0,01
Проба № 5	-0,0221	1000	0,02

У дослідях з використанням оксидів азоту отримуємо залежності зображені на рисунку 5 та 6.

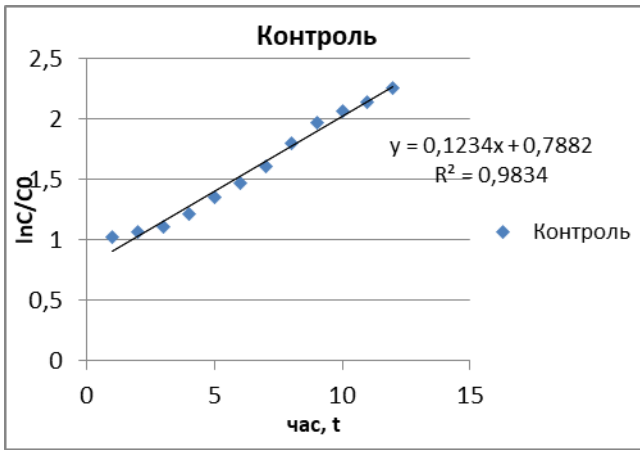


Рис. 5. Залежність зміни логарифму концентрації клітин в суспензії мікрободоростей від часу (контроль)

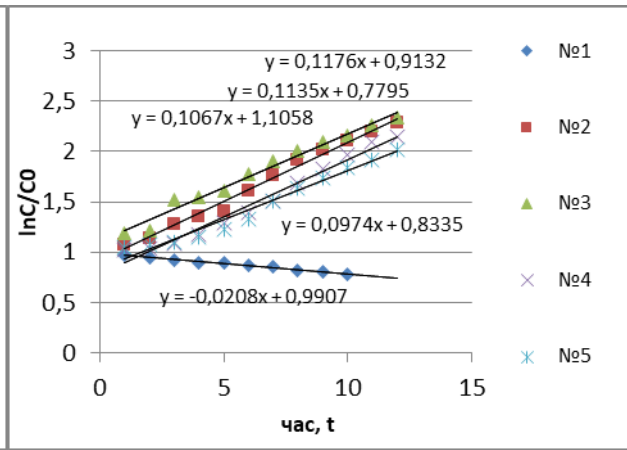


Рис. 6. Залежність зміни логарифму концентрації клітин в суспензії мікрободоростей від часу (за відповідних значень концентрацій активатора NO_3^- та постійної інгібітора HSO_3^-)

За отриманими графічними залежностями згідно рис. (5, 6) визначили коефіцієнт приросту μ , як тангенс кута нахилу експериментальних прямих. Оскільки в контрольній ємкості спостерігається природній процес збільшення приросту біомаси мікрободоростей, тому значення коефіцієнту приросту додатне, $\mu = 0,1234 \text{ c}^{-1}$ (рис. 5). Значення коефіцієнту приросту μ за постійної концентрації інгібітору HSO_3^- та різних значень концентрації активатора NO_3^- наведені в таблиці 2. Оскільки в пробах 2-5 є позитивна динаміка приросту біомаси мікрободоростей, тому значення коефіцієнту μ є додатне. У випадку першої проби, за умови присутності інгібітору коли було додано лише аніон HSO_3^- має місце негативна динаміка приросту біомаси мікрободоростей, відповідно значення коефіцієнту μ від'ємне.

Значення коефіцієнту приросту μ за відповідних
концентрацій аніонів NO_3^- та HSO_3^-

№ проби	Коефіцієнт приросту μ c^{-1}	Концентрація HSO_3^- мг/м ³	Концентрація NO_3^- мг/м ³
Контроль	0,1234	-	-
Проба № 1	-0,0208	1000	-
Проба № 2	0,1176	1000	8,6
Проба № 3	0,1135	1000	17,2
Проба № 4	0,1067	1000	25,8
Проба № 5	0,0974	1000	34,4

Математична модель, яка описує динаміку приросту мікрободоростей а відповідно динаміку поглинання вуглекислого газу CO_2 має вигляд :

$$\begin{cases} \frac{dC}{dx} = \mu_1 C - \mu_2 C \\ \frac{dC}{dx} = \mu_1 C; \\ x = 0, C = C_0; \end{cases} \quad (1.5)$$

де, x – концентрація активаторів ($H_2PO_4^-$); (NO_3^-) за умови присутності інгібітору (HSO_3^-);

C - концентрація мікрободоростей у суспензії.

Рішення даної моделі має декілька аналітичних виразів, один із них дозволяє розраховувати оптимальну концентрацію активатора за присутності інгібітора за умови постійної його концентрації та відомих значень коефіцієнтів приросту – μ ;

$$x_{max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)} \quad (1.6)$$

Використовуючи дані математичної обробки результатів експериментальних досліджень приросту мікрободоростей знаходимо коефіцієнти - μ_1 та μ_2 . Після підстановки отриманих значень у розв'язок математичної моделі рівняння (1.6) розраховуємо оптимальне значення

концентрації активатора аніону $H_2PO_4^-$, за присутності інгібітора аніону HSO_3^- , за якої процес поглинання вуглекислого газу є найефективнішим.

$$x_{max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)} = \frac{\ln(-0,0221) - \ln 0,0962}{(0,0962 - 0,0221)} = 0,0067 \text{ мг/м}^3; \quad (1.7)$$

З рішення математичної моделі (1.7) видно, що максимальний приріст концентрації мікроводоростей досягається за концентрації аніону $H_2PO_4^- \approx 0,0067$ мг/м³, за присутності аніону HSO_3^- .

Аналогічно розраховуємо оптимальне значення концентрації аніону NO_3^- за присутності HSO_3^- , за якої процес поглинання вуглекислого газу є найефективнішим.

$$x_{max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)} = \frac{\ln(-0,0208) - \ln 0,1088}{(0,1088 - 0,0208)} = 18,795 \text{ мг/м}^3; \quad (1.8)$$

З рішення рівняння (1.8) математичної моделі видно що динаміка поглинання вуглекислого газу досягає максимуму за концентрації активатора аніону $NO_3^- \approx 18,795$ мг/м³; за постійного значення концентрації інгібітора аніону $HSO_3^- = 1000$ мг/м³.

Це означає, що математична модель доволі точно описує перебіг досліджуваного процесу, а її рішення дозволяє прогнозувати основні параметри технології поглинання парникових газів за умови присутності інгібітора – оксиду сірки (SO₂) та активаторів – оксиду фосфору (P₂O₅) та оксидів азоту (N_xO_y), які є попередниками аніонів NO_3^- та $H_2PO_4^-$.

Висновки

1. У розділі приведено результати явища інактивації інгібітора оксиду сірки (SO₂) активаторами оксидом фосфору (P₂O₅) та оксидами азоту (N_xO_y) в процесах поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікроводоростями *Chlorella*.

2. Наведені результати експериментальних досліджень ефективності поглинання вуглекислого газу мікроводоростями в залежності від концентрації активаторів за постійної концентрації інгібітора.

3. Також експериментально визначено оптимальне співвідношення концентрацій оксиду сірки та оксиду фосфору, а також оксиду сірки та оксидів азоту, за яких спостерігається максимально інтенсивне поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями.

4. Встановлено розрахункове значення оптимального співвідношення концентрацій аніонів $H_2PO_4^-$ та HSO_3^- ; NO_3^- та HSO_3^- на динаміку поглинання CO_2 хлорофілсинтезуючими мікрободоростями.

Список літератури

- Dyachok, V., Huhlych, S., Yatchyshyn, Y., Zaporochets, Y., & Katysheva V. (2017) About the problem of biological processes complicated by mass transfer. *Chemistry & Chemical Technology. T.11, № 1.* 111-116.
- Dyachok V., Mandryk S., & Huhlych S. (2019). Activator of carbon dioxide absorption by chlorophyll-synthesizing microalgae. *Environmental Problems. Екологічні проблеми. Volume 4. Number 2.* 63-67.
- Дячок, В. В., Гуглич, С. І., Катишева, В. В., & Мандрик С. Т. (2017). Поглинання вуглекислого газу із суміші повітря з діоксидом сірки. *Наукові праці. Т.81. №1.* 59-65.
- Дячок, В. В., Гуглич, С. І., & Левко, О. Б. (2015). Вивчення впливу температури на кінетику поглинання вуглекислого газу мікрободоростями. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка", серія: «Хімія, технологія речовин та їх застосування».* № 812. 365-372.
- Дячок, В. В., Мандрик, С. Т., Катишева, В. В., & Гуглич, С. І. (2018). Дослідження впливу оксидів нітрогену на швидкість поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікрободоростями у водному середовищі. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка», серія: «Хімія, технологія речовин та їх застосування».* Том 886. 171-176.
- Ресурс: Економічний форум в Давосі 2020 року: про ризики та уроки для України. (2020) Retrieved from

https://glavcom.ua/columns/b_danilishyn/ekonomichniy-forum-v-davosi-2020-roku-pro-riziki-ta-uroki-dlya-ukrajini-656005.html

Ресурс: Зміна клімату. Національний екологічний центр України. (2020)
Retrieved from necu.org.ua/climate.

Золотарьова, О. К. (Eds), Шнюкова, Є. І., Сиваш, О. О., & Михайленко, Н. Ф. (2008). *Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології*. К.: Альтерпрес.

Ресурс: Паризька кліматична угода: що відбувається та які результати? (2019). Retrieved from https://24tv.ua/parizka_klimatichna_ugoda_shho_vidbuvayetsya_i_yaki_rezultati_n931921

ЗАСТОСУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ РОЗІМКНУТОГО БІОЛОГІЧНОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ НА ПРИКЛАДІ ФІЛЬТРАТИВ СМІТТЄЗВАЛИЩ

Мальований М.С., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н.,
професор, зав кафедри ЕЗП, Україна

Жук В.М., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., доцент,
кафедри гідротехніки і водної інженерії, Україна

Тимчук І.С., Національний університет «Львівська політехніка», к.с.-г.н.,
докторант кафедри ЕЗП, Україна

Соловій Х.М., Національний університет «Львівська політехніка», аспірант
кафедри ЕЗП, Україна

Вронська Н.Ю., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н.,
доцент кафедри ЕЗП, Україна

Копій М.Л., Національний лісотехнічний університет України, к.с.-г.н.,
асистент кафедри екології, Україна

Стокалюк О.В., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
к.т.н., доцент, заступник начальника інституту цивільного
захисту, Україна

Середа А.С., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., м.н.с.
кафедри ЕЗП, Україна

Abstract

The concept of an open-type biological conveyor has been developed that can be used to treat contaminated wastewater. Unlike the closed biological conveyor method, it is characterized by the organized periodic selection of biomass used for biogas production. Typical scheme of an open-type bioconveyor consisting of an anaerobic bioreactor zone, an aerobic bioreactor zone, a biogas reactor zone and a phyto reactor zone is presented. The rational scheme of the biological conveyor of the

open type setup for purification of landfill filtrate is presented. Laboratory studies have been conducted to determine the effectiveness of the use of the nozzle for the immobilization of microbiocenosis in aerated lagoons used for landfill purification.

Вступ

Сучасний розвиток суспільства характеризується загостренням екологічних загроз, викликаних антропогенною діяльністю, в першу чергу забрудненням гідросфери (Loboichenko, Andronov & Strelec, 2018; Malovanyu M., Shandrovyuch, Malovanyu A. & Polyuzhyn, 2016), неконтрольованим накопиченням твердих побутових відходів (Safranov, Shanina, Prykhodko & Shynkarenko, 2018), забрудненням атмосфери (Chugai & Vazyka, 2019), забруднення земної поверхні териконами та шламонакопичувачами (Malovanyu et al., 2020), провалами та зсувами викликаними результатами гірничохімічної діяльності (Pobereznyi, Poberezhna, Maruschak & Panin, 2017), забрудненням довкілля, пов'язаними із муніципальними стоками (Iurchenko, Lebedeva & Brigada, 2016), забрудненням літосфери та ґрунтових вод продуктами корозії заземлених конструкцій (Yavorskyi et al., 2015) та багатьма іншими негативними результатами антропогенної діяльності. Але в ряду найнебезпечніших екологічних загроз можна виокремити як особливо важливі і небезпечні для людства проблеми поводження із твердими побутовими відходами, зокрема їх збір, складування та утилізацію (Porovych N., Malovanyu & Porovych V., 2018). Загострення цих проблем у країнах, де збалансована система поводження із твердими побутовими відходами не створена (до цих країн відноситься і Україна) заставляють згадувати зловісне пророцтво Нільса Бора «Людство не загине у ядерному жаху, а задихнеться у власних відходах». Однією із важливих проблем екологічно безпечного складування твердих побутових відходів є запровадження ефективних технологій утилізації фільтратів, які утворюються внаслідок проходження біорозкладу органічної частини сміття в тілі полігонів та звалищ.

Неочищені фільтрати полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) та сміттєзвалищ створюють значну екологічну проблему для всіх країн світу. Але особливо гостро стоїть проблема їх очищення для країн, які ще не впровадили систему поводження із ТПВ. В цих країнах не побудували і не експлуатують полігонів ТПВ, обладнаних системами протифільтраційного захисту, збору та утилізації звалищного газу, збору та відведення атмосферних опадів. До таких країн належить і Україна, в якій на ряді сміттєзвалищ накопичена значна кількість фільтратів. Тільки на Львівському сміттєзвалищі їх накопичено у 4 збірниках більше 200 000 м³. Накопичені фільтрати створюють значну екологічну загрозу і унеможливають проведення рекультивації. Тому виходячи із необхідності очищення в короткий термін великих об'ємів накопичених фільтратів, постає необхідність пошуків та досліджень інноваційних бюджетних методів очищення фільтратів.

Для очищення фільтратів в світовій практиці широко застосовується технологія зворотного осмосу (Dushkyn, Kovalenko, Dehtyar & Shevchenko 2011). Технологія дозволяє забезпечити високу ступінь очищення, тому очищений фільтрат може відводитись в поверхневі водойми. Концентрат (кількість якого складає 10 – 20 %) подається на захоронення в гідроізольовані комірки, обладнані на сміттєзвалищі. Технологія перспективна для очищення невеликих кількостей фільтрату, який збирається дренажною системою сміттєзвалища чи полігону. Але для очищення накопичених в збірниках фільтратів така технологія неефективна і нерентабельна. Слід врахувати у випадку її реалізації ще необхідність гідроізоляції у комірках величезних кількостей концентрату.

Технологія електроплазмового очищення фільтрату достатньо глибоко досліджувалась рядом дослідників (Mashal, Abu-Daherieh, & Graham, 2012; Gomez et al., 2009). Перевагами цієї технології є висока якість очищення та прийнятна вартість реалізації. Однак через складності технологічного характеру на сьогоднішній день технологія не знайшла широкого впровадження.

Потребують детальних досліджень технології біологічного очищення фільтратів, які широко досліджуються цілим рядом дослідників. Особливої актуальності ці дослідження набувають на сучасному етапі розвитку людства, який характеризується переоцінкою відносин до довкілля і поверненням в усіх галузях антропогенної діяльності та аспектах життєдіяльності до природних умов, природних продуктів, природних технологій. Як приклад можна навести стрімкий зріст популярності до органічних продуктів харчування, повернення (де це можливо) самоплинності річок, використання у адсорбційних технологіях природних дисперсних сорбентів (Sakalova, Malovanyu, Vasylynych & Kryklyvyi, 2019; Zelenko, Malovanyu M & Tarasova, 2019). Зростає цікавість до біологічних технологій (в тому числі до біологічних методів очищення стічних вод). Це такі технології як аеробний та анаеробні методи очищення із використанням відповідних біоценозів, використання гідробіонтів, використання штучно створених водно-болотних ділянок (біоплато).

Автори (Govahi, Karimi-Jashni & Derakhshan, 2012; Dzhamalova, 2015) вказують на перспективність технології анаеробного очищення фільтратів, яка дозволяє окрім очищеного фільтрату отримувати ще й енергетичний ресурс – біогаз. Для очищення фільтратів пропонується (Govahi et al., 2012) двостадійний (анаеробно – аеробний) процес. Для першої стадії пропонується UASB реактор, для другої – аерована лагуна. Згідно досліджень автора така технологія дозволяє досягти 99,6% очищення від амонійного азоту та зменшення ХСК– 66–94%. Але оскільки анаеробний процес чутливий до змін температури та вмісту токсичних речовин (Gao et al., 2015) реалізація цієї технології для накопичених фільтратів, що характеризуються різним хімічним складом, технологічно проблемна.

Дослідники (Payandeh, Naser & Parisa, 2017) наводять порівняльну оцінку різних варіантів біологічних аеробних та анаеробних способів очищення фільтратів: ASBR-технологія, UASB-технологія, MBR-технологія, MBBR-технологія, аерована лагуна. Аналізом встановлено, що найбільша ступінь видалення ХСК була досягнута у аерованій лагуні (95%). Дослідженнями

авторів цієї статті (Malovanyu, Zhuk, Sliusar & Sereda, 2018; Malovanyu et al., 2019) також підтверджена перспективність використання аерованої лагуни як однієї із стадій комплексної технології очищення фільтратів. Приводиться приклад очищення фільтратів Львівського (Грибовицького) сміттєзвалища в Україні.

Значна кількість досліджень присвячена застосуванню гідробіонтів для очищення забруднених стічних вод. Яскравим прикладом очищення забруднених поверхневих вод в акваторіях рік України став бурхливий неконтрольований розвиток водоростей (і в значній мірі синьо – зелених водоростей). Вони отримали сприятливі умови для розвитку внаслідок заневищення гідросфери продуктами життєдіяльності людини – сполуками фосфору та азоту. Сприяла розвитку водоростей також поява мілководних ділянок, які добре прогріваються сонцем, внаслідок будівництва штучних водосховищ на Дніпрі, Дністрі, Південному Бугу та інших ріках України. Водорості засвоюючи забруднення сприяють очищенню води, але на стадії відмирання створюють вторинне забруднення (виділення токсичних речовин в повітря і у водне середовище). Цим вони завдають значної шкоди довкіллю.

Огляд досліджень щодо використання водоростей для очищення фільтратів полігонів твердих побутових відходів приводиться у (Ioannis, Ehab & Philippidis, 2020). Автори відзначають що мікрководорості слід розглядати як перспективне стійке доповнення до комплексних технологій очищення фільтратів. Ряд дослідників присвятили свої дослідження пошукам оптимального складу консорціуму мікрководоростей для досягнення максимальних ефектів очищення забруднених водних середовищ (Sardi Saavedra, Madera Parra, Peca, Ceryn & Mosquera, 2018; Sniffen, Sales & Olson, 2018). Накопичену біомасу на думку (Dogaris Ioannis et al., 2020) доцільно використовувати як сировину для виробництва біопалива та біопродуктів із доданою вартістю для біоекономіки.

Значна кількість досліджень присвячена використанню для очищення забруднених стоків вищих водних рослин (Soloviy, Malovanyu, Nykyforov &

Dihtyar, 2020; Soloviy & Malovanyu, 2019). Напевне найбільш популярною рослиною, яка використовується для цих цілей, в останній час є *Eichornia crassipes*, або водний гіацинт (Villamagna & Murphy, 2010; Flyurik, Abramovich & Zmitrovich, 2014). На сьогоднішній день немає одностайної думки щодо доцільності застосування цієї рослини для очищення забруднених поверхневих вод. Як і у випадку із ціанобактеріями неконтрольоване розповсюдження цієї рослини створює екологічну загрозу в період її відмирання. Але ефективність очищення нею забруднених вод підтверджується цілим рядом досліджень. Водяний гіацинт нерідко розглядають як швидкоростучу водяну рослину для очищення забруднених водних середовищ, обеззаражування каналізаційних відстійників, усунення неприємних запахів, отримання біомаси для різних цілей.

Велика кількість досліджень свідчить про ефективність очищення стічних вод від різних типів поллютантів (органічні забруднення, амонійний азот, важкі метали) із використанням штучно організованих водно-болотних ділянок (які часто носять назву біоплато). Для формування біоплато використовувались такі рослини як очерет (Rai et al., 2013), верба (Jozwiakowski et al., 2020), ячмінь, овес, кукурудза, жито (Lapan et al., 2018), а також комбінації із різних типів рослин (Marzec et al., 2018). Автори (Popovych, Stepova & Prydatko, 2018; Popovych et al., 2020) досліджували перспективність застосування біоплато для очищення фільтратів Львівського (Грибовицького) сміттєзвалища. Але дані експериментальних досліджень цього методу автори не приводять. Технологія біоплато за невеликих капітальних та експлуатаційних затрат дозволяє забезпечити достатню ступінь очищення. На нашу думку вона може застосовуватись як один із елементів комплексних технологій очищення фільтратів.

У цій публікації ми розглядаємо перспективи інтегрованого компонування і подальшого застосування комплексу біологічних технологій, названого нами «розімкнутим біологічним конвеєром» для очищення фільтратів сміттєзвалища та інших забруднених водних систем. Концепція «біологічного конвеєра»

розроблена в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В.Думанського за ініціативи і активної участі професора Петра Гвоздяка (Gvozdyak, 2003). Технологічна суть біоконвеєра полягає в тому, що на шляху води, яку потрібно очистити, розміщені гідробіонти - анаеробні бактерії, аеробні мікроорганізми (копіотрофи, оліготрофи, найпростіші), фільтратори, хижаки. Перебуваючи на своїх «робочих місцях», вони «виїдають» з води розчинені у ній органічні сполуки і біомасу (тіла) організмів. На думку авторів перевагами біоконвейєра є можливість очищення будь-яких (природних, зливових, побутових, промислових стічних) вод, що містять розчинені органічні сполуки, навіть гранично токсичні, канцерогенні чи мутагенні, за будь-яких їх концентрацій. Вважається, що біоконвеєр дає змогу доводити якість очищеної води до будь-якого заданого ступеня чистоти. Він знімає проблему надлишкової біомаси, оскільки вона споживається і мінералізується у трофічному ланцюгу. При цьому чим більша кількість трофічних рівнів задіяна у біоконвеєрі, тим менше біомаси залишається в очищеній воді. На думку авторів достатньо мати в очисній споруді трофічний ланцюг у 2–3 ланки, щоб зменшити кількість надлишкової біомаси у 100–1000 разів. Оскільки автори пропонують компонувати у біоконвейєрі трофічний ланцюг, то такий біоконвейєр повинен складати (або максимально наближатись) до замкнутої екобіологічної системи, назвемо його умовно «замкнутим біоконвейєром».

Групи науковців, очолюваних П.Гвоздяком, розробили окремі варіанти «біоконвейєрів» для очищення токсичних стоків: токсичних відходів Чернігівського ВО «Хімволокно» (Україна), основним забруднювачем яких є гексаметилендіамін (Gvozdyak, 2015); стічних вод АТ «Мотор Січ» (Україна), які забруднені нафтопродуктами та іонами нікелю (Krupieі, Skokova, Rylskyi, Dombrovskyi & Hvozdiak, 2014), стічних вод ВО «Лакофарба» (Білорусь), які забруднені токсичними органічними забрудненнями: ксилолом, толуолом, фталевим і малеїновим ангідридами, циклогексанолом, акролеїном тощо (Gvozdyak, 2015).

Метою досліджень був аналіз перспективи очищення фільтратів сміттєзвалищ із застосуванням біоконвеєра, який розглядався як комплекс біологічних технологій із застосуванням декількох систем гідробіонтів. Гідробіонти не об'єднані у трофічний ланцюг. Надлишкова біомаса штучно вилучається за межі створеної екосистеми і використовується для синтезу біогазу. Тому на відміну від попередньої концепції такий вид біоконвеєра ми умовно назвали «розімкнутий біологічний конвеєр».

Об'єкти і методи дослідження

Дослідження залежності ефективності очищення фільтрату сміттєзвалища від внесення в систему насадкових тіл проводились в лабораторних умовах на дослідній установці (рис. 1). На установці моделювались умови аерованої лагуни, за такою методикою. Досліджуваний фільтрат сміттєзвалища заливався в колбу в кількості 4 л. В нижню частину колби через лабораторний аератор подавалось повітря із витратою $4,2 \cdot 10^{-5}$ м³/с. Початкові параметри фільтрату з початком аерації: концентрація іонів амонію – 1076 мг/дм³; концентрація розчиненого кисню – 1,92 мг/дм³; рН – 8,56.

Для вимірювання концентрації розчиненого кисню використовували портативний киснемір *sensIon6*TM, концентрацію амонійного азоту визначали фотометрично. рН визначали потенціометрично за допомогою портативного рН/ISE/mV/°C-метра марки *sensIon*^{TM2}.

Загальновідомим є те, що оптимальні умови очищення спостерігаються у випадку іммобілізації біоценозу у вигляді біоплівки. Це досягається шляхом внесення в систему насадкових тіл, на яких і проходить іммобілізація біоценозу. Тому нами проводились дослідження ефективності процесу у випадку внесення пінопластових кульок, які служили насадковими тілами для іммобілізації біоценозу. Загальний вигляд установки, на якій проводились дослідження, показаний на рис.1.



Рис. 1. Загальний вигляд дослідної установки.

Для досліджень використовувався фільтрат Львівського (Грибовицького) сміттєзвалища, відібраний 14.05.2019 року із збірника фільтрату, розташованого біля підніжжя звалища. Хімічний склад фільтрату, який використовувався для досліджень, приведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад фільтрату Грибовицького сміттєзвалища,
відібраного 14.05.2019 р.

№	Назва показників	Один. вимір.	Фільтрат 14.05.19	ГДК
1	NH ₄ (за N)	мг/дм ³	1076	2
2	БСК ₅	мг/дм ³	1565	15
3	pH	одиниці pH	8,56	-
4	Завислі речовини	мг/дм ³	2542	-
5	Залізо	мг/дм ³	12,6	0,3
6	Сухий залишок	мг/дм ³	11987	-
7	Хлориди	мг/дм ³	4856	350
8	ХСК	мг/дм ³	8922	80

ГДК – гранично допустимі концентрації.

Як свідчать представлені дані, у фільтраті перевищують ГДК всі інгредієнти, які визначались. Але найбільш небезпечними є вміст амонійного

азоту, БСК₅ та ХСК. Саме на очищення від амонійного азоту направлені описані дослідження.

Результати та їх обговорення

Основною ідеєю концепції біологічного конвейєра є побудова у технологічній схемі очищення стоків трофічного ланцюга. Завдяки цьому реалізується на думку авторів основна перевага методу біологічного конвеєра – відсутність накопичення біомаси (Gvozdyak, 2003). Надлишкова біомаса споживається і мінералізується в трофічному ланцюгу. Оскільки автори старались організувати для очищення замкнуту самодостатню систему із штучно створеним трофічним ланцюгом, в цій публікації будемо в подальшому називати такий метод методом біологічного конвеєра закритого типу. В загальному вигляді схема біоконвеєра закритого типу може бути представлена у вигляді (рис.2).

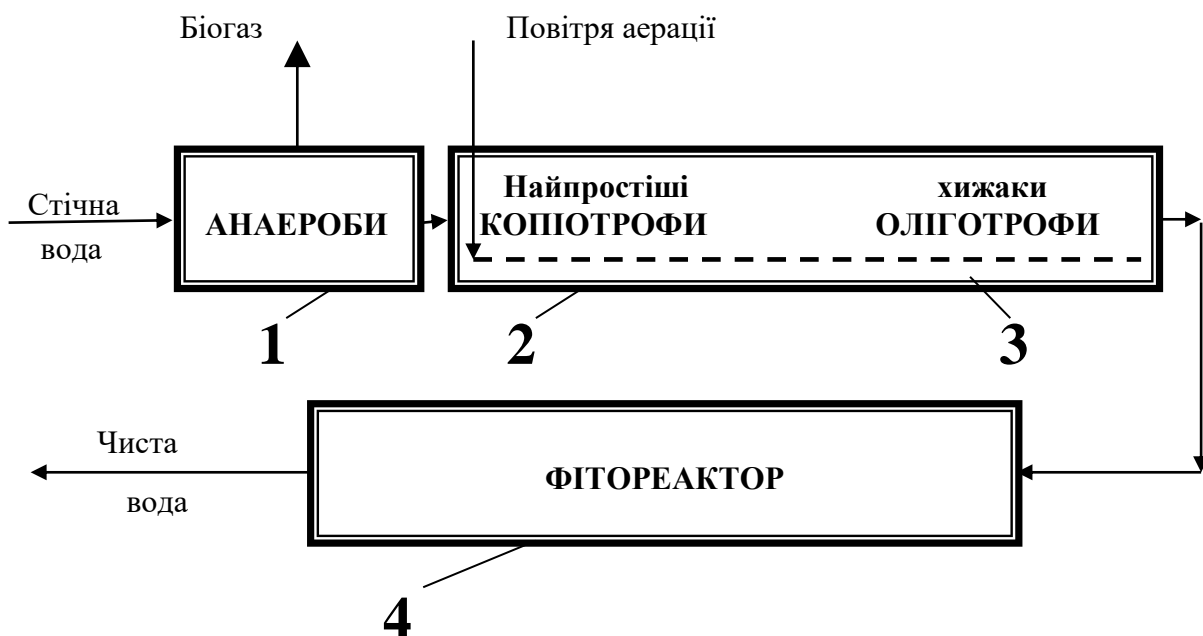


Рис.2. Принципова схема біоконвеєра закритого типу:

- 1 – зона анаеробного біореактора, 2 – зона аеробного біореактора,
3 – зона зоореактора, 4 – зона фітореактора.

На нашу думку організація трофічного ланцюга для біоконвеєра не є цілком оправданою. Зона біореактора, головним завданням якої є утилізація надлишкової біомаси (яка є цінною сировиною для виробництва біогазу), практично не бере участі в очищенні стічної води. Слід зауважити, що за всіх намагань авторам не вдалось досягти повної утилізації біомаси всередині закритої системи. Поза увагою залишилась зона фітореактора, звідки надлишкова біомаса повинна відводитись і утилізуватись.

Окрім того, для всіх зон автори пропонують використовувати для іммобілізації гідробіонту один тип носія, який вони вважають за універсальний і оптимальний. Це носій типу ВІЯ (волокнистий носій вієподібного вигляду, «вії» якого складаються із капронового текстурованого джгутового волокна). Без сумніву такий носій має значну площу масообміну, на якій і проходить іммобілізація гідробіонту. Але вважати його універсальним на нашу думку надто сміливо, хоча б тому, що універсальних рішень не існує в принципі.

Нами пропонується для використання з ціллю очищення забруднених водних середовищ схема «розімкнутого біологічного конвеєра». Головною відмінністю пропонованої схеми є відсутність трофічного ланцюга і організований примусовий вивід надлишкової біомаси на стадію її утилізації. Принципова схема розімкнутого біологічного конвеєра приведена на рис.3.

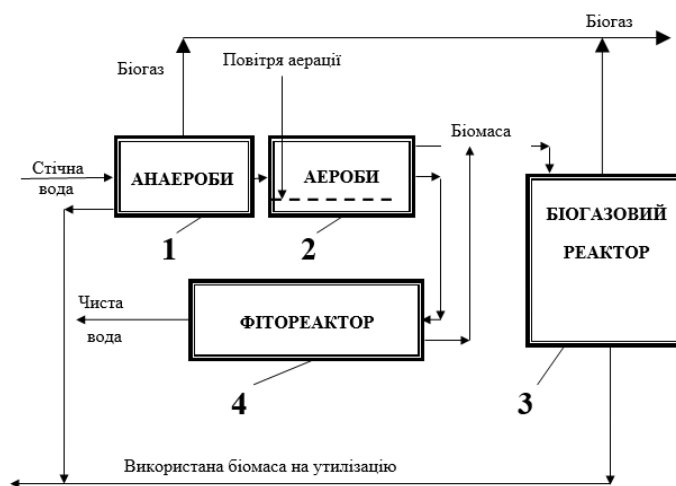


Рис.3. Принципова схема розімкнутого біологічного конвеєра:

1 – зона анаеробного біореактора, 2 – зона аеробного біореактора,

3 – зона біогазового реактора, 4 – зона фітореактора

Приведена на рис 3 загальна схема розімкнутого біоконвеєра може адаптуватись до конкретних умов очищення. Повинні враховуватись доступна площа для розміщення установки та фізико-хімічної характеристики стоків, які підлягають очищенню. В загальному ж ми вважаємо що доцільною є за можливості відмова від анаеробної зони, яка є достатньо чутливою і вимагає підтримання жорстких умов очищення. Доцільним також є розширення за можливості зони фітореактора і компонування її більш широким спектром гідро біонтів. Ефективність застосування для очищення гідробіонтів доведена дослідженнями ряду науковців, опис яких приведений вище (водоростей, водоплавних рослин, рослин штучних водно-болотних угідь). Щодо біогазового реактора, то необхідним є проведення додаткових досліджень з ціллю встановлення оптимальних умов когенерації біогазу із використанням як сировини композиції із різних видів біомаси. Нами проводились дослідження щодо особливостей метаногенезу із ціанобактерій (Malovanyu, Nikiforov, Kharlamova & Synelnikov, 2016; Nykyforov, Malovanyu, Kozlovska, Novokhatko & Digtiar, 2016). Результати досліджень можуть бути використані для встановлення оптимальних умов роботи біогазового реактора в умовах змінного складу сировини.

Щодо носія, на якому іммобілізуються гідробіонти, то ми вважаємо що для ряду випадків (особливо в умовах очищення потоку) застосування носія типу ВІЯ буде оправданим і оптимальним. Але для кожного конкретного випадку очищення оптимальний тип носія повинен визначатись на основі техніко-економічного аналізу за результатами окремих досліджень. Адже не у всіх випадках облаштування реактора носієм типу ВІЯ (наприклад у аерованих лагунах, де очищається фільтрат сміттєзвалищ) є технічно простим і технологічно оправданим рішенням.

Областю використання відпрацьованої біомаси після реактора біогазу може бути створення штучних ґрунтових сумішей та органічних чи органо-мінеральних добрив. Ці добрива можуть застосовуватись в сільськогосподарських цілях (за умов відсутності в їх складі важких металів та

токсичних елементів), або в цілях біологічної рекультивації відпрацьованих сміттєзвалищ та порушених гірничохімічними підприємствами земель.

Як вказувалось вище, важливою екологічною проблемою для України є очищення накопичених у збірниках фільтратів сміттєзвалищ. Для такої цілі на нашу думку раціонально використовувати 3-х стадійний відкритий біологічний конвеєр. Він повинен складатись із аерованої лагуни, водойми із водоплавними рослинами (мабуть найкраще використовувати *Eichornia crassipes*), населеної консорціумом водоростей згідно рекомендацій (Dogaris Ioannis et al., 2020) і штучно організованих водно-болотних угідь на 3 стадії очищення. Для пропонованої системи повинен бути організованим систематичний відбір біомаси і подача її у реактор біогазу. Отриманий біогаз доцільно відводити у систему дегазації сміттєзвалища, а відпрацьовану біомасу використовувати для біологічної рекультивації закритих карт сміттєзвалища.

Встановлення і експлуатація в аерованій лагуні носіїв типу ВІА ускладнене технічно. Тому нами проводились лабораторні дослідження залежності ефективності очищення фільтрату від внесення в систему насадкових тіл для іммобілізації на них біоценозу. Дослідження проводились згідно описаної вище методики, результати досліджень приведені на рис.4.

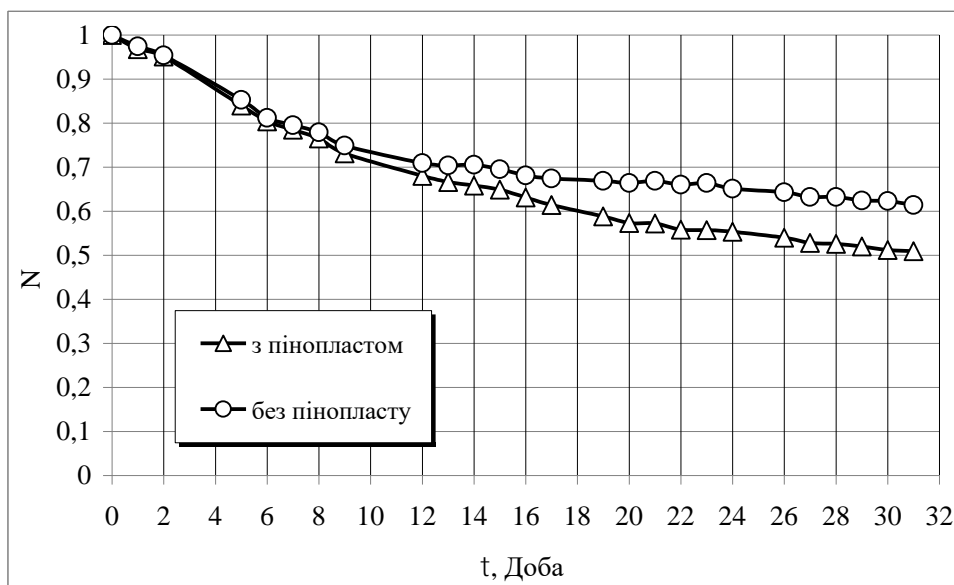


Рис. 4. Кінетика зміни відносної концентрації амонійного азоту в інфільтраті від додавання носіїв для іммобілізації біоценозу.

Як свідчать представлені на рис. 4. результати, до 12 діб реалізації процесу відносна концентрація амонійного азоту за обох варіантів його реалізації практично не відрізняється. Проте починаючи із 12 доби і до закінчення спостережень (31 доба реалізації процесу) зменшення відносної концентрації амонійного азоту більше у реакторі де присутні насадкові тіла. На нашу думку це може бути пов'язано із способом іммобілізації біоценозую У випадку вмісту в системі насадкових тіл він інактивується у вигляді біоплівки на цих тілах і відповідно поверхня масообміну та інтенсивність окиснення забруднення у цьому випадку зростає.

Відставання у окисненні забруднення в системі без насадкових тіл досить незначне. Для 31 доби реалізації процесу воно складає 0,1. Можна допустити, що в умовах лабораторної установки спосіб іммобілізації біоценозу не створює вирішального значення на динаміку очищення інфільтрату. Проте слід очікувати, що в натурних умовах аерованої лагуни іммобілізація біоценозу на носіях у вигляді біоплівки повинна значно інтенсифікувати процес, сприяти технологічності його реалізації. Особливо корисне застосування носіїв для іммобілізації біоценозу у випадку виносу його частини із очищеним інфільтратом із геореактора – аерованої лагуни. особливо коли після стадії аерації застосовують ще й стадію фітоочищення.

Висновки

1. Запропонована концепція біологічного конвеєра відкритого типу для очищення забруднених стічних вод. Він характеризується організованим періодичним відбором біомаси, що використовується для виробництва біогазу.

2. Приведена типова схема біоконвейєра відкритого типу, яка складається із зони анаеробного біореактора, зони аеробного біореактора, зони біогазового реактора та зони фітореактора.

3. Розроблена раціональна схема компонування 3-х стадійного біологічного конвеєра відкритого типу для очищення фільтратів сміттєзвалищ.

В цю схему входить аерована лагуна, водойма із водоплавними рослинами, населена консорціумом водоростей та штучно організовані водно-болотні угіддя. Як водоплавні рослини запропоновано використовувати *Eichornia crassipes*. Необхідною умовою практичного впровадження схеми є систематичний відбір біомаси і подача її у реактор біогазу. Отриманий біогаз доцільно відводити у систему дегазації сміттєзвалища, а відпрацьовану біомасу використовувати для біологічної рекультивації закритих карт сміттєзвалища.

4. Проведені лабораторні дослідження з ціллю встановлення ефективності використання насадки для іммобілізації мікробіоценозу в аерованих лагунах, які використовуються для очищення фільтрату сміттєзвалищ. Встановлено, що в лабораторних умовах на установці, яка моделює аеровану лагуну із внесеними носіями для іммобілізації мікробіоценозу, вдається досягти 50% очищення фільтрату від амонійного азоту на 31 добу очищення. Без носіїв цей показник складає 40%. Очікується, що в натурних умовах аерованої лагуни ефективність застосування носіїв збільшиться.

Список літератури

- Chugai, A., & Bazyka, Y. (2019). Analysis of technogenic load on the air basin of industrial and urban agglomerations in Ukraine *Environmental problems. V.4. №. 3*, 135-142.
- Dogaris, I., Ammar, E., & Philippidis, G. P. (2020). Prospects of integrating algae technologies into landfill leachate treatment. *World Journal of Microbiology and Biotechnology. № 36:39*, 25.
- Dushkyn, S. S., Kovalenko, A. N., Dehtyar, M. V., & Shevchenko, T. A. (2011). *Resursoberehayushchye tekhnolohyy ochystky stochnkh vod*. Kharkiv.
- Dzhamalova, G. A. (2015). Matematicheskoe planirovanie emissii biogaza i filtrata v protsesse intensivnogo anaerobnogo razlozheniya tverdyih byitovyih othodov v bioreaktore *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. № 2-2*. 44-50.

- Flyurik, E., Abramovich, O., & Zmitrovich, A. (2014). Ispolzovanie *Eichornia crassipes* dlya ochistki stochnyih vod i polucheniya kormovoy dobavki *Trudyi BGTU. № 4*. 155-160.
- Gao, J., et al. (2015). The Present Status of Landfill Leachate Treatment and Its Development Trend from a Technological Point of View № 14. 93-122.
- Gomez, E., Rani, D. A., Cheeseman, C. R., Deegan, D, Wise, M., & Boccaccini, A. R. (2009). Thermal plasma technology for the treatment of wastes *Journal of Hazardous Materials. № 161*. 614 - 626.
- Govahi, S., & Karimi-Jashni, A. (2012). Derakhshan M. Reatability of landfill leachate by combined upflow anaerobic sludge blanket reactor and aerated lagoon *International Journal of Environmental Science and Technology. № 9*. 145–151.
- Gvozdyak, P. (2003). Za pryntsyom biokonveiera (Biotekhnolohiia okhorony dovkillia) *Visnyk NAN Ukrainy. № 3*. 29-36.
- Gvozdyak, P. I. (2015). Biokonveier v ozhyvlenni «mertvoi vody» v stavku - nakopychuvachi toksychnykh promyslovykh stokiv *Chysta voda. Fundamentalni, prykladni ta promyslovi aspekty: III Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia*. (pp. 72-73).
- Iurchenko, V., Lebedeva, E., & Brigada, E. (2016). Environmental Safety of the Sewage Disposal by the Sewerage Pipelines. *Procedia Engineering. № 134*. 181-186.
- Jozwiakowski, K., Bugajski, P., Kurek, K., Caceres, R., Siwiec, T., Jucherski, A., Czekala W., & Kozłowski K. (2020). Technological reliability of pollutant removal in different seasons in one-stage constructed wetland system with horizontal flow operating in the moderate climate. *Separation and Purification Technology. № 238*. 1-23.
- Krupiei, K. S., Skokova, A. O., Rylskyi, O. F., Dombrovskyi, K. O., & Hvozdiak, P. (2014). I. Ochystka stichnykh vod zavodu AT Motor Sich mikroorhanizmy,

immobilizovanymy na shtuchnykh nosiakh. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*. V.19. №2. 224-236.

- Lapan, O., Mikhyeyev, O., Madzhd, S., Dmytrukha, T., Cherniak, L., & Petrusenko, V. (2018). Water Purification from Ions of Cadmium (II) Using a Bio-Plateau. *Journal of Ecological Engineering*. V.20. № 11. 29–34.
- Loboichenko, V., Andronov, V., Strelec, V. (2018). Evaluation of the metrological characteristics of Natural and treated waters with stable salt composition identification method. *Indian Journal of Environmental Protection*. V.38. №9. 724 -732.
- Malovanyy, M., Ilyash, O., Povzun, O., Stepanets, O., Serga, T., Gubar, O., & Serdyuk, V. (2020). Environmental and resource evaluation of smelter slag. *Environmental problems*. V.5. № 1. 19-29.
- Malovanyy, M., Moroz, O., Hnatush, S., Maslovska, O., Zhuk, V., Petrushka, I., Nykyforov, V., & Sereda, A. (2019). Perspective Technologies of the Treatment of the Wastewaters with High Content of Organic Pollutants and Ammoniacal Nitrogen. *Journal of Ecological Engineering*. № 20(2). 8-15.
- Malovanyy, M., Nikiforov, V., Kharlamova, O., & Synelnikov, O. (2016). Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass. *Chemistry & Chemical Technology*. V.10. № 2. 251-254.
- Malovanyy, M., Zhuk, V., Sliusar, V., Sereda, A. (2018). Two stage treatment of solid waste leachates in aerated lagoons and at municipal wastewater treatment plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 1(10). 23-30.
- Malovanyy, M., Shandrovykh, V., Malovanyy, A., & Polyuzhyn, I. (2016). Comparative Analysis of the Effectiveness of Regulation of Aeration Depending on the Quantitative Characteristics of Treated Sewage Water *Journal of Chemistry*. Article ID 6874806. 9
- Marzec, M., Józwiakowski, K., Debska, A., Gizinska-Górna, M., Pytka-Woszczyło, A., Kowalczyk-Jusko, A., & Listosz, A. (2018). The Efficiency and Reliability

of Pollutant Removal in a Hybrid Constructed Wetland with Common Reed, Manna Grass, and Virginia Mallow. *Water*. № 10. 1445.

Mashal, A., Abu-Daherieh, J., & Graham, W. (2012). Landfill leachate treatment using plasma-Fenton's process. *Sixth Jordan International Chemical Engineering Conference*, (pp. 256-259).

Nykyforov V., Malovanyy M., Kozlovska T., Novokhatko O., & Digtiar S. (2016). The biotechnological ways of blue-green algae complex processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 5(10). 11-18.

Payandeh, P. E., Naser, M., & Parisa, D. (2017). Study of Biological Methods in Landfill Leachate Treatment. *Open Journal of Ecology*. №7. 568-580.

Pobereznyi, L., Poberezhna, L., Maruschak, P. O., & Panin, S. V. (2017). Assessment of Potential Environmental Risks from Saline Soils Subsidence. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. № 50(1). (pp. 1-7).

Popovych, N. P., Malovanyi, M. S., & Popovych, V. V. (2018). Pidvyshchennia rehionalnoi ekolohichnoi bezpeky shliakhom udoskonalennia lohistychnoi systemy povodzhennia z vidkhodamy. *Ekolohichni nauky*. № 1(20.2). 11-14.

Popovych, V., Stepova, K., & Prydatko, O. (2018). Environmental hazard of Novoyavorivsk municipal landfill. *MATEC: Web of Conferences*. 247, 00025. FESE 2018.

Popovych, V., Telak, J., Telak, O., Malovanyy, M., Yakovchuk, R., & Popovych, N. (2020). Migration of Hazardous Components of Municipal Landfill Leachates into the Environment. *Journal of Ecological Engineering*. V.21. № 1. 52–62.

Rai, U. N., Tripathi, R. D., Singh, N. K., Upadhyay, A. K., Dwivedi, S., Shukla, M. K., Mallick, S, Singh, S. N., & Nautiyal, C. S. (2013). *Constructed wetland as an ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river*. Bioresour. Technol.

Safranov, T., Shanina, T., Prykhodko, V., & Shynkarenko, M. (2018). Principles of justification of regional programmes of municipal solid waste treatment. *Environmental problems*. V.3. № 4. 224-229.

- Sakalova, H., Malovanyy, M., Vasylynych, T., & Kryklyvyi, R. (2019). The Research of Ammonium Concentrations in City Stocks and Further Sedimentation of Ion-Exchange Concentrate. *Journal of Ecological Engineering*. V.20. № 1. 158-164.
- Sardi Saavedra, A., Madera Parra, C., Peca, E. J, & Ceryn, V. A. (2018). Mosquera JGrupos funcionales fitoplanctynicos en una laguna algal de alta tasa usada para la biorremediaciyn de lixiviados de rellenos sanitarios. *Acta Biolyg Colombiana*. № 23. 295–303.
- Sniffen, K. D., Sales, C. M., & Olson, M. S. (2018). Nitrogen removal from raw landfill leachate by an algae–bacteria consortium. *Water Sci Technol*. № 73. 479–485.
- Soloviy, C., & Malovanyy, M. (2019). Freshwater ecosystem macrophytes and microphytes: development, environmental problems, usage as raw material. Review. *Environmental Problems*. V.4. № 3. 115-124.
- Soloviy, C., Malovanyy, M., Nykyforov, V., & Dihtyar, S. (2020). Critical analysis of biotechnologies on using resource potential of hydrobionts. *Journal of water and land development*. № 44 (1–3). 143–150.
- Villamagna, A. M., & Murphy, B. R. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*. № 55. 282–298.
- Yavorskyi, A. V., Karpash, M. O., Zhovtulia, L. Y., Poberezhny, L. Y., Maruschak, P. O., & Prentkovskis, O. (2015). Risk management of a safe operation of engineering structures in the oil and gas sector. *20th International Conference «Transport Means»*. (pp. 370-373).
- Zelenko, Y., Malovanyy, M., & Tarasova, L. (2019). Optimization of heat-and-power plants water purification. *Chemistry & Chemical Technology*. V.13. № 2. 18–223.

ПЕРЕРОБКА ОРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ МЕТОДОМ КОМПОСТУВАННЯ

Сторощук У.З., Національний університет «Львівська політехніка», аспірант
кафедри ЕЗП, Україна

Мальований М.С., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н.,
професор, завідувач кафедри ЕЗП, Україна

Тимчук І.С., Національний університет «Львівська політехніка», к.с.-г.н., доцент
кафедри ЕЗП, Україна

Abstract

Management of municipal solid waste (MSW) is a worldwide problem and is becoming increasingly important due to population growth, urbanization, industrialization, and changes in our way of life. MSW is an inevitable by-product of human activity. Currently, most of the generated waste in Ukraine is taken to landfills, as a result huge areas of land are occupied by solid waste. Approximately 40-50% of municipal solid waste is organic, so the removal of this part of waste from landfills through composting and conversion of waste into secondary material resources will significantly reduce the environmental load on existing and potentially planned landfills. Inadequate management of organic waste can contribute to the spread of disease and adversely affect the environment. Restoration of resources by composting is one of the best methods of processing nutrient-rich organic waste. Therefore, the choice of promising technologies for the disposal of organic waste is one of the main tasks to ensure environmental safety.

Вступ

Правильне поводження з відходами, що утворюються в результаті життєдіяльності людини, є однією з найважливіших проблем. Відсутність відповідних територій та висока вартість обробки відходів переконує багато громад проводити політику комплексного управління відходами, включати такі

заходи, як скорочення джерел утворення відходів, повторне використання, біологічна переробка та остаточне захоронення на сміттєзвалищі. Проблема стає ще більш серйозною у міських районах, оскільки неправильне управління викликає пошкодження ґрунту, води та навколишнього середовища, що створює ризики для здоров'я населення.

Стале поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) розглядається як один з ключових елементів досягнення міської стійкості за рахунок пом'якшення глобальних змін клімату, переробки ресурсів та відновлення енергії. Системи поводження з відходами, засновані на зборі відходів та транспортуванні їх до місць захоронення, застаріли. Через незадовільний сучасний стан, а саме перезавантаженість, невідповідність нормам безпеки, відсутність відповідних паспортів - полігон вважається найменш переважним методом захоронення, адже накопичення відходів на полігонах та звалищах підвищує забруднення атмосфери; токсичні речовини потрапляючи у ґрунт, забруднюють його, і, включаючись у природні колообіги, просочуються у підземні та ґрунтові води, створюючи значну небезпеку для споживачів питної води, тобто порушується функціонування екосистеми; завдається шкода сільському господарству та будівництву (оскільки супроводжується вивід земельних ділянок з господарського обігу).

Отже, в умовах постійного погіршення стану сміттєзвалищ, управління твердими побутовими відходами та впровадження і вдосконалення існуючих технологій утилізації органічних відходів в Україні залишається одним з найактуальніших завдань. Тому вилучення цієї частини відходів, а це приблизно 40 - 50 % зі звалищ через компостування та перетворення відходів на вторинний матеріальний ресурс суттєво зменшить екологічне навантаження на звалища.

Отже, постає **науково-прикладна проблема** створення нових і удосконалення існуючих екологічно безпечних технологій утилізації

органічних відходів, що забезпечить раціональне використання наявних відновлюваних ресурсів.

Метою дослідження є аналіз біологічного методу утилізації органічних відходів, з попереднім сортуванням, як одного з перспективних та раціональних методів вирішення проблеми забруднення довкілля відходами.

Об'єктом дослідження є органічні відходи, які утворюються і накопичуються в результаті життєдіяльності людини.

Виклад основного матеріалу

Необхідно створити збалансовану систему поводження з відходами, визначити довгострокові стратегічні пріоритети, які дозволять поєднати екологічну ефективність і раціональне споживання матеріальних та енергетичних ресурсів. Тому політика ЄС у сфері поводження з ТПВ спрямована не на запобігання утворенню відходів, а на побудову максимально екологічно безпечної системи поводження з їх потоками. У Директиві № 2008/98/ЄС зазначено, що під час вибору методів поводження з ТПВ насамперед слід керуватися принципами екологічної безпеки та економічної ефективності. Усі методи поводження з відходами представлено у вигляді так званих «сходів Лансінка» (Рис. 1) (Войціховська, Кравченко, Мелень-Забрамна, & Панькевич, 2019).

Методи поводження з ТПВ



Рис. 1. Методи поводження з відходами

Найбільша перевага віддається запобіганню утворенню відходів. Серед способів переробки найвищий пріоритет має повторне використання відходів, оскільки його негативний вплив на навколишнє середовище є мінімальним (як приклад можна навести повторне використання склотари), а найменший — захоронення відходів на звалищах і полігонах. Спалювання відходів та їх переробка на вторинні матеріали й енергію посідають проміжне положення в ієрархії. Передбачається, що паралельно з розвитком системи поводження з відходами відбуватиметься поступовий рух догори «сходами», тобто почнуть переважати більш екологічні методи поводження з відходами. З огляду на необхідність підвищення рівня переробки відходів, у країнах ЄС пріоритет надається методам, які зводять до мінімуму чисті втрати матеріалів та енергії (Войціховська та ін., 2019).

Належне поводження із органічними відходами полягає в їхньому компостуванні для отримання добрива — компосту. Окремий збір таких відходів є важливим, оскільки такі відходи можуть складати від 40 до 50% від загального обсягу. Важливо, щоб відходи розглядалися як ресурс та здійснювалось правильне управління ними, а саме: зменшення джерел утворення, сортування, переробка, компостування, спалювання, сміттєзвалище та просто захоронення. Найбільш науково і технічно розвинені країни світу вже успішно використовують сучасні технології для зменшення навантаження ТПВ на довкілля та максимально ефективно їх утилізують.

Управління ТПВ повинно бути не тільки екологічно стійким, але й економічно ефективним та соціально прийнятним. В країнах Європейського Союзу перехід до кругової економіки в поводженні з відходами здійснюється на національному рівні. На відміну від лінійної економіки, узагальненої як "забирати, виробляти, споживати та утилізувати", кругова економіка визначається як така, в якій відходи – цінний ресурс, тобто те, що раніше вважалося "відходами", може бути перетворене на цінний ресурс). У цьому контексті ЄС закликає перетворити поводження з відходами в стале управління

матеріальними ресурсами, що втілює принципи кругової економіки, посилює розповсюдження відновлюваної енергії, підвищує енергоефективність, тобто зменшує залежність Союзу від імпорتنих ресурсів та забезпечує економічні можливості і довгострокову конкурентоспроможність (European Parliament, 2017). Перехід до економіки замкнутого циклу вимагає змін у шкалі цінностей, від дизайну продукту до нових бізнес та ринкових моделей, від нових шляхів перетворення відходів в ресурси до нових моделей поведінки споживачів. Мається на увазі повна зміна системи та інновації не тільки у технологіях, але і у логістиці, суспільстві, фінансах та політиці (European Commission, 2015). ЄС вважає, що країни, які розробили ефективні системи управління муніципальними відходами, як правило, краще працюють в цілому в поводженні з відходами (European Commission, 275, 2015).

Дуже важливо в поводженні з відходами на побутовому рівні є сортування; відсортовані відходи можна утилізувати, застосовуючи окремі технології. Практика показує, що у разі роздільного збирання відходів із загальної їх кількості можна вилучити до 70—80 % корисних ресурсів, а за відсутності сортування — не більше 15 %. Однак найефективніше роздільне збирання відходів можливе за місцем їх утворення, тобто для побутових відходів — це сортування самим населенням (Іщенко та Турчик, 2012). Сортування відходів таким чином, зменшує вдвічі кількість відходів, які необхідно вивезти на переробні або сміттєспалювальні установки або на сміттєзвалища. Отриманий твердий органічний матеріал може бути використаний у подальших процесах споживачем (Jouhara et al., 2017).

У зв'язку із загостренням екологічних проблем, актуальними є питання щодо визначення перспективних напрямів утилізації органічних відходів, а саме вивчення перспектив біологічної переробки органічних відходів із отриманням корисних продуктів – компосту та біогазу.

Процес компостування належить до біологічних методів утилізації ТВП. Біологічні методи передбачають розкладання органічної частини ТПВ живими

мікробами, які використовують біорозкладні органічні речовини, як джерело їжі для росту та розмноження. У міру росту та відтворення мікробів значна частина цих поживних речовин перетворюється на тепло, вуглецеві гази та воду. Це призводить до великої втрати ваги під час процесу. Існує два основних типи середовищ (аеробне і анаеробне), в яких живуть такі мікроби. Біологічними методами можна обробляти або механічно відокремлені органічні відходи із змішаних ТПВ, або з сортованих джерел, які забезпечують більш чистий органічний потік. Харчові та зелені відходи є підходящою сировиною для цих технологій. Також можуть бути оброблені інші біологічно розкладні матеріали, такі як папір, картон та садово – паркові культури. Однак розкладання потребує більш тривалого часу (Jouhara at al., 2017).

Компостування

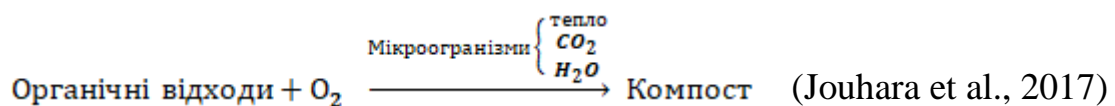
Компостування – це спосіб дезінфекції побутових, сільськогосподарських та деяких промислових твердих відходів, заснований на розкладанні органічних речовин мікроорганізмами. Кінцевий продукт - це гігієнічно чиста нетоксична гумусна речовина, яка успішно використовується насамперед як стимулююча регенерація ґрунтових екосистем, по-друге, як органічне добриво, підвищує родючість ґрунту (Sagdeeva, Krusir, Tsykalo, Shpyrko & Leuenberger, 2018).

Процес компостування поділяється на два типи у залежності від природи процесу біологічної декомпозиції органічної речовини: анаеробне компостування і аеробне компостування. Процес анаеробного компостування відбувається при відсутності кисню, або при обмеженому його надходженні в компостну суміш. Цей метод характеризується домінуванням анаеробних мікроорганізмів і відповідним вивільненням (утворенням) проміжних сполук, включаючи метан, органічні кислоти, сірководень та інші сполуки і компоненти. За відсутністю кисню ці сполуки накопичуються і не піддаються подальшому перетворенню при обміні речовин. Деякі з них мають неприємний

запах та негативний фітотоксичний вплив на рослини. До переваг слід віднести мінімізацію експлуатаційних витрат та менші втрати поживних речовин.

Процес аеробного компостування відбувається за наявності достатньої кількості кисню. Розпад органіки супроводжується розкладом органічних сполук з вивільненням вуглекислого газу, аміаку, води теплової енергії і утворення стійких кінцевих продуктів (компосту) з властивостями близькими до гумусу. Вивільнене тепло прискорює розпад білків, жирів і комплексних вуглеводів (целюлози, геміцелюлози) з відповідним скороченням процесу в цілому. Контрольовані високотемпературні процеси забезпечують позбавлення схожості насіння бур'янів та знезараження патогенної мікрофлори. Не дивлячись на більш високі втрати поживних елементів цей процес більш ефективний з точки зору використання компосту в рослинництві і отриманні екологічно безпечної продукції за рахунок передбачуваних і планованих агротехнічних властивостей (Павленко, Ляшенко, Лисенко & Харитонов, 2011).

Мікроорганізми, такі як бактерії, гриби та найпростіші, беруть участь у процесі біологічного розкладання. Розкладання включає два етапи біохімічних перетворень, а саме мінералізацію та гуміфікацію. Під час мінералізації легко зброджуються органічні речовини, такі як вуглеводи (цукри) та амінокислоти деградує метаболічна активність мікроорганізмів, виробляючи тепло, вуглекислий газ і воду. Мінералізація призводить до частково стабілізованого органічного залишку. Типовими шляхами біохімічної реакції, що виникають під час мінералізації, є:



Аеробне компостування - одна з найкращих технологій для інтегрованої системи поводження з відходами завдяки антропогенному впливу на навколишнє середовище якнайменше, відповідно до останніх національних та зарубіжних розробок, доступній та практичній технології.

На жаль, компостування не настільки популярне, як інші методи утилізації відходів через низку таких недоліків, як довгий виробничий цикл, а

іноді і нестабільна якість одержуваного продукту. Через це багато досліджень переробки ТПВ присвячені методам прискорення процесу компостування. Цього можна досягти різними способами, такими як розробка високоефективних компостних пристроїв та зміна біотичних параметрів процесу (вермикомпост, використання спеціалізованих культур та біоценозів мікроорганізмів) або абіотичних (температура, рН тощо) (Sagdeeva et al., 2018).

Результати та їх обговорення

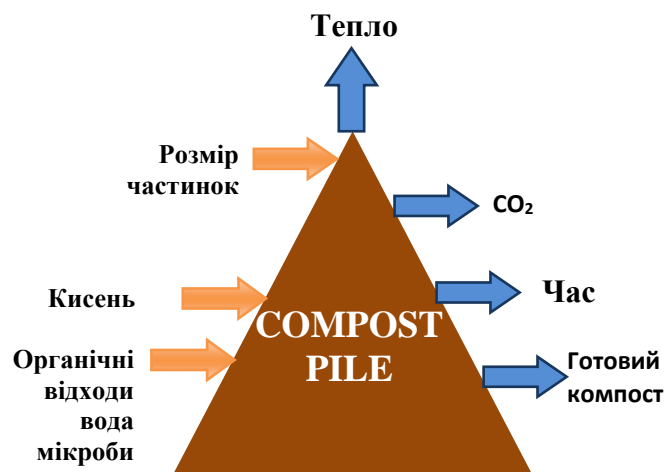


Рис. 2. Компоненти процесу компостування (Rastogi et al., 2020).

Контроль таких параметрів, як рН, насипна щільність, температура, пористість, вміст поживних речовин, співвідношення С / N, розмір частинок, волога та подача кисню мають вирішальне значення для отримання точного уявлення про бажані оптимальні умови процесу (рис. 2) (Rastogi, Nandal & Khosla, 2020). Для компостування необхідним є забезпечення двох компонентів: вмісту в сировині вуглецю та азоту. Мікроорганізми використовують вуглець як джерело енергії та азот для синтезу білка. Співвідношення С:N для забезпечення ефективного розкладання приблизно 30 частин вуглецю на 1 частину азоту по масі. Форма і розмір частинок – є важливим фактором для оцінки експлуатаційних витрат процесу. Відповідний розмір частинок можна досягти подрібненням відходів на більш дрібніші

частинки (Wang and Ai, 2016). Розмір частинок у компостній масі забезпечує рівень пористості, відповідну аерацію та регулює обмін газу / води, тому бажано, щоб розмір матеріалу був невеликий (5–20 см), для полегшення доступу мікроорганізмів до органічної речовини (Zhang and Sun, 2016).

Одним з важливих факторів є температура, так як більшість мікроорганізмів гине, якщо температура вище +55 °С, проте деякі з них витримують високі температури і навіть висушування. За температурними діапазонами мікроорганізми поділяються на мезофіли, психрофіли та термофіли. Для психрофілів оптимальними температурами є нижчі за +20 °С, для мезофілів — від +20 до +40 °С і термофілів — вище +40 °С . Тому процес компостування зручно розділяти на стадії згідно з температурним режимом (Zhang and Sun, 2016).

Мезофільна стадія. На початку компостування температура в субстраті перебуває на рівні показників навколишнього середовища. Мікроорганізми, що домінують у вихідному субстраті, починають швидко розмножуватися, а температура зростає до +40 °С. За рахунок виділення мікроорганізмами органічних кислот відбувається підкислення середовища.

Термофільна стадія (стадія розпаду). За цієї стадії відбувається зростання температури вище +40 °С, що спричиняє відмирання мезофілів і домінування термофільних мікроорганізмів. При досягненні температури +60–70 °С відбувається зменшення чисельності грибів-деструкторів целюлози і лігніну. Натомість, процес компостування починає здійснюватися бацилярними формами бактерій. Іноді температура всередині бурта (гряди) за рахунок хімічних процесів може сягати +90 °С, при цьому ріст мікроорганізмів інгібується. За таких умов відбувається розпад білків, який супроводжується виділенням аміаку і тому встановлюється лужне рН середовища. У ході термофільної стадії найшвидше розкладаються цукри, крохмаль, жири, білки, після чого починають трансформуватися складніші сполуки. При цьому інтенсивно виділяється метан, аміак, вуглекислий газ. Тривалість стадії залежить від багатьох параметрів (виду гною, ступеню подрібненості,

вологості, аерації, температури навколишнього середовища і т. д.) і коливається від 1 до 2 тижнів.

Стадія затухання. Температура знижується до рівня навколишнього середовища. За цієї стадії відбувається зниження рН. Розвиваються гриби і актиноміцети, що розкладають полісахариди, геміцелюлозу і целюлозу до моносахаридів, які можуть бути використані іншими мікроорганізмами (Гаценко, 2014).

Стадія дозрівання. Під час цієї стадії проходять складні процеси трансформації лігніну, а також білків відмерлих мікроорганізмів, що забезпечує синтез гумінових кислот. Тривалість кожної із стадій компостування є різною. Перші три стадії (мезофільна, термофільна і стадія затухання) проходять швидко, заключна стадія — дозрівання, може тривати кілька місяців. Отже, мікроорганізми на всіх стадіях компостування забезпечують ферментацію органічної речовини. Взагалі в компостуванні бере участь більше 2000 видів бактерій і не менше 50 видів грибів. Тому мікробіоту компосту можна вважати визначальною у ферментації органічної речовини і отриманні кінцевого продукту (Гаценко, 2014).

Період компостування може бути значно скорочено, якщо суміш, яка компостується, нагріта штучно з метою підтримання необхідних умов для росту термофілів. Однак, підігрівання супроводжується значними енергозатратами, а отже, додатковим навантаженням на компоненти довкілля, тому відмова від мезофільного режиму компостування не є раціональним еколого-економічним рішенням (Xiao, Zeng & Yang, 2009).

Оскільки компостування - це аеробний процес, тому слід підтримувати належну вентиляцію, щоб забезпечити дихання мікроорганізмів, які виділяють вуглекислий газ в атмосферу, таким чином аерація компостування необхідна для ефективного розкладання. Аерація, доповнена за рахунок подачі O_2 , є важливим аспектом, який забезпечує кисень переважно для мікробіологічних процесів, контролю температури, оптимізації вологи та видалення надлишкового вуглекислого газу. Для бажаного компостування необхідна

концентрація кисню в межах від 15 до 20% (Latifah, Ahmed, Susilawati & Majid, 2015). Надмірна аерація спричинить зниження температури та велику втрату вологи випаровуванням, внаслідок чого процес розкладання припиниться. З іншого боку, низька аерація перешкоджає достатньому випаровуванню води, генеруючи зайву вологу та анаеробне середовище (Jouhara et al., 2017).

Мікроорганізми працюють найшвидше, коли на поверхні компостних матеріалів присутні тонкі рідкі плівки. Оптимальне розкладання відбувається, коли вміст вологи становить близько 55%.

Значення рН в суміші – також важливий показник ефективності процесу компостування. В результаті синтезу карбонових кислот значення рН суміші, яка компостується, змінюється від слабкокислих до слабколужних через утворення іонів амонію в інтервалі від 4,5 до 8,1. Як правило, ці значення тісно пов'язані з діяльністю мікроорганізмів, які приймають участь в компостуванні (Pedra, 2007). Мікроорганізми генерують тепло в процесі своєї життєдіяльності. Компостування починається при температурі навколишнього середовища, яка може зростати до 65 ° С без необхідності втручання людини. Під час фази дозрівання температура падає до температури навколишнього середовища. Бажано, щоб температура не падала занадто швидко, оскільки чим вище температура і чим довший час процесу, тим вища швидкість розкладання і досягнення гігієнічного компосту. Занадто низька температура (нижче 35 ° С) може бути спричинена недостатнім зволоженням або дефіцитом азоту в компостному матеріалі, а занадто висока температура (вище 70 ° С) може бути спричинена також недостатнім зволоженням або вентиляцією. Як занадто низькі, так і занадто високі температури викликають загибель бажаної групи мікроорганізмів (Jouhara et al., 2017).

Органічні відходи можна компостувати як індивідуально, так і на рівні територіальної громади. В результаті компостування окремо зібраної органічної частини відходів буде утворюватися чистий компост, який можна і реалізовувати населенню, і удобрювати комунальні парки, сади, теплиці та клумби. А вилучення із загального обсягу відходів органічної частини,

полегшить сортування та подальшу переробку таких відходів. У Європі під переробкою розуміють операцію з утилізації, коли відходи переробляються в продукти, матеріали або речовини для первинної чи іншої мети. Вона включає переробку органічного матеріалу, але не відновлення енергії чи переробку в матеріали, що будуть використовуватися як паливо чи заповнювачі. Тобто переробка це операція, в результаті якої відходи приносять користь, замінюючи інші матеріали, які в іншому випадку були б використані для виконання конкретної функції, або відходи приготовлені для виконання такої функції, на заводі чи для більш масштабної економіки (Войціховська та ін., 2019).

Висновки

1. Важливо, щоб при процесі створення та вдосконалення високоефективних систем поводження з ТВП, відходи розглядалися як ресурс та здійснювалось правильне управління ними.

2. Біологічні методи переробки органічних відходів є екологічно та економічно ефективними методами. Особливістю біологічних методів утилізації є те, що вони не потребують значних трудових і матеріальних витрат.

3. Просування до циклічної економіки вимагає активної участі громадськості у поводженні з відходами та попередньому сортуванні відходів в домашніх умовах

4. Переробка твердих відходів в компост – є сучасним та досконалим методом їх переробки. Основними перевагами застосування технологій компостування в обробці відходів є повернення наявних у відходах поживних речовин рослин в екосистеми, скорочення кількості відходів, одночасне корисне використання інших органічних відходів в компості.

5. Отже, в сучасних умовах метод переробки має стати важливим механізмом вирішення екологічних та економічних проблем, гострота яких нарастає більш високими темпами, ніж результативність заходів, що вживаються для їх вирішення. З огляду на це сферу переробки слід розглядати як невід'ємну складову регіональної соціально-економічної системи, що

створює передумови для підвищення еколого-економічного розвитку регіонів України.

Список літератури

- European Commission. (2015). European Commission Closing the loop -An EU action plan for the circular economy COM, p. 614 Final 2015. Retrieved from http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF.
- European Commission, 275. (2015). European Commission Proposal for a directive of the European parliament and the council amending directive 2008/98/EC on waste, vol. 275 (2015), 10.1007/s13398-014-0173-7.2 Brussels
- European Parliament. (2017). European Parliament Amendments adopted by the European parliament on 14 March 2017 on the proposal for a directive of the European parliament and of the council amending directive 2008/98/EC on waste (COM(2015)0595 – C8-0382/2015 – 2015/0275(COD)). Strasbourg.
- Jouhara, H., Czajczyńska, D., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Anguilano, L., Reynolds, A. J., & Spencer, N. (2017). Municipal waste management systems for domestic use. *Energy*. 139, 15.
- Latifah, O. H., Ahmed, K., Susilawati, N., & Majid, M. (2015). Compost maturity and nitrogen availability by co-composting of paddy husk and chicken manure amended with clinoptilolite zeolite aste *Manag. Res.*, 4. 33, 322-331
- Pedra, F. (2007). Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Soil biology and biochemistry*. Vol. 39(6). 1375–1382.
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Helion*. Volume 6, February, Issue 2
- Sagdeeva, O. A., Krusir, G. V., Tsykalo, A. L., Shpyrko, T. V., & Leuenberger, H. (2018). *Organic waste composting using mineral additives*. *Харчова наука і технологія*. Том 12. № 1. 45–52. doi: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i1.842>.

- Wang, Y., & Ai, P. (2016). Integrating particle physical geometry into composting degradation kinetics *Bioresour. Technol.*, 200 , 514-520.
- Xiao Yong, Zeng Guang–Ming, & Yang Zhao–Hui. (2009). Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 100(20), 4807–4813. doi: 10.1016/j.biortech.2009.05.013.
- Zhang L., & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Manag.*, 48 , 115-126.
- Войціховська, А. Кравченко, О. (Eds), Мелень-Забрамна О., & Панькевич, М. (2019). *Країні європейські практики управління відходами (посібник)*. Львів: «Компанія Манускрипт». Retrieved from <http://epl.org.ua/>
- Гаценко, М. В. (2014). *Компостування органічної речовини. Мікробіологічні аспекти*. Сільськогосподарська мікробіологія. Вип. 19.
- Іщенко, В. А., & Турчик, П. М. (2012). Аналіз шляхів використання світового досвіду поводження із твердими побутовими відходами в Україні. *Вісник Вінницького політехнічного інституту №2*, 25-30. Retrieved from <http://ir.lib.vntu.edu.ua/>
- Павленко, С. І., Ляшенко, О. О., Лисенко, Д. М., & Харитонов, В. І. (2011). Аналіз і обґрунтування технологічних процесів компостування сільськогосподарських органічних відходів тваринного походження. (2011). *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. (pp. 94–104). № 9(2). Retrieved from <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/172.pdf>.

РОЗДІЛ 3

ЕКОНОМІКО-УПРАВЛІНСЬКИЙ, ТУРИСТИЧНИЙ ТА ОСВІТНІ АСПЕКТИ У СИСТЕМІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК ПІДПРИЄМСТВ

Петрушка І.М., Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор, зав кафедри ЕБПД, Україна

Ємельянов О.Ю., Національний університет «Львівська політехніка», д.е.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій, Україна

Петрушка К.І., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., асистент кафедри ХІ, Україна

Гавриляк А.С., Національний університет «Львівська політехніка», к.т.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій, Україна

Петрушка Т.О., Національний університет «Львівська політехніка», к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій, Україна

Abstracts

The purpose of this study is to model the impact of resource conservation on the economic development of enterprises. The general mechanism of influence of resource saving on economic development of the enterprises is established. It is shown that the impact of resource conservation measures can be both direct (due to lower production costs) and indirect (due to increased product competitiveness). The types of economic development of enterprises according to the indicators of their resource provision are determined. The grouping of these types was based on the following characteristics: depending on the ratio between the cost of enterprise resources and the results of its activities, depending on the ratio between the cost of enterprise resources and productivity of their use, depending on the ratio between the costs incurred for the operation of certain resources activity of the enterprise. The essence and types of resource-saving economic development of enterprises are clarified. Modeling of influence of resource saving on results of activity of the

enterprises is executed. Using the proposed factor models of the amount of profit of the enterprise, it is possible to assess the impact on this value of changes in the level of use of resources of the entity. Since the growth of excess profits is one of the possible criteria for economic development of enterprises, these models provide an opportunity to measure the impact of resource conservation on the economic development of companies.

Вступ

Забезпечення економічного розвитку є одним з головних завдань, які постають як перед власниками підприємств, так і перед державними та регіональними органами влади. Вирішення цього завдання потребує активізації сукупності чинників, які обумовлюють стійке та тривале зростання економічних результатів господарської діяльності. Важливе місце серед цих чинників посідає підвищення рівня ефективності використання ресурсів підприємств на засадах реалізації заходів з ресурсозбереження. Питання пошуку резервів такого підвищення та розроблення механізмів їх реалізації розглядалися багатьма науковцями, зокрема, такими вченими, як: Амоша, Булеєв & Шевцова (2007), Андрусів & Мазур (2017), Бойчук & Остришко (2017), Бурда (2013), Іваненко (2013), Концеба & Непочатенко (2007), Lesinskyi, Yemelyanov, Zarytska, Symak & Koleshchuk (2018), Михаліцька (2013), Склярчук & Соболев (2017), Шарманська & Вітюк (2018) та ін. Серед іншого, дослідниками визначено сутність ефективності ресурсного забезпечення, запропоновано показники її оцінювання, встановлено шляхи ресурсозбереження на підприємствах тощо. Однак, питання впливу ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств на даний час розглянуто неповністю та, враховуючи його актуальність, потребує подальшого вивчення.

Метою цього дослідження є моделювання впливу ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств. Для досягнення цієї мети вирішено такі завдання: встановлено загальний механізм впливу ресурсозбереження на

економічний розвиток підприємств, визначено типи економічного розвитку підприємств за показниками їх ресурсного забезпечення; з'ясовано сутність та виділено види ресурсозберігаючого економічного розвитку підприємств; виконано моделювання впливу ресурсозбереження на результати діяльності підприємств. Послідовному вирішенню перелічених завдань підпорядкована логіка викладеного матеріалу. При цьому для розв'язання цих завдань було застосовано ряд методів наукового пізнання, зокрема, методи абстрагування, узагальнення, групування та економіко-математичного моделювання.

Загальний механізм впливу ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств

Здійснити докладну оцінку впливу заходів з ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств можливо, використовуючи індикатор надприбутку, величина якого є одним з найбільш узагальнених результатів діяльності суб'єктів господарювання. При цьому надприбуток являє собою різницю між фактичним прибутком у реалізацію інвестиційних заходів (у нашому випадку – заходів з ресурсозбереження) та добутком вкладених інвестицій на норму їх прибутковості (тобто на величину мінімально припустимого з точки зору власників підприємства співвідношення між обсягом прибутку від реалізації проектів з ресурсозбереження та величиною інвестицій у них).

Також слід відзначити той факт, що вплив заходів з ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств може бути як безпосереднім (завдяки зниженню собівартості продукції), так і опосередкованим (завдяки підвищенню конкурентоспроможності продукції). Безпосередній вплив ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств відбуватиметься за умови, якщо виконується така нерівність:

$$c \cdot (H_0 - H_1) - c_i > i_p \cdot H_i, \quad (1)$$

де $ц$ – ціна одиниці певного ресурсу, споживання якого передбачається скоротити внаслідок впровадження на підприємстві заходу (заходів) з ресурсозбереження, грошових одиниць;

H_0, H_1 – фізичні обсяги витрат цього ресурсу на одиницю продукції відповідно до та після впровадження на підприємстві заходу (заходів) з ресурсозбереження;

c_i – інші витрати, пов'язані із впровадженням на підприємстві заходу (заходів) з ресурсозбереження, у розрахунку на одиницю продукції (до цих витрат, зокрема, можуть відноситися витрати на інші види ресурси, якщо передбачається заміщення ними того ресурсу, споживання якого передбачається скоротити), грошових одиниць;

i_p – обсяги потрібних інвестицій у впровадження на підприємстві заходу (заходів) з ресурсозбереження у розрахунку на одиницю продукції, грошових одиниць;

H_i – мінімально припустима прибутковість інвестицій (якщо передбачається фінансування заходу (заходів) з ресурсозбереження за рахунок кредиту, в якості неї може обиратися ставка кредитного відсотка), частки одиниці.

Отже, за умови виконання нерівності (1) питомий надприбуток за даним видом продукції зросте. Помноживши величину цього надприбутку на базові натуральні обсяги збуту продукції, можна встановити величину безпосереднього впливу ресурсозбереження на економічний розвиток підприємства. Однак, зниження собівартості одиниці продукції внаслідок ресурсозбереження може дозволити підприємству дещо знизити ціну на цю продукцію і таким чином за рахунок цінової конкуренції збільшити свою частку на ринку збуту. Внаслідок цього величина питомого надприбутку дещо зменшиться, але при цьому на увесь фізичний обсяг продукції надприбуток зросте (рис. 1).



Рис.1. Загальний механізм впливу ресурсозбереження на економічний розвиток підприємства

Таким чином, механізм впливу ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств є достатньо складним, що обумовлено можливими змінами багатьох економічних параметрів функціонування суб'єктів господарювання у разі впровадження ними заходів з ресурсозбереження.

Типи економічного розвитку підприємств за показниками їх ресурсного забезпечення

При оцінюванні динаміки економічних результатів діяльності підприємства, зокрема обсягів виробленої ним продукції за певний проміжок часу, доцільним є зіставлення динаміки цих результатів із динамікою показників ресурсного забезпечення діяльності підприємства. До основних таких показників слід віднести обсяги виробничих ресурсів підприємства, їх продуктивність (для деяких ресурсів – продуктивність процесу їх використання) та витрати на експлуатацію (утримання) ресурсів. За таких умов

можна виокремити декілька типів динаміки економічних результатів діяльності підприємства (табл. 1):

Таблиця 1

Типи економічного розвитку підприємства за показниками його ресурсного забезпечення

Ознака групування	Типи економічного розвитку підприємства
1. Залежно від співвідношення між величиною витрат ресурсів підприємства та результатами його діяльності	1.1. Відносний ресурсозберігаючий тип розвитку
	1.2. Відносний ресурсовитратний тип розвитку
	1.3. Нейтральний тип розвитку
2. Залежно від співвідношення між величиною витрат ресурсів підприємства та продуктивністю їхнього використання	2.1. Переважно інтенсивний тип розвитку
	2.2. Переважно екстенсивний тип розвитку
	2.3. Нейтральний тип розвитку
3. Залежно від співвідношення між величиною витрат, понесеними на експлуатацію певного виду ресурсів, та результатами діяльності підприємства	3.1. Відносний витратозберігаючий тип розвитку
	3.2. Відносний витратомісткий тип розвитку
	3.3. Нейтральний тип розвитку

1) залежно від співвідношення між величиною витрат ресурсів та результатами діяльності підприємства:

– відносний ресурсозберігаючий тип розвитку, за якого темпи змін обсягів виготовленої підприємством продукції є більшими за темпи змін обсягів відповідних видів ресурсів, тобто виконується нерівність:

$$\frac{O_1}{O_0} > \frac{P_1}{P_0}, \quad (2)$$

де O_1, O_0 – обсяги виготовленої продукції у звітному та базовому періодах (у натуральних чи грошових одиницях виміру);

P_1, P_0 – обсяги певного виду ресурсів підприємства у звітному та базовому періодах;

– відносний ресурсовитратний тип розвитку, за якого темпи змін обсягів виготовленої продукції є меншими за темпи змін обсягів відповідних видів ресурсів підприємства;

– нейтральний за цією ознакою тип розвитку, за якого темпи змін обсягів виготовленої продукції дорівнюють темпам змін обсягів відповідних видів ресурсів;

2) залежно від співвідношення між величиною витрат ресурсів підприємства та продуктивністю їхнього використання:

– переважно інтенсивний тип розвитку, за якого темпи продуктивності використання ресурсів підприємства є більшими за темпи змін обсягів цих ресурсів, тобто виконується нерівність:

$$\frac{P_1}{P_0} > \frac{P_1}{P_0}, \quad (3)$$

де P_1, P_0 – продуктивність використання економічних ресурсів у звітному та базовому періодах (обчислюється як відношення обсягів виготовленої підприємством продукції до обсягу відповідного виду його ресурсів), або

$$\frac{O_1}{O_0} > \frac{P_1^2}{P_0^2}, \quad (4)$$

– переважно екстенсивний тип розвитку, за якого темпи змін продуктивності використання певного виду ресурсів підприємства є меншими за темпи змін обсягів цих ресурсів;

– нейтральний за даною ознакою тип розвитку, за якого темпи продуктивності використання певного різновиду ресурсів підприємства дорівнюють темпам змін обсягів цих ресурсів;

3) залежно від співвідношення між величиною витрат, понесених на експлуатацію ресурсів, та результатами господарської діяльності підприємства:

– відносний витратозберігаючий тип розвитку, за якого темпи змін обсягів виготовленої продукції є більшими за темпи змін величини витрат, пов'язаних із експлуатацією відповідних видів ресурсів, тобто коли виконується нерівність:

$$\frac{O_1}{O_0} > \frac{B_1}{B_0}, \quad (5)$$

де B_1, B_0 – витрати, що пов'язані із експлуатацією певного різновиду ресурсів, у звітному та базовому періодах у вартісних одиницях виміру;

– відносний витратомісткий тип розвитку, за якого темпи змін обсягів виготовленої підприємством продукції є меншими ніж темпи змін величини витрат, пов'язаних із експлуатацією відповідних різновидів ресурсів;

– нейтральний за цією ознакою тип розвитку, за якого темпи змін обсягів виготовленої підприємством продукції дорівнюють темпам змін величини витрат, пов'язаних із експлуатацією відповідних різновидів ресурсів.

Представлена типологія видів економічного розвитку підприємства, як впливає з виразів (2) – (5), безпосередньо пов'язана із процедурою зіставлення в динаміці значень індикаторів ефективності використання економічних ресурсів.

Сутність та види ресурсозберігаючого економічного розвитку підприємств

Під ресурсозберігаючим економічним розвитком підприємства за певним видом його ресурсів доцільно розуміти процес стійкого збільшення економічних результатів господарської діяльності, який супроводжується зниженням споживання відповідного виду ресурсів підприємства. При цьому доцільно виділити два головні види ресурсозберігаючого економічного розвитку підприємств, а саме – абсолютний та відносний. При абсолютному ресурсозберігаючому розвитку збільшення обсягів продукції (або значень інших показників, що характеризують результативність діяльності підприємства) супроводжується зменшенням обсягів використання відповідного виду економічних ресурсів підприємства. Водночас, при відносному ресурсозберігаючому розвитку збільшення обсягів продукції (або значень інших показників, що характеризують результативність діяльності підприємства) супроводжується зменшенням питомих витрат певного виду ресурсів підприємства (умова цього типу розвитку підприємства може бути представлена у вигляді наведеної вище нерівності (2)).

Більш детальне дослідження закономірностей ресурсозберігаючого економічного розвитку підприємства потребує врахування декількох додаткових обставин, а саме:

1) виділення ресурсів підприємства у сфері виробництва продукції та у сфері обігу. З цих позицій готова продукція підприємства є різновидом його ресурсів, оскільки забезпечує здійснення ним збутової діяльності;

2) встановлення особливостей формування потреби підприємства у тих чи інших видах його ресурсів. Таке формування відбувається залежно від чинників, що зумовлюють потребу підприємства у певних видах ресурсів. При цьому, як свідчить досвід господарювання, у переважній більшості випадків цими чинниками виступають певні характеристики іншого виду ресурсів або декількох видів ресурсів, які використовуються підприємством. Наприклад, потреба в основних матеріалах визначається плановими натуральними обсягами продукції підприємства у розрізі її номенклатури та асортименту, потреба в енергетичних ресурсах для опалення приміщень залежатиме від їх об'єму і т. д. Відзначимо, що між обсягами потреби підприємства у ресурсах та показниками чинників, що обумовлюють цю потребу, переважно існує прямо пропорційна залежність. Параметри таких пропорцій, прикладами яких є норми витрат виробничих ресурсів на виготовлення продукції, у подальшому будемо називати ресурсними співвідношеннями;

3) з'ясування характеру ринків збуту продукції та механізму формування попиту на неї. Хоча ресурсозберігаючий розвиток підприємства має внутрішню природу, проте, прояв цього розвитку значною мірою залежить від збутових можливостей підприємства. При цьому доцільно виділити такі основні випадки реалізації цих можливостей: коли попит на продукцію підприємства є чітко обмеженим певною величиною; коли підприємство може у певних межах збільшувати обсяги реалізації своєї продукції, а ціна на неї внаслідок цього змінюватися не буде; коли підприємство, змінюючи обсяги реалізації своєї продукції, обумовлює зміну цін на неї (зокрема, ціна спадає із збільшенням обсягу пропозиції); коли існують ринки збуту продукції підприємства, на які

воно потенційно може увійти, однак, на теперішній час йому це не вигідно внаслідок занадто високої собівартості його продукції;

4) виокремлення способів формування величини витрат, пов'язаних з утриманням та експлуатацією тих чи інших видів ресурсів підприємства. Зокрема, можна виділити випадки, коли: ці витрати є прямо пропорційними обсягам продукції, що виготовляється за допомогою відповідних ресурсів; ці витрати є прямо пропорційними тривалості часу функціонування ресурсів; ці витрати є прямо пропорційними певним фізичним характеристикам (зокрема, обсягам) ресурсів.

За таких умов з'являється можливість виділення додаткових різновидів ресурсозберігаючого типу економічного розвитку підприємства, а саме:

- коли обсяги тих чи інших видів ресурсів підприємства скорочуються, хоча відповідні ним ресурсні співвідношення не змінюються (або навіть зростають). Цей випадок трапляється у ситуації, коли підприємство може впливати на ціну своєї продукції, змінюючи натуральні обсяги її виробництва та збуту. Якщо на певний момент часу ці обсяги є більшими за оптимальні з точки зору максимізації прибутку підприємства, то скорочуючи їх підприємство забезпечуватиме зростання свого прибутку. У тому числі таке зростання відбудеться за рахунок відповідного вивільнення частини ресурсів, якщо витрати на їх утримання та експлуатацію є пропорційними їх обсягам;

- коли значення певних ресурсних співвідношень зменшуються, при цьому таке зменшення не потребує змін в організації та технології виробництва продукції. Фактично цей випадок означає, що деякі види ресурсів підприємства використовуються на даний час не у повному обсязі. За цих умов у підприємства існують дві основні альтернативи: або вивести з експлуатації зайві ресурси, або залучити додаткові обсяги окремих видів ресурсів, тим самим спробувавши привести значення відповідних ресурсних співвідношень до їх мінімальних за даного рівня організації виробництва та наявних технологій значень. За першого варіанту дій підприємство зменшить витрати на утримання виведених з експлуатації ресурсів та можливо отримає економічний

зиск від їх продажу (якщо цими ресурсами є його активи). За другого варіанту дій підприємство наростить обсяг виготовлення продукції і можливо отримає від цього додатковий прибуток, проте, слід враховувати можливу потребу у вкладенні інвестицій у придбання додаткових ресурсів;

- коли значення певних ресурсних співвідношень зменшуються за рахунок вдосконалення організації та технології виробництва продукції, покращення якості ресурсів підприємства (у тому числі – покращення якості продукції на засадах функціонально-вартісного аналізу). Цей випадок за своїми можливими наслідками його реалізації подібний до попереднього, однак, він, як правило, потребує реалізації широкомасштабної програми підвищення техніко-організаційного рівня підприємства;

- коли зменшення ресурсних співвідношень обумовлює доцільність зростання обсягів певних видів ресурсів підприємства. Цей випадок трапляється, якщо внаслідок зменшення ресурсних співвідношень скорочується собівартість одиниці продукції підприємства, що робить її більш конкурентоспроможною і обумовлює доцільність збільшення обсягів її виробництва і збуту (зокрема, шляхом виходу на нові ринки збуту). При цьому за описаного випадку додаткова потреба підприємства у ресурсах перекриває економію їх обсягів внаслідок зменшення відповідних ресурсних співвідношень. Також відзначимо, що скорочення собівартості внаслідок зменшення ресурсних співвідношень не відбудеться для ресурсів, витрати на утримання та експлуатацію яких є прямо пропорційними обсягу продукції, яка ними виготовляється, оскільки ці витрати відразу пораховано на одиницю продукції і вони не залежатимуть від продуктивності ресурсу.

Моделювання впливу ресурсозбереження на результати діяльності підприємств

Оцінювання ресурсозберігаючого розвитку підприємства повинно передбачати аналізування впливу проведених заходів з ресурсозбереження на загальний рівень економічного розвитку суб'єкта господарювання. Подібна

методика може застосовуватися і з прогнозними цілями. Вона передбачає виокремлення величини приросту економічних результатів підприємства, що відбувся за рахунок його ресурсозберігаючого економічного розвитку, у загальному прирості цих результатів у попередньому періоді (періодах). Очевидно, що таке виокремлення потребує побудови відповідної факторної моделі, яка б враховувала як обсяги застосовуваних підприємством ресурсів, так і ефективність їх використання.

Найбільш повною видається модель у якій показниками-факторами виступали б обсяги відповідних ресурсів підприємства та індикатори ефективності їх використання, тобто відношення певного економічного результату діяльності підприємства до величини кожного виду ресурсів. Проте, така модель у випадку, якщо вона містить більше одного виду ресурсів, априорі не буде коректною. Це обумовлено тим, що у цьому випадку один з показників-факторів являтиме собою однозначну функцію усіх інших. Отже, виникає складність врахування в одній моделі усіх основних видів ресурсів підприємства.

Проте, якщо в якості економічного результату діяльності підприємства розглядати величину його надприбутку, то оцінити вплив ресурсозбереження на його приріст можна за допомогою таких двох факторних моделей:

$$P_e = Q - C - K \cdot r = \left(\frac{Q - C - K \cdot r}{F} \right) \cdot F = \left(Q_F - \sum_{i=1}^n L_i \cdot p_i - I_F - K_F \cdot r \right) \cdot F; \quad (6)$$

$$P_e = \left(\frac{Q - C - K \cdot r}{Q} \right) \cdot Q = \left(1 - \sum_{i=1}^n R_i \cdot p_i - I_Q - K_Q \cdot r \right) \cdot Q, \quad (7)$$

де P_e – величина надприбутку підприємства за певний проміжок часу, грошових одиниць;

Q – операційні доходи підприємства без непрямих податків, грошових одиниць;

C – сумарна величина операційних та фінансових витрат підприємства, грошових одиниць;

K – середня за досліджуваний проміжок часу величина власного капіталу підприємства, грошових одиниць;

r – норма прибутковості власного капіталу підприємства у частках одиниці;

F – середня за досліджуваний проміжок часу первісна вартість основних засобів підприємства, грошових одиниць;

Q_F – фондвіддача основних засобів підприємства за величиною операційних доходів, грошових одиниць;

n – кількість видів ресурсів підприємства, що розглядаються;

L_i – співвідношення між обсягом i -того виду ресурсів та середньою вартістю основних засобів підприємства;

p_i – витрати на утримання та експлуатацію одиниці i -того виду ресурсів, грошових одиниць;

I_F – витрати на утримання та експлуатацію інших, окрім розглянутих, видів ресурсів на одиницю середньої вартості основних засобів підприємства, грошових одиниць;

K_F – відношення середньої величини власного капіталу підприємства до середньої величини його основних засобів;

R_i – відношення операційного доходу підприємства до обсягу i -того виду його ресурсів;

I_Q – витрати на утримання та експлуатацію інших, окрім розглянутих, видів ресурсів на одиницю операційного доходу підприємства, грошових одиниць;

K_Q – відношення середньої величини власного капіталу підприємства до його операційного доходу.

Отже, за моделлю (6) рівень ефективності використання ресурсів підприємства оцінюється відношенням надприбутку до вартості основних засобів (як головного ресурсу, що визначає виробничу потужність більшості підприємств), яке, своєю чергою, залежить, зокрема, від показника фондвіддачі, а також від співвідношення між обсягами інших видів ресурсів підприємства та вартістю його основних засобів. Стосовно моделі (7), то згідно неї рівень ефективності використання ресурсів підприємства оцінюється відношенням надприбутку до операційного доходу, яке, своєю чергою, залежить, зокрема, від показників відношення величини операційного доходу

підприємства до обсягів тих чи інших видів його ресурсів. Необхідно відзначити, що названі показники ефективності використання ресурсів підприємства одночасно надають характеристику і рівню його конкурентоспроможності. Зокрема, чим більшим є у певного підприємства порівняно із конкурентами співвідношення між надприбутком та операційним доходом за певним видом продукції, тим потенційно більшу частку ринку цієї продукції це підприємство може зайняти (тому що при рівній величині доходу його надприбуток буде вищим, ніж у конкурентів). Отже, забезпечуючи підвищення цього співвідношення, підприємство створює собі передумови до збільшення належної йому частки ринку даної продукції.

Висновки

1. Вплив заходів з ресурсозбереження на економічний розвиток підприємств може бути як безпосереднім (завдяки зниженню собівартості продукції), так і опосередкованим (завдяки підвищенню конкурентоспроможності продукції).

2. При оцінюванні динаміки економічних результатів діяльності підприємства, зокрема обсягів виробленої ним продукції за певний проміжок часу, доцільним є зіставлення динаміки цих результатів із динамікою показників ресурсного забезпечення діяльності підприємства. За таких умов можливо здійснити групування типів економічного розвитку підприємства за показниками його ресурсного забезпечення за такими ознаками: залежно від співвідношення між величиною витрат ресурсів підприємства та результатами його діяльності, залежно від співвідношення між величиною витрат ресурсів підприємства та продуктивністю їхнього використання, залежно від співвідношення між величиною витрат, понесеними на експлуатацію певного виду ресурсів, та результатами діяльності підприємства.

3. Під ресурсозберігаючим економічним розвитком підприємства за певним видом його ресурсів доцільно розуміти процес стійкого збільшення економічних результатів господарської діяльності, який супроводжується

зниженням споживання відповідного виду ресурсів підприємства. При цьому доцільно виділити два головні види ресурсозберігаючого економічного розвитку підприємств, а саме – абсолютний та відносний.

4. Використовуючи запропоновані факторні моделі величини надприбутку підприємства, можливо оцінити вплив на цю величину зміни рівня використання ресурсів суб'єкта господарювання. Оскільки зростання надприбутку є одним з можливих критеріїв економічного розвитку підприємств, ці моделі надають можливість вимірити вплив ресурсозбереження на економічний розвиток компаній. Подальші дослідження потребують встановлення формалізованих умов забезпечення ресурсозберігаючого економічного розвитку підприємств.

Список літератури

- Амоша, О. І., Булеєв, І. П. & Шевцова, Г. З. (2007). Інноваційне оновлення техніко-технологічної бази промислового виробництва на синергетичних засадах: теорія і практика. *Економіка промисловості*, 1(36), 3–9.
- Андрусів, У. Я. & Мазур, І. М. (2017). Комплексний підхід до забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів. *Бізнес Інформ*, 1, 44–49.
- Бойчук, Н. Я. & Острянюк, М. М. (2017). Проблеми енергозбереження та підвищення енергоефективності економіки України. *Сучасні проблеми економіки і підприємництва*, 19, 25–34.
- Бурда, В. Є. (2013). Потенціал енергозбереження та напрями використання альтернативних джерел енергії у промисловості. *Економічний часопис – XXI*, 1–2, 45–48.
- Іваненко, О. В. (2013). Формування потенціалу ресурсозбереження соціально-економічних систем. *Економіка. Фінанси. Право*, 8, 7–10.
- Концеба, С. М. & Непочатенко, О. О. (2007). Енергозберігаючі технології в Україні: економічний ефект та перспективи впровадження. *Збірник*

наукових праць Уманського національного університету садівництва, 63, 1–5.

Lesinskyi, V., Yemelyanov, O., Zarytska, O., Symak, A. & Koleshchuk, O. (2018). Substantiation of projects that account for risk in the resource-saving technological changes at enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(1), 6–16.*

Михаліцька, Н. Я. (2013). Реалізація політики енерго- та ресурсозбереження в контексті зміцнення національної безпеки. *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Серія економічна, 2, 108–117.*

Склярчук, Т. В. & Соболев, І. В. (2017). Сучасний механізм оцінювання ефективності персоналу промислового підприємства. *Науковий вісник НЛТУ України, 2(27), 72–75.*

Шарманська, В. М. & Вітюк, В. В. (2018). Аналіз забезпеченості підприємства основними засобами та ефективності їх використання. *Молодий вчений, 1(53), 550–552.*

ПРОБЛЕМИ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ В УМОВАХ КОРОНАВІРУСУ

Мороз Л.І., Національного університету «Львівська політехніка, к.е.н., с.н.с.,
доцент, доцент кафедри менеджменту персоналу та
адміністрування, Україна

Abstract

The research and substantiation of theoretical and applied issues on the problems and assessment of economic safety of human life in the context of coronavirus, in particular the concept of "economic safety of human life" are presented in the article; levels of socio-economic impact on the safety of life of the employee are selected; the list of economic consequences from deterioration of health of the population which are classified on social and economic groups of increase in expenses for payment of sick leave for temporary incapacity at illness are defined; health care with increasing morbidity and disability; training and care of medical workers in case of their illness and premature replacement.

The quantitative estimation of losses from consequences of the world epidemic is offered, the basic of which are: the not received national income during illness of workers; hospital payments from the social insurance fund of employees; additional costs for inpatient treatment of the population; the cost of outpatient treatment of the disease outside the hospital in a mild course of the disease; economic damage from the disease of workers (population).

The issues of psychology of the employee's personality in the conditions of coronavirus and the influence of psycho-physiological factors on his ability to work are also considered. The research on the nature and main socio-economic problems of life safety, assessment of damage from epidemic diseases should be the basis for further practical economic research in the field of health, there are a number of problems that can be solved only by changing state legislation.

Вступ

У сучасних умовах життєдіяльності людини зі стрімким розвитком науково-технічного прогресу настав новий етап взаємодії природи і суспільства, що привело до більш інтенсивної експлуатації природних ресурсів, посилення впливу людини на оточуюче природне середовище.

Останнє десятиріччя ніхто не сподівався, що ми сидимо на пороховій бочці під назвою коронавірус SARS-CoV-2, який охопить весь світ. Епідемія виявила недоліки в системі охорони здоров'я одних країн і повний крах в інших. Тепер більшості країн прийшлося серйозно зайнятися проблемами охорони здоров'я, проблемами безпеки життєдіяльності, до складу якої входить економічна безпека людини в умовах коронавірусу.

Через пандемію в світі та карантинні заходи більшість підприємств вимушені припинити свою діяльність, щодня втрачаючи можливі доходи та прибутки.

У сфері матеріального виробництва виникло недовиробництво національного доходу внаслідок зменшення виготовлення продукції робітниками, які стали непрацездатними, інвалідами або померли внаслідок захворювання, що також знизило продуктивність праці, погіршило якість продукції та збільшило текучість кадрів під впливом психологічного чинника.

Виходячи з цього, в умовах глобалізації економічного простору та появи глобальних економічних криз, виникли суттєві конфлікти між досягнутим рівнем суспільного виробництва і екологічним середовищем, що посилило необхідність формування нової парадигми щодо погіршення здоров'я населення в сучасних умовах, та розгляду питань економічної безпеки його життєдіяльності.

Задача збереження здоров'я людини стоїть зараз перед всіма країнами і народами світу. Безконтрольне природовикористання стало причиною збіднення потенційних можливостей відновлення збитків, нанесених суспільству.

Сьогодні економічна сторона цих проблем розглянута ще недостатньо повно, тому необхідна економічна оцінка якості навколишнього середовища, основою якої є розрахунок економічних збитків, аналіз критеріїв і показників ефективності капіталовкладень на охорону здоров'я та її складових.

Мета дослідження полягає у визначенні та оцінці недоліків в існуючій практиці боротьби з коронавірусом, що дозволить виявити основні шляхи їх подолання та захистити головну цінність світу – життя людини.

1. Поняття та сутність економічної безпеки життєдіяльності людини

У загальному підході «економічну безпеку» трактують як забезпечення здатності до виживання країни у випадку стихійних і економічних лих або за умов національних і світових економічних катастроф (Korystin et al., 2010).

В умовах соціально-політичної та економічної кризи стан економічної безпеки життєдіяльності людини в умовах коронавірусу, в першу чергу, корелюється з її задовільним або незадовільним фізичним станом, що відображається у ступені її економічної захищеності, та можливості в подальшому бути працездатною.

Таким чином, «економічна безпека життєдіяльності людини» в сучасних умовах – це сукупність умов и чинників, які забезпечують стійкість людини до епідемічних захворювань, та здатність її до продуктивної праці.

Виходячи з цього, доцільно розглядати два підходи до розуміння економічної безпеки життєдіяльності як:

- перешкода безпечному життю і діяльності людини;
- основа для розвитку людини.

Тобто розглядаємо «стійкій стан» захищеності її життєдіяльності від негативного впливу зовнішніх і внутрішніх загроз, дестабілізуючих факторів, за яких забезпечується стабільна реалізація основних її комерційних інтересів та цілей діяльності (Muratova, 2012).

У сучасних умовах другої хвилі коронавірусу відбувається трансформація соціальної безпеки життєдіяльності людини в соціально-економічну, що

викликано необхідністю тісного партнерства між хворим працівником і лікарем; між працівником і аптекою, а при важкому перебігу хвороби – між лікарнею.

Виходячи з цього доцільно виділити такі рівні соціально-економічного впливу на безпеку життєдіяльності працівника:

- робота та завантаженість лікарні (лікаря);
- роль вищого керівництва головного лікаря (головний лікар, завідувач відділення);
- організаційна структура і система управління медичним закладом;
- кадрова політика і система мотивації персоналу лікарні (поліклініки);
- побудова оптимальних алгоритмів (протоколів) лікування хворих на коронавірус;
- поточна ефективна лікувально-господарська діяльність лікарні (поліклініки);
- облік, аналіз і контроль лікувально-господарської діяльності лікарні (поліклініки).

Проаналізувавши ситуацію, яка склалася зараз в умовах пандемії, визначен перелік економічних наслідків від погіршення здоров'я населення, які можна класифікувати за такими соціально-економічними групами:

- збільшення витрат соціального страхування на виплату лікарняних за тимчасову непрацездатність при збільшенні захворюваності внаслідок епідемії;
- збільшення витрат на соціальні виплати працівникам, що перенесли хворобу;
- збільшення витрат соціального страхування на виплату пенсій при зростанні інвалідності внаслідок ускладнень від важкого захворювання;
- збільшення витрат на соціально-економічні (матеріальні) на охорону здоров'я при зростанні захворюваності та інвалідності;
- збільшення витрат на підготовку і обслуговування медичних працівників при зростанні захворюваності серед них та передчасної їх заміни.

Також необхідне збільшення витрат на виробництво та закупівлю медичного обладнання, апаратури та іншого матеріального оснащення медичних установ і лікарень, а також витрат на проведення ПЛР-тестування населення.

Групи втрат соціально-економічного характеру виникають і діють поза межами матеріального виробництва, але також реально зменшують фонд суспільного споживання, за рахунок якого витрати йдуть на соціальне страхування, охорону здоров'я й освіти.

Ці всі групи втрат створили економічні збитки в народному господарстві від наслідків світової епідемії і формують кількісну оцінку впливу соціально-економічних результатів на економіку країн (Moroz, 2020).

2. Оцінка економічних збитків від епідемічних захворювань

На початку проведення соціально-економічної оцінки збитків від епідемічних захворювань доцільним є визначення коефіцієнта стану здоров'я працівників ($K_{зд}$) (за рік, місяць або інший аналізуємий період) за формулою:

$$K_{зд} = 1 - \frac{K_{невх}}{\Phi_{ном}}, \quad (1)$$

де $K_{невх}$ – кількість невиходів працівником на роботу через хворобу, днів;

$\Phi_{ном}$ – номінальний фонд робочого часу працівників, днів.

Недоодержаний національний доход (ΔD) за час хвороби працівників доцільно визначати за формулою:

$$\Delta D = D \cdot \sum_i K_i \cdot t_i, \quad (2)$$

де D - національний доход, який створюється одним працівником, грн.;

K_i – кількість працівників (громадян), які захворіли i -тою хворобою і стали тимчасово непрацездатними, осіб;

t_i – тривалість тимчасової непрацездатності при i -ій хворобі, днів.

Виплати по лікарняних з фонду соціального страхування працівникам за час тимчасової непрацездатності внаслідок i -ої хвороби (W) визначаються за формулою:

$$W = \bar{w}_{cp} \cdot \sum_i K_i \cdot t_i, \quad (3)$$

де \bar{w}_{cp} – середня оплата одного дня непрацездатності, грн.;

K_i – кількість працівників (громадян), які захворіли i -тою хворобою, осіб;

t_i – тривалість тимчасової непрацездатності при i -ій хворобі, днів.

Для лікування епідемічних захворювань необхідні додаткові витрати на стаціонарне ($B_{стац}$) лікування населення:

$$B_{стац} = B_{л.д.} \cdot \sum_i K_i \cdot \gamma_i t_i + B_{вик.лік} \cdot \sum_i K_i \gamma_i \alpha_i, \quad (4)$$

де $B_{л.д.}$ – витрати на ліжко-день лікування в стаціонарі, грн.;

K_i – кількість працівників (громадян), які захворіли i -ою хворобою, осіб;

γ_i – питома вага хворих, які потребують стаціонарного лікування;

t_i – тривалість тимчасової непрацездатності при i -ій хворобі, днів;

$B_{вик.лік.}$ – вартість одного виклику лікаря додому, що передує стаціонарному лікуванню (при неможливості приходу лікаря – спілкування з ним в телефонному або онлайн режимі);

α_i – питома вага хворих, які захворіли i -ою хворобою и яким необхідний виклик або консультація лікаря.

Витрати на амбулаторне лікування ($B_{амб}$) при можливості лікування i -ої хвороби поза стаціонаром в умовах легкого перебігу хвороби:

$$B_{амб} = \left(\sum_i B_{дом.лік} + \sum_i B_{вик.лік.} + B_{і.лік.} + B_{і.КТ} \right) \cdot \sum_i K_i (1 - \gamma_i), \quad (5)$$

$B_{дом.лік.}$ – витрати на домашнє лікування до консультації з лікарем (або до виклику лікаря);

$B_{вик.лік.}$ – вартість консультації лікаря (або консультація з ним в телефонному або онлайн режимі, що спостерігається зараз частіше);

$B_{і.лік.}$ – вартість ліків на одного хворого, призначених лікарем;

$B_{i_{KT}}$ - вартість КТ-діагностики;

K_i – кількість працівників, які захворіли i -ою хворобою;

γ_i – питома вага хворих, які потребують стаціонарного лікування.

Кількість хворих працівників та інші показники можна одержати на основі статистичних даних та епідемічних обстежень зони хворих.

Так як країна складається з областей (регіонів, районів), тоді економічний збиток від захворювання працівників (населення) в області ($Z_{ек}$) визначається за формулою:

$$Z_{ек} = \sigma_j \sum_j \sum_i Z_j K_j , \quad (6)$$

де σ_j – питома вага хворих i -ою хворобою в j -ій області;

Z_j – збитки в j -ій області від i -ої хвороби;

K_j – кількість населення, яке проживає в j -ій області;

3. Психологія особистості працівника в умовах коронавірусу

Діяльність сучасного працівника в умовах коронавірусу пред'являє високі вимоги до його психіки і, насамперед, до її емоційно-вольового компоненту, та характеризується низкою факторів, які впливають на його емоційний стан і поведінку (Mogoz, 2019).

У сучасному житті високіх результатів досягають ті, хто має стійку і непохитну волю та силу духу. Боротьба за досягнення поставленої мети вимагає від працівників подолання багатьох найскладніших перешкод, але, перш за все, подолання самого себе, своїх слабкостей. Для вирішення завдань емоційно-вольового забезпечення підготовки сучасних працівників доцільно використовувати всі засоби удосконалення можливостей людини.

Також необхідним є:

- індивідуальний підхід до людини, що базується на вивченні його індивідуальних особливостей;
- індивідуальне планування власної справи;

- зацікавленість та переконання у власних силах в боротьбі з хворобою;
- вміння володіти собою і робити те, що потрібно, а не те, що хочеться;
- постійне особистісне вдосконалення.

Професійна придатність людини залежить від особливостей розвитку функціональних станів і його стійкості до проявів крайніх форм (стрес, перевтома, десинхроноз), що обумовлює необхідність вивчення психофізіологічних механізмів регулювання цих станів, особливо проблеми саморегуляції людини (Korolchuk M.S. & Krainyuk V.M., 2012). Для людей з перевагою емоційного типу саморегуляції характерні високий рівень особистісної та ситуативної тривожності, найбільші показники нейротизму, напруженість у діяльності і спілкуванні, низькі адаптивні можливості і нестійкість до дії екстремальних факторів.

Особи з добре розвиненою вольовою регуляцією успішно знижують рівень емоційної напруженості під час хвороби, вони більш продуктивні, активні, і внаслідок цього, швидко вичерпують свої резерви. Найстійкішими до впливу несприятливих факторів хвороби є особи з розвиненою вольовою регуляцією і сформованими прийомами саморегуляції, спрямованими на відновлення психофізіологічних ресурсів.

Після завершення епідемічної хвороби необхідне моральне та фізичне оздоровлення всього населення із подальшим одержанням позитивних соціально-економічних результатів від його діяльності.

Психофізіологічний потенціал людини, який характеризує його загальний рівень працездатності, визначається такими чинниками:

- загальний стан здоров'я;
- м'язова сила і витривалість;
- біоенергетичні процеси і резерви організму;
- психічні функції.

Загалом працездатність робітника залежить від його віку і статі, а також від соціально-економічних умов життя і праці.

Для оцінки працездатності людини застосовують три групи показників (виробничі, фізіологічні, психологічні), які характеризують результати виробничої діяльності, фізіологічні зрушення і зміни у психічних функціях людини в процесі праці (Krushelnitska, 2003).

До виробничих показників відносяться:

- продуктивність праці;
- трудомісткість роботи;
- якість роботи (продукції);
- втрати робочого часу і простої устаткування з вини працівника.

До психологічних показників відносяться:

- увага;
- мислення;
- пам'ять;
- сприймання;
- емоційно-вольове напруження.

До фізіологічних показників відносяться:

- величина енергозатрат;
- частота пульсу, ударний і хвилинний об'єм крові;
- м'язова сила;
- час сенсомоторних реакцій;
- частота дихань, легенева вентиляція, коефіцієнт споживання кисню;
- сила, рухливість, урівноваженість процесів збудження і гальмування;
- критична частота злиття мигтінь;
- тремор;
- температура шкіри.

4. Вплив психофізіологічних чинників на працездатність людини

Працівники, починаючи роботу, мають не однакову працездатність, яка залежить як від здоров'я людини, так і від моральних і матеріальних стимулів, що можуть створювати зацікавленість у здійсненні мети її діяльності.

Психоемоційні навантаження в умовах коронавірусу можуть викликати не тільки різні види втоми, а й психологічні стреси, які виникають внаслідок надмірної психічної напруги і зміни поведінки робітника.

У результаті напруженої або тривалої праці у робітників можуть виникати тимчасові зрушення в фізіологічному і психологічному стані, які проявляються у різних ступенях втоми (Krushelnitska, 2003):

- помилки при виконанні точних рухів з незначними м'язовими зусиллями (втома першого ступеня);
- незначне зниження працездатності і витривалості, що виявляється в збільшенні кількості помилок при виконанні праці (втома другого ступеня);
- відчутне зменшення загальної працездатності і витривалості рухового апарату, що виявляється в збільшенні часу реакцій, сповільненні швидкості робочих реакцій та зменшенні м'язових зусиль (втома третього ступеня);
- несприймання працівником позитивних сигналів, що призводять до помилок і аварій (втома четвертого ступеня).

Хронічна втома і перевтома як ознаки коронавірусної хвороби, можуть привести до втрати у людини інтересу до роботи і власної поведінки, але ще більшу шкідливість і дезорганізацію наносить психологічний стрес, який може виникнути раптово і надовго вибити людину з рівноваги. Працівник після хвороби повинен як психологічно, так і фізично мобілізувати свої ресурси до трудової діяльності з метою подальшого виконання трудових завдань та повернення його до стабільного функціонального працездатного стану. На це суттєвий вплив виявляють особисті риси характеру, які у кожної людини є різними. Вони впливають на його діяльність, стосунки, способи дій тощо (Moroz, 2019; Varij, 2016). Так, в умовах стресу у людини може виникнути замкнутість, відчуженість, навіть задрість до благополуччя інших,

прискіпливість, схильність до суперечок, дріб'язковість. Зрозуміло, що в стресових умовах у людини може відбутися надзвичайне підсилення окремих рис характеру, коли спостерігається відхилення у психології та поведінці людини, що можуть не виходити за межі її нормативної поведінки, але можуть бути й патологією (акцентуація характеру). Ця акцентуованість рис характеру людини виявляється лише за певних критичних умов, в яких вона опинилася. У спокійному стані ці люди можуть бути спокійними, розсудливими.

Характер кожної особистості є складним синтезом типу нервової діяльності, її життєвих вражень, виховання, умов життя. Так, тривожні характери в усьому очікують на небезпеку, виявляють підвищену боязливість, розгубленість.

Інтровертні особистості стають ще більше замкнуті, свої переживання та думки спрямовують на самих себе, на свій внутрішній світ, стараються уникати контактів з іншими.

Екстравертні особистості навпаки прагнуть до спілкування, контактів з іншими людьми, починають всім говорити про свої відчуття, зосереджуються на зовнішніх явищах, а не особисто на собі. Вони схильні погоджуватися з усім, що їм пропонують.

В умовах гіперстресу, наприклад, повідомлення про важкий перебіг хвороби рідної людини може призвести до надмірної психологічної напруженості. Тоді психічно нестійка людина впадає в складний психічний стан, що поєднує тривогу, безнадійність, апатію, депресію, приреченість та втрату здатності до ефективної працездатності. Саме небезпека життя близьких людей може викликати афективний страх, який паралізує на певний час волю людини, її здатність до свідомої діяльності. Нервова система цієї людини різко порушується, вона може пасивно і бездумно чогось чекати. Для переборювання цих видів психічних станів необхідно сформувати в людини такий морально-психічний стан, який притаманний стійкій, сильній, надійній людині, яка володіє духовно-психологічним і морально-практичним ставленням до професійної діяльності та інших позицій життєдіяльності.

Сучасна людина повинна бути готовою до боротьби зі стресами та мати звички розслаблятися (щоденні прогулянки, перегляд свіжих журналів, читання художньої літератури, періодичні сеанси масажу), що допоможе зберегти мозок здоровим впродовж тривалого часу.

Найефективніший метод навчити людей контролювати стрес і тривожність в умовах коронавірусу – розвивати в них упевненість у власних силах. Із цією метою доцільним є створення позитивного оточуючого середовища людини та виховання конструктивного ставлення до помилок і невдач.

Тобто, людський фактор, а саме його морально-суб'єктивні характеристики охоплюють емоційні та вольові якості, темперамент, смаки, уподобання, які визначають поведінку людини в сфері виробництва та життєдіяльності. Виходячи з цього, стан психічної готовності людини до праці в умовах карантину повинен включати такі компоненти:

- оптимальний рівень емоційного збудження;
- тверезу впевненість в своїх силах;
- здатність управляти своїми діями та особистою поведінкою в екстремальних ситуаціях;
- високу стійкість до перешкод по відношенню до несприятливих зовнішніх та внутрішніх впливів;
- прагнення до кінця боротися за досягнення кращого результату.

На те, щоб відновитися після хвороби емоційно, фізично і психологічно та повернутися до звичної працездатності у всіх сферах життя, потрібен час.

Якщо економічна активність не відновиться, люди і бізнес не збережуть роботу і не зможуть платити податки. Треба підтримувати їх субсидіями, податковими канікулами, пом'якшенням підприємницького законодавства і прямим відшкодуванням коштів людям, які постраждали від епідемії.

Сьогодні треба бути чутливими і спокійними, але діяти рішуче. Працівник повинен залишитися конкурентоспроможною особистістю, яка здатна швидко і безболісно адаптуватися до постійних змін суспільних умов,

науково-технічного прогресу й нових видів діяльності та форм спілкування за умови збереження позитивного внутрішнього психоенергетичного потенціалу й гармонії (Muratova, 2012). Він повинен повернутися до ефективної діяльності, спілкування, самосвідомості.

Виходячи з цього, доцільним буде визначення інтегрального показника працездатності працівника (k_i):

$$k_i = \frac{\beta - \gamma}{\alpha + \beta + \gamma}, \quad (7)$$

де α - кількість випадків, при яких не було зрушень працездатності порівняно з вихідними показниками;

β - кількість випадків поліпшення показників працездатності;

γ - кількість випадків погіршення показників працездатності.

Висновки

Теперішня економічна криза руйнує плани, тому їх треба швидко реалізувати і навіть діяти спонтанно і активно, але не впадати в депресію. Треба перебудовуватись, бути зібраними. Хто має більше знань, той швидше реагує і більш ефективно починає діяти.

Сучасний працівник повинен як психологічно, так і фізично мобілізувати свої ресурси до трудової діяльності з метою подальшого виконання трудових завдань та повернення його до стабільного функціонального працездатного стану.

Керівник бізнесу думає про свій бізнес, а не про всіх людей, тому доцільним є перехід на процентну оплату, тоді збережемо людей, ніж лишати їх без роботи. Неможна зараз звільняти працівників, треба триматися колективу, зберігати його психофізіологічне здоров'я. Етика, корпоративна культура - зараз головні в повсякденній життєдіяльності людини.

Сьогодні в Україні існує ряд проблем, вирішити які можливо лише шляхом зміни законодавства держави у використанні природних ресурсів та охорони здоров'я.

Таким чином, дослідження сутності та основних соціально-економічних проблем безпеки життєдіяльності в умовах епідемічних захворювань, до яких ввійшли кількісна оцінка економічних збитків від наслідків світової епідемії, а також питання психології особистості працівника в умовах коронавірусу та вплив психофізіологічних чинників на його працездатність, є своєчасними та вкрай актуальними і повинні стати основою подальших практичних досліджень в сфері охорони здоров'я на всіх рівнях.

Список літератури

- Korolchuk, M. S., & Krainyuk, V. M. (2012). *Theory and Practice of Professional Psychological Investigation* - Kyiv.: Nika-Center.
- Korystin, O. Ye., Baranovsky, O. I., Gerasimenko, L. V. et al. (2010). *Economic security* - Kyiv.: Alerta; Training Center Literature.
- Krushelnitska, Ya. V. (2003). *Physiology and psychology of practice*. - Kyiv.: KNEU.
- Moroz, L. I. (2019). Psychophysiological factors of management of working capacity of industrial and production personnel of the enterprise. *Project SWorld: Collective monograph "Innovative economy and management in the modern world". Part 2. Sec. 1. PP. 6-21. 75-76.*
- Moroz, L. I. (2019). Working capacity and labor productivity as components of a competitive employee of the enterprise. *Scientific economic journal Intellect XXI. N 4. 58–63.*
- Moroz, L. I. (2020). *Socio-economic characteristics and assessment of losses from epidemic diseases*. Collective Monograph: Theoretical and scientific approaches to the problems of modern economy. Edition by International Science Group - Primedia eLaunch LLC – Boston, USA.
- Muratova, N. K. (2012). Economic security of an enterprise as a successful component of modern business. *Public Administration. Electronic bulletin (Electronic journal)*, 32.
- Varij, M. I. (2016). *Psychology of personality*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House.

ЕКОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ В ГОТЕЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Ільницька-Гикавчук Г.Я., Інститут сталого розвитку ім. В.Чорновола,
Національний університет «Львівська політехніка», к.е.н., доц.,
доцент кафедри туризму, Україна

Abstract

Innovations in modern business conditions are an important factor in the survival and improvement of competitive advantages of the enterprise. Innovations can be of different types: product, organizational, social, technological, environmental, economic. Ecological innovations are connected with economy, rational use of natural resources. Eco-hotels are an example of ecological innovations in the hotel industry. More and more hotels use environmentally friendly materials in the interior and equipment, waste-free technologies, environmentally friendly products. To receive the status of ecological hotel must be certified. Ukraine uses the Green Key certification system. The ecological concept of the hotel has a positive effect on its image, leads to an increase in regular customers, attractiveness to investors, the overall social attractiveness of the hotel. The introduction of environmental or any other innovation requires significant investment, which in the future will bring economic benefits by saving resources, increasing the number of consumers, and hence profits. To intensify the introduction of environmental innovations in the hotel business requires government support for such enterprises through preferential taxation, lending, budget financing and more.

Вступ

Інноваційні технології в готельному господарстві є одним з ключових факторів успіху для підприємств. Вони зумовлюють створення необхідних умов для сталого розвитку ресторанних та готельних підприємств, спрямованих на забезпечення конкурентоспроможності послуг, що надаються, на рівні міжнародних стандартів. Для готельного бізнесу інновації охоплюють усі

технологічні аспекти виробництва готельної послуги. В умовах жорсткої конкурентної боротьби підприємства готельного господарства намагаються знайти нові підходи до удосконалення і набуття конкурентних переваг.

Метою дослідження є висвітлення проблем інноваційної діяльності в готельному господарстві, зокрема впровадження екологічних інновацій.

Завданнями дослідження є:

- розкрити сутність інновацій та їх види;
- дати характеристику діяльності екоготелів в Україні;
- визначити напрями стимулювання екологічних інновацій в Україні.

Класифікація інновацій в готельному бізнесі

Виділяють такі види інновацій, які зустрічаються в готельній індустрії (рис. 1).

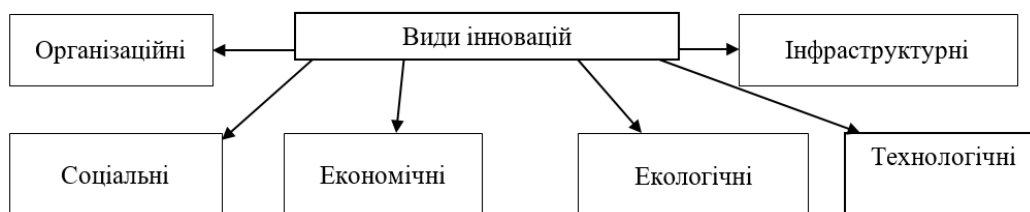


Рис. 1. Види інновацій в готельному господарстві

Джерело: Влащенко, 2016

До організаційних інновацій в готельній індустрії можна віднести впровадження нових методів організації управління, кадрового, інформаційного, фінансового забезпечення діяльності. Організаційні інновації передбачають впровадження аутсорсингу, коучінгу.

Удосконалення системи управління засобом розміщення має велике значення. Існує значна кількість нових технологій, що використовуються в управлінні засобом розміщення.

Сучасна світова тенденція - прискорення процесу роботи з гостями: бронювання, швидший заїзд check-in і check-out (реєстрація та від'їзд). Велика роль у наданні цих послуг належить системам автоматизації діяльності готелів.

Застосування інформаційних технологій дозволяє зробити основні процеси життєдіяльності готелю максимально ефективними за досить короткий час, а також автоматизувати не лише всі етапи роботи з гостем, а й більшість сфер господарської діяльності готелю. Ці системи стають одним з визначальних факторів репутації і престижу готелю.

До автоматизованих систем управління готелем відноситься Property Management System (PMS) (Гудзовата, 2013), яка включає в себе безліч функцій:

- автоматизація барів і ресторанів;
- автоматизація систем управління готелем HMS;
- системи онлайн бронювання готелів;
- система безпеки готелю;
- системи контролю доступу для готелів;
- система управління персоналом готелю.

Так, автоматизована система керування готелем SERVIO Hotel забезпечує взаємозалежну роботу всіх служб готелю для організації комплексного обслуговування й обліку побажань кожного клієнта, а також чітко розмежовує функції співробітників за допомогою строго індивідуального доступу до системи.

Поширеними є також такі автоматизовані готельні системи (Гудзовата, 2013):

- Система енергозбереження (Energy Management System);
- Система управління рестораном (Point Of Sales);
- Система управління заходами (Sales & Catering);
- Система телефонного сервісу (Telephone Management System);
- Система електронних ключів (Key System);
- Система електронних мінібарів (Mini bar System);
- Система інтерактивного телебачення (Video Services System);
- Система фінансово бухгалтерського обліку (Accounting System);
- Система Інтернет бронювання (Web Reservation System);

- Система безпеки (Security System).

Активно розвивається в сучасній готельній індустрії перспективний напрям автоматизації за концепцією «Розумний дім». Вона передбачає ще тіснішу взаємодію систем управління готелем із автоматизованими системами управління інженерних мереж, енергозбереженням тощо.

Соціальні інноваційні процеси в готельній індустрії - це нові форми активізації людського чинника, які включають процес зміни умов праці, культурних, екологічних та політичних аспектів, зміни способу життя в цілому. Сюди належать новітні методи соціального стимулювання праці персоналу готелю: нагороди, подяки, соціальні пакети, безкоштовні путівки, організація спільних свят тощо.

Інфраструктурні інноваційні процеси в готельній індустрії включають:

- створення нових будівель та споруд підприємств сервісу, з незвичайним дизайном;
- використання нових матеріалів при будівництві чи обслуговуванні готельних підприємств;
- застосування новітніх систем опалення, водопостачання, вентиляції, штучного освітлення, забезпечення безпеки готельних підприємств тощо.

Проаналізувавши високотехнологічні нововведення щодо автоматизації готелів, можна виділити такі найбільш перспективні (рис. 2).



Рис. 2. Інфраструктурні інновації в готелі

Джерело: Влащенко, 2016

Інтерактивне готельне телебачення (Interactive TV Systems) сьогодні є невід'ємною складовою сучасного готельного сервісу. Гість має можливість ознайомитися з готельними послугами і зробити замовлення, не виходячи з номера, що забезпечує йому максимальний комфорт. Це формує позитивний імідж готелю, підвищує його рентабельність за допомогою ефективного просування готельних послуг.

Інтерфейс готельної системи розробляється індивідуально під кожен готель, він зрозумілий і не вимагає навчання. Доступ до системи готельного телебачення можливий з екрана телевізора або за допомогою особистих мобільних пристроїв гостя.

Система готельного інтерактивного телебачення інтегрується з існуючою в готелі PMS (Property Management System). Вартість всіх замовлених клієнтом послуг автоматично враховується системою білінгу в рахунку, стан якого клієнт може перевірити в будь-який момент. Управління системою інтерактивного телебачення, оновлення її вмісту здійснюється віддалено.

Завдяки системі керування електроенергією (Energy Management System) готель може знизити витрати електроенергії на 30%. Через центральний комп'ютер можна контролювати й змінювати температуру в кожній кімнаті та кожному приміщенні готелю. Крім того, кожен гість може самостійно регулювати параметри у номері, щоб створити комфорт відповідно до своїх побажань та звичок. Системи можуть також використовуватись для подачі гарячої води.

Наприклад, однією з систем контролю енергоспоживання є Power Logic Power View. Програмне забезпечення PowerView дає можливість відстежувати роботу електромережі в реальному часі і віддалено контролювати електричне обладнання по всій електромережі. Зареєстровані показники виявляють втрати електроенергії, невикористані потужності. Включена можливість розподілу витрат на електроенергію по відділах і окремих процесах. Power View - це вигідне рішення з управління системою та контролю енерговикористання.

Переваги програмного забезпечення PowerLogic PowerView:

- зниження витрат на електроенергію;
- підвищення продуктивності підприємства шляхом оптимізації експлуатації електричної установки.

RFID (Radio Frequency Identification) – це радіо-частотна ідентифікація, зчитувач, що дозволяє одночасно зчитувати кілька міток, які знаходяться у радіусі дії антени. Така технологія використовується у дверних замках готелю, завдяки яким гість попадає в номер або інші приміщення готелю без ключа. Для доступу в номер гість може використати мобільний телефон.

Back-office (система керування внутрішніми службами готелю) спрощує й підвищує ефективність роботи працівників, знижує кількість помилок, дозволяє поліпшити якість обслуговування клієнтів. При цьому в готелі налагоджена система бездротової передачі інформації із центрального комп'ютера до персонального комп'ютера кожного співробітника, що дає персоналу інформацію, які номери треба прибирати, які необхідно ремонтувати, які замовлення клієнтів.

Існує великий вибір автоматизованих систем керування, які можуть застосовуватися в готелях. Наявність технічних засобів безпеки в сучасному готелі також є обов'язковою умовою його успішного функціонування. Надання гарантій безпеки – показник певної якості обслуговування, фактор залучення клієнтів і можливість знаходження їх лояльності в майбутньому.

Технологічні інноваційні процеси в готельній індустрії включають:

- новітні прогресивні методи бронювання місць у готелі, реєстрації гостей та обліку послуг, що їм надаються;
- інновації в обслуговуванні гостей поверховими службами;
- новітні технічні засоби та системи, що забезпечують процес прибирання номерного фонду та нежилых приміщень готелю;
- впровадження інновацій у сферу надання додаткових послуг;
- застосування новітніх інформаційних систем.

Інноваціями в готельному бізнесі є впровадження глобальних систем бронювання (GDS). До них належать чотири основні світові системи

бронювання: Amadeus, Galileo, Sabre та Worldspan. В Україні найпоширенішою із цих систем є Amadeus.

Виробничі інновації орієнтовані на розширення виробничих потужностей, диверсифікацію виробничої діяльності, зміну структури виробництва. Економічні інновації спрямовані на зміну методів і способів планування всіх видів виробничо-господарської діяльності, зниження виробничих витрат, вдосконалення матеріального стимулювання, раціоналізацію системи обліку.

Екологічні інновації в готельному бізнесі

Одним із видів інновацій є екологічні інновації, які спрямовані на зменшення забруднення навколишнього середовища, економію ресурсів.

Термін «екоінновації» першими використали К. Фаслер і П. Джеймс, які трактували їх як процеси і продукцію, що сприяють сталому розвитку. А. Рейд і М. Мідзінські розуміють екоінновації як створення нових і конкурентоспроможних товарів, послуг, процесів, розроблених для задоволення потреб людей і забезпечення кращої якості життя, що передбачає мінімальне використання природних ресурсів.

До екологічних інновацій можна віднести (Белякова, 2011):

- розроблення, створення і впровадження нових технологічних процесів і циклів розроблення й погодженого розвитку всіх функціональних ланок з видобутку ресурсів, їхнього перероблення, використання відходів і відтворення цих ресурсів;

- розроблення й використання ресурсозберігаючої техніки, маловідходних і безвідходних технологій, що забезпечують комплексне освоєння природних ресурсів, розроблення біотехнології;

- освоєння нових територій, а також розширення тих, що діють, з урахуванням екологічної безпеки населення і виробництва;

- розроблення і випуск нових екологічно чистих продуктів і створення потужностей для їх виробництва, розроблення варіантів використання нових і поновлюваних джерел енергії;

- впровадження нових організаційних форм, включаючи удосконалення організаційно-територіальної структури потенційно небезпечних виробництв, з метою зниження їх екологічної небезпеки;

- формування нового екологічного мислення у працівників, впровадження обов'язкової екологічної освіти.

Виходячи із загальносвітових тенденцій, перспективними напрямками екологічних інновацій є: енергозбереження; економне використання матеріалів та природних ресурсів; використання екологічно чистих та безпечних матеріалів, продуктів; екологізація транспорту.

В сфері гостинності найбільш яскраво відображається екологізація діяльності в екологічних готелях. Так, під екоготелем слід розуміти готель, що функціонує за принципом гармонійного співіснування з природою, не забруднюючи оточуюче середовище та раціонально використовуючи природні ресурси (Ганич та Гаталяк, 2019).

Завданнями екологічних готелів є раціональне використання природних ресурсів, збереження здоров'я гостей та формування екологічної свідомості щодо відповідальності за вплив на довкілля. Згідно європейських стандартів в таких готелях мають бути системи екологічно чистого опалення, використовуються власні очисні споруди стічних вод, проводиться класифікація всіх відходів, застосовуються екологічні лампи для освітлення, для приготування їжі використовуються виключно екологічно чисті продукти, а також наявні органічні засоби особистої гігієни.

Для отримання статусу екологічного готель повинен пройти добровільну сертифікацію. Базою для систем сертифікації є стандарт управління природокористуванням ISO 14001 (EMS), який був прийнятий Міжнародною асоціацією з стандартизації в 1991 р. Найбільш відомими системама

сертифікації готелів є: Green Globe (Великобританія), Green Key (Данія), НАС Green Leaf (Канада), Touristik Union International (TUI) (Німеччина) тощо.

Екологічна сертифікація закладів готельного бізнесу в Україні впровадиться на засадах міжнародної програми екологічної сертифікації готелів Green Key, що координується Міжнародною організацією з екологічної освіти (Данія). Загалом Green Key використовується у понад 25 країнах.

Метою програми є проведення екологічної сертифікації готелів, кемпінгів, будинків відпочинку, видача міжнародного сертифікату та внесення у базу даних. Наведена програма екологічної сертифікації “Зелений Ключ” має також освітній компонент: вона сприяє підвищенню екологічної свідомості як персоналу, так і споживачів, контрагентів фірми.

Учасники програми обов’язково мають відповідати 60 міжнародним та національним критеріям, що стосуються екологічного менеджменту, підвищення екологічної свідомості персоналу, гостей та постачальників, економії всіх видів ресурсів.

Мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище, піклування про безпеку та здоров’я відвідувачів і персоналу, поважне відношення до культурних і етичних цінностей місцевої громади лежать в основі принципів екологічного готелю.

Слід зазначити, що кількість готелів, які пройшли екологічну сертифікацію в Україні, ще досить незначна (табл. 1).

Таблиця 1

Готелі України, що пройшли екологічну сертифікацію Green Key

№	Місце розташування	Назва готелю
1	м. Київ та область	Radisson Blu Hotel; Rus Accord Hotel; Баккара Арт-готель; Maison Blanche; Maison Blanche (Mytnitsa)
2	м. Львів	Reikartz Dworzec; Reikartz Medievale; Дністер Прем'єр Готель
3	м. Миколаїв	Reikartz Рівер
4	м. Запоріжжя	Reikartz
5	м. Харків	Reikartz
6	Закарпатська область	Ковчег
7	Дніпропетровська обл.	Friend House
8	Івано-Франківська обл.	Krasna Polyana

Джерело: (Загорянська, 2018).

Для того, щоб вважатися екологічно дружнім до навколишнього середовища готелем, доцільно вживати наступні заходи:

- пропонувати клієнтам органічну продукцію харчування місцевого вирощування. Не використовувати генетично модифіковані продукти;
 - впроваджувати систему екологічного менеджменту на підприємстві;
 - здійснювати контроль за використанням води, енергії та інших ресурсів.
- Так, інноваційним рішенням в зелених готелях для уникнення надлишкових втрат води є встановлення на кранах умивальників пристроїв регулювання потоку води, які змішують воду із повітрям;
- використовувати для енергозабезпечення відновлювальні джерела енергії (сонця, вітру, води). Для отримання гарячої води доцільно використовувати сонячні батареї;
 - енергоощадне освітлення. Так, використання LED – ламп дає змогу економити на 80 % більше енергії, ніж традиційні лампи;
 - рециркуляція стічних вод, їх очистка та повторне використання;
 - збирання та повторне використання дощової води. Готелі споживають дуже велику кількість води, тому для її економії можна збирати і повторно використовувати дощову воду для технічних і господарських цілей (для потреб поливу саду, туалетів тощо);
 - використовувати побутову техніку, яка економить електроенергію;
 - сортувати відходи, проводити їх належну утилізацію. В еко-готелях мають бути окремі урни для сортування сміття як для персоналу, так і для гостей;
 - використовувати екологічно чисті миючі засоби (шампуні, мило для гостей);
 - вибирати меблі з екологічних матеріалів, надавати перевагу виробам місцевих виробників;
 - здійснювати трансфер гостей екологічно чистими транспортними засобами (електромобілями);
 - пропонувати послугу підзарядки електромобілів;

- надавати гостям в оренду велосипеди. Саме велосипедна прогулянка дає можливість гостям активно відпочити, ознайомитися з навколишнім середовищем в екологічно безпечний спосіб. Крім того, надання в безкоштовне користування клієнтам велосипедів підвищує їх лояльність до готелю;

- екологічне виховання працівників, гостей. Так, доцільно в кімнатах розміщувати інформацію для клієнтів щодо економії водних ресурсів, енергії, сортування відходів тощо. Гостям можна надавати окрему листівку, в якій нагадується важливість охорони навколишнього середовища та заходи, які може зробити клієнт з цією метою;

- не використовувати одноразовий пластиковий посуд, замінити його на багаторазові контейнери;

- співпрацювати із місцевою спільнотою, використовувати її послуги, продукцію, залучати місцеве населення до господарської діяльності.

З метою економії та зниження відходів продуктів харчування набуває популярності серед готельєрів світу програма на базі штучного інтелекту - The Winnow Vision AI. Інноваційна система являє собою комплекс відеокамер, спеціальних ваг і лічильників, які дозволяють відстежувати та аналізувати дії, які відбуваються на кухні ресторанів. Система аналізує кількість інгредієнтів, які використовуються для приготування страв, а потім порівнює їх з кількістю невитрачених продуктів. Таким чином, можна розробити оптимальні заходи з використання продуктів на всіх стадіях: від закупівлі інгредієнтів до подачі на стіл.

Використання альтернативних джерел енергії дозволяє скоротити споживання природних ресурсів, а значить - негативний вплив на навколишнє середовище. Найбільшою популярністю користуються сонячні батареї. У багатьох зонах з постійними вітрами хорошим доповненням до сонячних батарей можуть стати вітрогенератори.

Слід зазначити, що впровадження інновацій, в тому числі екологічних, потребує значних фінансових вкладень. Підприємства не завжди мають достатньо коштів, щоб фінансувати інноваційну діяльність. Вигодою від

впровадження екоінновацій для підприємств є скорочення витрат за рахунок економії ресурсів (води, енергії тощо), а також відбувається покращення конкурентоспроможності фірми за рахунок збільшення числа споживачів, для яких екологічність продукції і послуг є важливими критеріями при виборі закладу розміщення. Крім того, покращується імідж підприємства серед суспільства, оскільки люди позитивно ставляться до закладів, які впроваджують екологічні нововведення, випускають екологічну продукцію тощо.

Для впровадження екологічних інновацій в економіці України та готельному господарстві зокрема важлива роль відводиться державі, яка повинна створити сприятливе інвестиційне середовище для підприємств шляхом відповідної законодавчої, фінансової політики.

Для стимулювання еко-інновацій потрібно впроваджувати на державному рівні такі заходи (Сотник та Чумакова, 2013):

- створення законодавства, яке б стимулювало інноваційну діяльність, особливо в напрямі екологізації;
- стимулювати розвиток інфраструктури, яка впроваджує інновації (технопарків, технополісів, фірм, які здійснюють науково-технічну та інноваційну діяльність);
- запровадити ефективний державний механізм залучення вітчизняних та закордонних інвестицій для екологізації інноваційної діяльності шляхом захисту прав інвесторів тощо;
- заохочувати запровадження на підприємствах інноваційного екологічного менеджменту, що забезпечує збільшення інвестицій на охорону навколишнього природного середовища;
- сформувати систему державних економічних стимулів, які б сприяли залученню вітчизняних і зарубіжних інвестицій, зокрема, зниження оподаткування підприємств, які впроваджують екологічні технології, податкові канікули тощо;

- забезпечити кредитне стимулювання підприємств, які впроваджують екологічні технології;
- надавати пряму бюджетну підтримку підприємствам, які впроваджують екологічні інновації.

Висновки

Інновації в сучасних умовах господарювання є важливим чинником виживання та покращення конкурентних переваг підприємства. Інновації можуть бути різних видів: продуктові, організаційні, соціальні, технологічні, екологічні, економічні. Екологічні інновації пов'язані з економією, раціональним використанням природних ресурсів. Екоготелі є прикладом екологічних інновацій в готельному господарстві. Щораз більше готелів використовують екологічно безпечні матеріали в інтер'єрі та обладнанні, безвідходні технології, екологічно чисті продукти. Екологічна концепція готелю позитивно впливає на його імідж, приводить до збільшення постійних клієнтів, привабливості для інвесторів, загальної соціальної привабливості готелю. Впровадження екологічних чи будь-яких інших інновацій потребує значних капіталовкладень, які в майбутньому принесуть економічну вигоду за рахунок економії ресурсів, збільшення числа споживачів, а значить і прибутків. Для активізації впровадження екологічних інновацій в готельний бізнес необхідна державна підтримка таких підприємств.

Список літератури

- Белякова, О. В. (2011). *Екологічні інновації – шлях розвитку ринку екологічно чистих товарів. Маркетинг і менеджмент інновацій*, 4, Т. II, 268-272. Retrieved from https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2011_4_2_268_272.pdf
- Влащенко, Н. М. (2016). *Конспект лекцій з навчальної дисципліни „Інноваційні технології в готельному господарстві”*. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.

- Ганич, Н. М., & Гаталяк, О.М. (2019). Екологізація готельного та ресторанного бізнесу. *Географія та туризм*, 43, 39-47. Retrieved from <http://www.geolgt.com.ua/images/stories/zbirnik/vipusk43/v436.pdf>
- Гудзовата, О. О. (2013). Автоматизовані системи управління готелями. *Торгівля, комерція, підприємництво*, 15, 94-98.
- Загорянська, О. Л. (2018). Оцінка конкурентоспроможності екологічних готелів у сучасних умовах господарювання. *Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського*, 22, 662-668.
- Сотник, І. М., Чумакова, М. М. (2013). Ринок екологічних інновацій та проблеми його розвитку. *Механізм регулювання економіки*, 3, 38-48.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ТА ЗЕЛЕНОГО (СІЛЬСЬКОГО) ТУРИЗМУ В ЧЕРНІВЕЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

Паньків Н.Є., Інститут сталого розвитку ім. В.Чорновола, Національний університет “Львівська політехніка”; к.б.н., доц., доцент кафедри туризму; Україна

Abstract

The article analyzes the tourist and recreational resources of Chernivtsi region and identifies prospects for their use for the development of ecological and green (rural) tourism. The main ecotourism representatives of the Bukovynian Carpathians have been singled out, in particular, the Vyzhnytskyi, Cheremoskyi and Khotynskyi National Nature Parks. The main networks of ecological and tourist routes are described, which are designed in such a way as to cover as much as possible the interesting objects of the natural landscape for the development of ecotourism in the region. It was found that the territory of Chernivtsi region has a unique potential for the development of ecological and green (rural) tourism, in particular: good geographical location, favorable climatic conditions, terrain features (compact location of plains, foothills and mountains, river valleys with canyon-like areas) and high percentage. (12.8%) of the territory that makes up the reserve fund of the region, the presence of many components of recreational resources, rich historical and cultural heritage and long-term coexistence of different cultures and traditions in a relatively small area. It is established that the development of green (rural) tourism in Bukovyna develops unevenly. Most rural estates operate in five districts: Vyzhnytskyi, Putylskyi, Kitsmanskyi, Khotynskyi and Kelmenetskyi. There is no official private village estate in Hertsaviv and Zastavniv districts, despite the diversity of natural resources, historical and sacred sites. Given the favorable geographical position of Chernivtsi region - the proximity of the Carpathian Mountains, the availability of highways and railways of international tourism, passing through the

territory of the region, it is advisable to develop ecological and green (rural) tourism in Bukovina, which will contribute to environmental protection and tourism. - recreational resources of the region and provide work for local residents, which, in turn, will lead to economic growth in the region as a whole.

Вступ

Природа Чернівецької області у значній мірі добре збережена, оскільки антропогенний вплив на навколишнє середовище в регіоні ніколи не був суттєвим, тому, область репрезентує широкий спектр туристично-рекреаційних ресурсів сприятливих для розвитку екологічного та зеленого (сільського) туризму. Однак, при цьому слід враховувати, що природа Карпатського краю має особливе значення для України і для Європи, загалом, тому потребує ошадливого використання природних ресурсів та їх збереження.

Метою роботи було дослідити функціонування і розвиток екологічного та зеленого (сільського) туризму в Чернівецькій області. Відповідно, визначено *об'єкт* дослідження - сучасний стан та тенденції розвитку екологічного та зеленого (сільського) туризму Чернівецької області та *предмет* - туристично-рекреаційні ресурси Чернівецької області.

Завданням роботи було дослідження туристично-рекреаційних ресурсів Буковини та визначення перспектив їх використання для розвитку екологічного та зеленого (сільського) туризму в області.

Практичне значення роботи полягає в тому, що результати досліджень сприятимуть розширенню переліку туристичних та туристично-інформаційних послуг, промоції туристичного потенціалу області, збільшенню кількості туристів і розвитку екологічного та зеленого (сільського) туризму в області, що зумовить збільшення кількості робочих місць та, відповідно, зростання рівня добробуту місцевого населення і наповнення бюджету їхніх громад.

Матеріали і методи досліджень

У процесі дослідження застосовувались аналітичний, порівняльно-географічний методи, а також методи узагальнення та систематизації.

Аналіз літературних джерел

Великий внесок у виявлення і дослідження проблемних питань розвитку зеленого (сільського) та екологічного туризму зробили вчені: Горішевський, Васильєв та Зінько (2003), Зінько (2013), Рутинський та Зінько (2006) та багато інших. Разом з тим комплекс науково-практичних проблем, пов'язаних із функціонуванням цих видів туризму, їх впливом на аспекти життя сільського населення та розвиток економіки, залишається недостатньо дослідженим у зарубіжній та вітчизняній науковій літературі.

Результати досліджень

Розвиток екологічного туризму в Чернівецькій області

Загострення екологічних проблем туристичної діяльності вимагає пошуку нових векторів розвитку. Одним із них є застосування в туризмі основоположних принципів концепції сталого розвитку, який задовольняє потреби сьогодення і не ставить під загрозу задоволення потреб майбутніх поколінь. Управління туристичною сферою на засадах сталого розвитку ґрунтується на двох основоположних підходах: ощадливе використання природних ресурсів та мінімізації шкоди для довкілля; забезпечення збалансованого соціально-економічного розвитку туристичних регіонів.

Розвиток екологічного туризму є надійним інструментом для розв'язання завдань сталого розвитку, оскільки, зберігаючи природу і залишаючись прибутковою галуззю економіки, має важливе соціальне значення.

Для його розвитку використовують природоохоронні території, які мають важливе рекреаційне туристичне значення в Україні. В межах Чернівецької області нараховується 331 заповідна територія та об'єкт, загальною площею понад 103 тис. га, що складає 12,8 % території області (загальний показник по

Україні – 6,7 % територій) із них - 28 об'єктів мають загальнодержавне значення, а саме: 3 Національні природні парки: “Вижницький”, “Черемоський” та “Хотинський”, 3 Регіональні природні парки, 10 заказників, 9 пам'яток природи, 2 дендропарки та Чернівецький ботанічний сад (рис. 1) (Природно-заповідний фонд України / Портал “Природа України. Електронний ресурс).

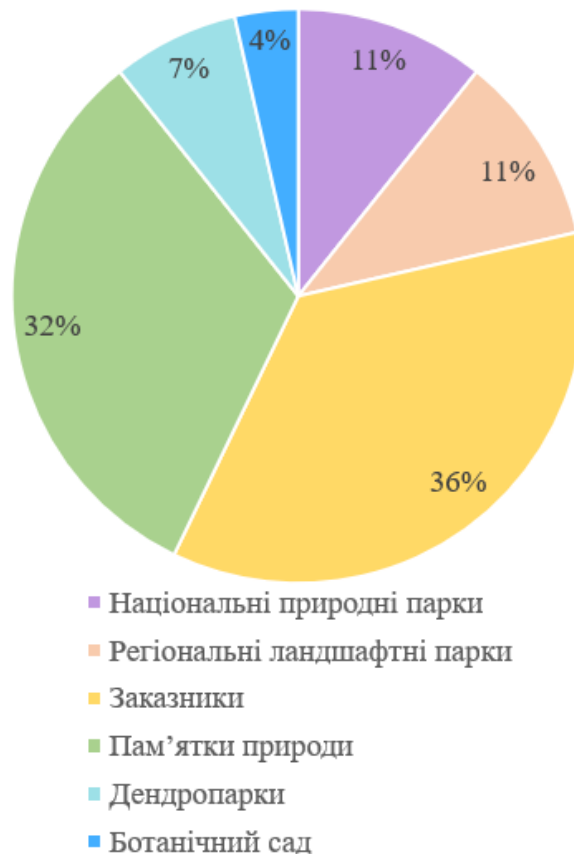


Рис. 1. Об'єкти природно-заповідного фонду Чернівецької області.

Основним екотуристичним репрезентом Буковинських Карпат є *Національний природний парк “Вижницький”* розташований в області Зовнішніх Карпат, на Берегометському низькогір'ї та підгірних височинах та у басейнах річок Черемошу (права притока р. Прут) та Сірету (ліва притока р. Дунай). На території парку є також мінеральні джерела, зокрема, джерела “Лужки”, “Стіжок”, “Стебник”, “Зубринець” та “Діана” (Національний природний парк “Вижницький”. Електронний ресурс).

Завдяки сприятливим природнім умовам парк “Вижницький” має великий потенціал для розвитку туризму. Рекреаційна база парку представлена двома

стаціонарними рекреаційними пунктами “Лужки” і “Велика розчищ” відповідно в зонах м. Вижниці й смт Берегомет, дев’ятнадцятьма рекреаційними площадками різних типів і комплектацій, що розміщені по всій території парку, двома рекреаційними будинками (ур. Стебник) й одним будинком моніторингу (ур. Солонець). Одна з рекреаційних площадок – “Сонячна поляна” в ур. Стебник – за своєю площею і значущістю в майбутньому може претендувати на статус рекреаційного пункту. Ці об’єкти одночасно можуть прийняти 288 відвідувачів у літній період і 58 взимку.

Як зазначено на офіційному сайті Національного природного парку “Вижницький”: “У парку створена мережа еколого-туристичних маршрутів загальною протяжністю 87 км, зокрема, розроблено, промарковано й описано дві екологічні стежки та вісім еколого-туристичних маршрутів. Особливою популярністю користується стежка “Стіжок”, маршрути “Коромисло”, “Кам’яне кільце парку”, “Мальовничі краєвиди Кінашки”, “До джерела Лужки”. Екостежки та маршрути розроблені таким чином, щоб максимально охопити цікаві для краєзнавчого пізнання окремі об’єкти природного ландшафту, етнографічні та бальнеологічні як у межах НПП “Вижницький”, так і на прилеглих територіях. Це г. Стіжок на південно-східній околиці смт Берегомет з популярною тектонічною печерою Довбуша (екостежка “Стіжок”), хр. Баньків зі скельною баштою висотою 15 м (маршрут “Від краю до краю”), джерело Лужки з унікальною водою сульфатно-алюмінієво-залізистого складу (маршрути “До джерела Лужки”, “Кам’яне кільце парку”), геологічні пам’ятки природи “Печера Довбуша” (маршрут “До печери Довбуша”) та “Протяте каміння” (маршрут “Кам’яне кільце парку”), що на прилеглий до парку території в сусідньому Путильському адміністративному районі та багато інших. Всі еколого-туристичні маршрути одноденні протяжністю від 7 до 15 км, але через базові рекреаційні пункти “Лужки” і “Велика розчищ” сформовані так, що дозволяють організувати багатоденні тури з максимальним охопленням унікальних об’єктів на території парку та прилеглий. Так, рекреаційний пункт (РП) “Велика розчищ” і “Лужки” поєднує маршрут “Від краю до краю”, а на РП

“Лужки” зав’язані маршрути “До джерела Лужки”, “Кам’яне кільце парку” і “До печери Довбуша” (Офіційний сайт Національного природного парку “Вижницький”...).

Крім зазначених вище рекреаційно-туристичних об’єктів для ознайомлення з парком слід врахувати і наявність еколого-освітніх: еколого-просвітницький центр “Чотири пори року” і реабілітаційний центр для тварин у центральному офісі парку, еколого-просвітницький та науково-дослідний центр з відновлення зубра біля РП “Велика розчищ” в ур. Сухий та музей природи в с. Зеленів сусіднього Кіцманського адміністративного району (Різниченко та Руснак, 2015). Відповідальним за роботу щодо екологічного виховання та просвітництва є еколого-просвітницький центр парку, який, зокрема, організовує різноманітні експозиції. Вони пролягають по території парку, та прилеглих територіях. Екскурсійні маршрути передбачають відвідування пам’яток природи, історико-архітектурних пам’яток, а також безмежну красу панорам та мальовничих краєвидів, які можна споглядати з висоти пташиного польоту (Офіційний сайт Національного природного парку “Вижницький”...).

Національний природний парк “Черемоський” - розташований на території Путильського району області, саме в серці українських Карпат, у межах Чивчино-Мармароського масиву, де є цінні природні комплекси з перевагою ялинових лісів, субальпійських та альпійської рослинності. Мальовничі карпатські краєвиди, зелені гірські плаї, вкриті високими смерековими лісами, неповторний світ флори та фауни, чисте гірське повітря, віддаленість від цивілізації робить цей куточок Карпат унікальним та неповторним.

На офіційному сайті Національного природного парку “Черемоський” вказано, що: “На даний час прокладено низку еколого-туристичних маршрутів, зокрема: “Дорогою до небес”; “Найстаріші дерева національного природного парку “Черемоський”; “Горами на велосипеді”. На території НПП побудовано чимало альтанок, облаштовано столиками і лавочками туристичні маршрути.

Прикрашено барвистими банерами, аншлагами, інформаційними і вказівними знаками. Благоустроєно водні джерела і виготовлено зруби криничок. Є умови для активного відпочинку, такі як вело маршрут на гірських велосипедах, катання верхом на конях, використання гірських схилів для дельтапланеризму, а в зимовий період для санного і лижного катання. Родзинкою НПП є збудована колективом парку Каплиця на честь Святого Великомученика Євстафія Плакиди, яка знаходиться на висоті 1340 м над рівнем моря на горі Томнатик. Гора Томнатик широко відома завдяки розміщенням на ній колишньої Радянської військової бази “Памір” і є цікавим об’єктом в туристичних маршрутах по відвідуванню Буковинських Карпат” (Офіційний сайт Національного природного парку “Черемоський”...).

Парк пропонує відвідувачам насолодитися видами гір, прославленої річки Черемош та ознайомитися з місцевою фауною. Тільки в цих місцях можна побачити тритонів, плямистих саламандр, чорних лелек. Деякі тварини перебувають на межі вимирання, тому занесені до Червоної книги Європи. На території парку заборонені полювання та риболовля, але популяризується туризм. Відвідувачам пропонують також ознайомитися з місцевими пам’ятками архітектури та домашнього ремесла місцевих мешканців. НПП “Черемоський” має також потужні рекреаційні можливості для духовного, фізичного оздоровлення відвідувачів і надання їм повноцінного відпочинку (Національний природний парк “Черемоський”...).

Національний природний парк “Хотинський” знаходиться на правому березі Дністра в Чернівецькій області. Він репрезентує заліснені і остепнені ландшафти стрімких схилів унікального Дністровського каньйону – одного з природних див України (40% території), решта 60% - Дністровське водосховище (Природні парки / Національний природний парк “Хотинський”...).

Головна частина території парку, як зазначено на офіційному сайті *Національного природного парку “Хотинський”*: “Представлена ландшафтами крутосхилів каньйонної долини Дністра та його правих приток з листяними

лісами та лучно-степовими асоціаціями на скельних відслоненнях і розсипах. До складу парку увійшла низка об'єктів природно-заповідного фонду (повністю або частково), зокрема ландшафтні заказники місцевого значення “Поливанів яр”, “Молодівський яр”, “Шебутинський яр”, “Галицька стінка”, “Бабинська стінка”, “Гриняцька стінка”; іхтіологічні заказники “Бернівський острів”, “Дарабанське плесо”, “Орестівський”, “Непоротівський”, “Куютинський”; геологічні пам'ятки природи місцевого значення “Стратотип Дзвенигородської світи силуру”, “Стратотип пригородської світи силуру”. На стрімких схилах каньйону в місцях відслонення гіпсів та вапняків досліджено понад 30 невеликих печер. В околицях с. Гринячка розташований один із найвищих (30 м) водоспадів Буковини, що бере початок з потужного карстового джерела. До території парку входить теж частина водного плеса Дністерського водосховища в межах адміністративної межі Чернівецької області. Завдяки теплому та зволоженому водами Дністра мікроклімату, тут досить різноманітна флора та фауна. Зустрічається чимало червонокнижних видів. Одним з них є кіт лісовий, красива та дуже обережна тварина” (Природні парки / Національний природний парк “Хотинський”...).

З найпопулярніших туристичних об'єктів на території національного парку є Хотинська фортеця, що входить до списку 7 архітектурних чудес України. Тут щорічно проводиться низка культурних та історичних заходів, знімається кіно, тощо. Серед найбільш визначних, привабливих туристичних об'єктів парку є Галицький монастир (XI-XIIст.), який засновано раніше ніж всесвітньо відома Києво – Печерська лавра, одна з найстаріших культових споруд області - Рухотинська церква (1459 р.) та перлина Галичини, Буковини та Поділля – річка Дністер. Яка за тисячоліття проклала собі шлях до моря через кам'яні скелі, ставши український аналогом знаменитого Великого Каньйону.

Фахівцями парку розроблено екологічні стежки, місця рекреації та список відповідних садиб, які можуть прийняти туристів (адже у власності парку ще немає баз відпочинку). Національний природний парк “Хотинський” може

запропонувати незабутню, цікаву подорож в минуле, пройшовши екологічною стежкою *“Пагорбами Замчища”* (Хотинський район), наявно доторкнутися до заказних, незайманих ділянок пралісу, уявно пройтись по зниклому у вирі тисячоліть місту. На стежці *“Шишкові горби”* (Кельменецький район) здійснюється тригрядовий горбастостовпцевий ланцюг окремих шишкоподібних горбів конусної форми висотою 15–20 м із мальовничими скельними утвореннями. Зустрічаються тут рідкісні червонокнижні представники флори та фауни, а також лікарські рослини. А помилуватися неповторними краєвидами Дністра допоможе розроблений туристичний водний маршрут *“Подорож Дністром “Три сусідки”*, який охоплює три фортеці: Окопи, Атаки та Хотин. *Хотинський Національний природний парк* – незвичайне місце з казковими краєвидами. Природа краю гармонійно поєднала круті гори та річку, ліс зі степом, а люди залишили тут унікальну історично-культурну спадщину” (Туризм в національному природному парку “Хотинський” / Управління екології та природних ресурсів Чернівецької ОДА...).

Отже, територія Чернівецької області має унікальний потенціал для розвитку екологічного туризму, зокрема: вдале географічне розташування, сприятливі кліматичні умови, особливості рельєфу (компактне розміщення рівнинної, передгірської та гірської частини, долини рік із каньйоноподібними ділянками) та високий відсоток (12,8 %) території, що складає заповідний фонд області.

Розвиток зеленого (сільського) туризму в Чернівецькій області

Враховуючи зручне географічне розташування Чернівецької області зокрема, *близькість Карпатських гір*, наявність автомобільних доріг та внутрішнього і міжнародного залізничного сполучення, а також торгових шляхів – “Західна Європа – Балкани” тощо, регіон включено до міжнародної Програми “Єврорегіон “Верхній Прут”. Традиційний надлишок трудових ресурсів у гірських та передгірних районах області – Сторожинецький, Вижницький, Путильський райони – визначає туристичну діяльність, як

пріоритетний напрямок розвитку економіки у регіоні.

Буковинські села мають багату історико-архітектурну спадщину, культуру, самобутній побут, мальовничі ландшафти та численні лікувально-рекреаційні ресурси. Разом з тим, гострою проблемою для багатьох сіл є брак робочих місць та зростаючий надлишок робочої сили, вивільнюваної з сільськогосподарського виробництва. Враховуючи відсутність потрібних капіталовкладень на їх створення, більше уваги варто приділяти галузям, які не потребують для свого розвитку великих коштів. До таких галузей належить і *зелений (сільський) туризм*, який розвивається в *Чернівецькій області*. Адже в селах, які мають відповідну рекреаційну базу та численні приватні садиби, завжди було багато відпочиваючого міського населення (Рутинський та Зінько, 2006).

Детальна інформація про агросадиби Чернівецької області розміщена на офіційному сайті ГО “Спілка сільського зеленого туризму України” за посиланням <https://www.greentour.com.ua/region/chernivetska>, де виокремлюють агросадиби різної категорії. Зокрема: “До першої категорії належить садиба “Бульбона” с. Товарниця, Путильського р-ну. Власник садиби - Вишницький Дмитро Остапович - керівник відокремленого підрозділу громадської організації “Спілка сприяння розвитку сільського зеленого туризму в Україні” у Чернівецькій області; до базової категорії — Клуб сімейного відпочинку “Буковинська Троя” (Офіційний сайт ГО “Спілка сільського зеленого туризму України”...).

На сайті Чернівецької обласної державної адміністрації також зібрано інформацію про сільські садиби області. Зокрема: “База відпочинку зеленого туризму “Джсія” в с. Мошанець, розташована на березі Дністровського водосховища, в с.Мошанець, Кельменецького району; *Гостинна садиба „Дім рибалки” в с. Бернове*. Комплекс розташований на березі Дністровського водосховища, в с.Бернове Кельменецького району. Гостьовий будинок розташований за 50 м від води; *Агрооселя в с. Макарівка*. Комплекс розташований на березі Дністровського водосховища, в с. Макарівка

Кельменецького району; *Агрооселя в с. Вороновиця*. Сільські садиби розташовані на березі Дністровського водосховища, в с.Вороновиця; *Яхт – клуб “Маяк”*, розташований на березі Дністровського водосховища, с. Дністрівка Кельменецького району та інші” (Сільські садиби / Офіційний сайт Чернівецької ОДА...).

З огляду на доступну інформацію, очевидно, що розвиток зеленого (сільського) туризму на Буковині розвивається нерівномірно. Найбільше сільських садіб діють на території п'яти районів: Вижницького, Путильського, Кіцманського, Хотинського та Кельменецького; кількість приватних садіб у Глибоцькому, Новоселицькому, Сокирянському та Сторожинецькому районах коливається від 1 до 4 (рис. 2.) (Офіційний сайт Департаменту екології та туризму Чернівецької обласної державної адміністрації). У Герцаївському та Заставнівському районах офіційно не діє жодної сільської приватної садиби, незважаючи на розмаїття природних ресурсів (джерела та струмки з лікувальними властивостями), історичні та сакральні об'єкти (Банченський Святовознесенський чоловічий монастир, залишки курганів на захід від центру Заставни тощо).

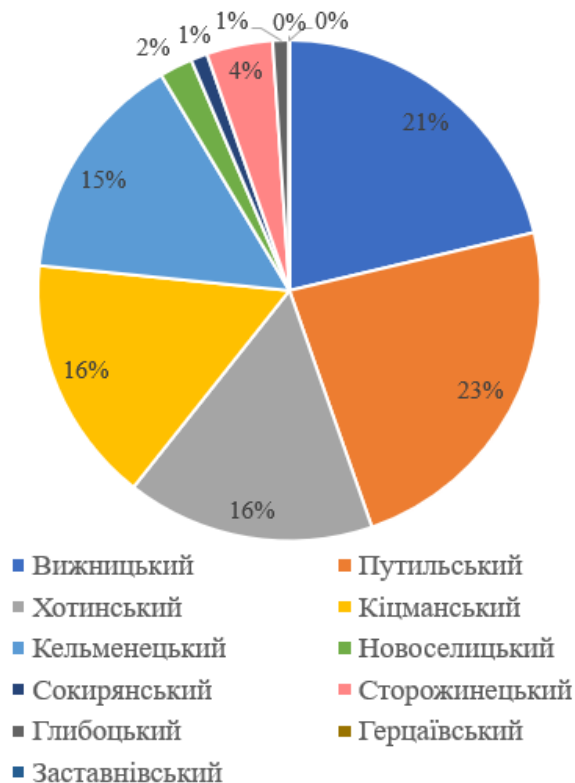


Рис. 2. Співвідношення кількості сільських садіб у районах Чернівецької області

В області потрібно формувати спеціальну програму розвитку цього виду діяльності. Потребують вирішення питання про оподаткування, тарифи на житло і послуги, систему маркетингу, гарантії щодо прийому і обслуговування гостей, певні стандарти обслуговування тощо (Биркович, 2007).

При цьому, доцільно врахувати позитивний досвід роботи проекту програми TACIS: “Підтримка місцевого розвитку і туризму в Карпатському регіоні”, який працював в трьох пілотних районах (Вижницькому, Путильському, Сторожинецькому) Чернівецької області. Головною метою цього проекту була розробка екотуристичної стратегії та екотуристичного плану, як складових частин загального менеджмент-плану по сталому використанню природних ресурсів на території пілотних регіонів. Результатом роботи проекту стало ознайомлення громадськості пілотних регіонів з поняттям та можливостями зеленого (сільського) туризму, навчання громадян первинним навичкам роботи в цій сфері, надання фінансової підтримки власникам агроосель по схемам “грант”, “грант-кредит”, розробка єдиної маркетингової стратегії, створення Ради з туризму Карпатського регіону. Основними так званими “точковими зонами” для подальшого розвитку зеленого (сільського) туризму можуть стати с. Виженка Вижницького району, с. Банилів-Підгірний Сторожинецького району, смт. Путила Путильського району. Слід також звернути особливу увагу на великий потенціал районів, які знаходяться на березі р. Дністер, а також на недостатньо використані туристично-пізнавальні можливості Хотинської фортеці” (Долга, 2011).

Завдяки розвитку зеленого (сільського) туризму на Буковині формується новий комплексний туристичний продукт, який враховує природні, історико-культурні та інші ресурси сільської місцевості Чернівецької області.

На території області автори Кілінська, Скутар та Плаксивий (2014) виокремлюють два туристичні райони: Бессарабсько-Подністерський (охоплює Кіцманський, Заставнівський, Хотинський, Новоселицький, Кельменецький і Сокирянський райони), основними напрямками розвитку туризму в якому є пізнавально-екскурсійний, історико-культурний, діловий, пляжно-

відпочинковий і активний водний туризм та Буковинсько-Карпатський (охоплює Путильський, Вижницький, Сторожинецький, Глибоцький і Герцаївський райони), галузями спеціалізації цього району є усі види гірського туризму, а також етнічний і пізнавально-екскурсійний туризм. Для представників сільських місцевостей проводяться семінари з розвитку і функціонування зеленого (сільського) туризму, надаються консультації та рекомендації (Стратегія туризму Чернівецької області / Відділ з питань туризму Чернівецька ОДА).

У Бессарабсько-Подністерському районі функціонує 38 приватних садиб. Найбільше їх у Кіцманському (15) і Хотинському (15) районах, найменше у Сокирянському районі (1) (див. рис. 2.). Як зазначає автори Кілінська та ін. (2014): “Основними видами діяльності та відпочинку екотуристів є екскурсії на катерах по Дністерському водосховищу, рибна ловля, купання, верхова їзда, полювання, збір ягід та грибів, екскурсії історичними та пам’ятними місцями краю. Для розвитку туристично-рекреаційної сфери продовжують здійснюватись заходи для створення на берегах р. Прут структури відпочинкових зон з пропозиціями різних форм зеленого туризму в сс. Брусниця, Дубівці, Глиниця, Мамаївці, Киселів (Кіцманський район).

Хотинський район займає одне з провідних місць у Бессарабсько-Подністерському районі за кількістю приватних садиб та їх використанням. Власники садиб у своїй господарській діяльності вміло використовують природно-рекреаційні умови (каньйоноподібна долина р. Дністер) та історико-культурні ресурси (Хотинська фортеця). Використовуючи сучасні сільськогосподарські технології в районі створюються сади низькорослих фруктових дерев (яблука, груші, сливи).

Розвитку зеленого (сільського) туризму у Кельменецькому районі сприяє функціонуванням наступних туристичних об’єктів: база відпочинку зеленого туризму „Джія” в с. Мошанець; „Дім рибалки” в с. Бернове; агрооселя в с. Вороновиця; яхт-клуб с. Дністрівка та ін.

Сокирянський район вигідно вирізняється за кількістю туристично-рекреаційних ресурсів серед районів Чернівецької області, оскільки, район займає перше місце в області за запасами мінеральних ресурсів і одне з провідних місць за запасами земельних ресурсів. Однак, у районі функціонує одна приватна садиба „Чайка на Дністрі”. Тому, важливим завданням створення сприятливих умов для залучення іноземних і вітчизняних інвестиційних та кредитних коштів у розвиток матеріально-технічної бази туристичної галузі є підтримка розвитку екотуризму та зеленого (сільського) туризму, в тому числі власників приватних садиб, створення товариств та громадських організацій, що здійснюють свою діяльність у сфері туризму” (Кілінська та ін., 2014).

Буковинсько-Карпатський туристичний район охоплює гірські й передгірські райони західної частини області. Як зазначають автори Кілінська та ін. (2014): “Це основний туристичний район Чернівецької області, де зосереджено близько 65 % її сумарного рекреаційного потенціалу. Галузями спеціалізації району є усі види гірського туризму, а також етнічний і пізнавально-екскурсійний туризм. Туристичним „ядром” Буковинських Карпат є Вижницький національний природний парк (Вижницький район). Екологічний та зелений (сільський) туризм є однією з традиційних галузей його рекреаційної спеціалізації. Загальна кількість сільських населених пунктів становить 34. З них визнаними осередками туризму є м. Вижниця, с. Виженка, смт Берегомет, сс. Долішній Шепіт, Вали. Великі перспективи розвитку агрорекреаційного сервісу мають сс. Лопушна і Черешенька, в яких відкрито цілющі джерела сульфатних мінеральних вод, а також сс. Заріччя, Мигове, Вашківці. Господарі гірських агроосель щедро забезпечують своїх гостей екологічно чистими продуктами власного господарства та дарами лісу.

У межах Буковинсько-Карпатського туристичного району функціонує 47 приватних садиб (Путильський район – 22, Вижницький район – 20, Сторожинецький район – 4, Глибоцький район – 1) (див. рис. 2.). Основними видами відпочинку та діяльності туристів є кінні прогулянки, рибальство, збір грибів і ягід, піші прогулянки в гори, катання на конях, взимку – на санях,

відвідування в горах гуцульських садиб, проведення майстер-класів з приготування гуцульських страв. Родзинкою оздоровлення туристів у гірській місцевості є апітерапія, геліотерапія, аеротерапія, ландшафтотерапія і теренкур.

Вижницький район – етнічно найоднорідніший район Карпатського субрегіону. Серед його населення частка українців становить 98,2 %, інші етноси займають менше 2 %. Тутешні буковинці зберігають старожитні народні традиції, багата фольклорно-етнокультурна спадщина краю в усі часи вражала її дослідників та гостей. На території району знаходиться 6 пам'яток археології, 48 пам'яток історії. До послуг гостей відкрито 18 громадських музеїв та музейних кімнат. Кожен населений пункт Вижницького району може похвалитися своїми співочими традиціями та художніми народними промислами (вишивка, виготовлення килимів, обробка деревини, писанкарство). Вижницький район володіє багатьма структурними компонентами рекреаційних ресурсів багатопрофільного літнього і зимового, гірського, спортивного, культурно-пізнавального, лікувально-оздоровчого та зеленого сільського туризму. Всі ці чинники є основою до подальшого розвитку сільського зеленого туризму.

Сторожинецький район – найбільший за площею район області. Багатство народних традицій, дивовижного кулінарного мистецтва та гостинності людей призвело до того, що с. Банилів-Підгірний став одним з еталонів дослідження і розвитку сільського зеленого туризму у Міжнародному проекті програми „TASIS” „Екологічна мережа Карпат”. У багатьох агросадибах відпочивають туристи з України, Німеччини, Ізраїлю. У районі започатковано свято „Вихід на полонину”. На території району функціонує база відпочинку „Аква-плюс”, працюють бази відпочинку в селах Великий-Кучурів та Панка, Снячів, Череш, Бобівці та Банилів-Підгірний, де надаються різноманітні туристичні послуги.

Глибоцький район приваблює туристів музеєм-садибою Ольги Кобилянської (с. Димка) та пам'ятником архітектури – Білокриницьким старообрядницьким собором. До послуг туристів створені туристичні маршрути „Хотин–Глибока–Біла Криниця”, „Чернівці–Глибока–Біла Криниця”. У районі

впроваджується проект по зеленому туризму. На території району є значна кількість річок (Сірет, Дерелуй, Молниця, Невольниця, Коров'я, Котовець, Віча, Малий Сірет, які мають спортивне, оздоровче, лікувальне та естетичне значення. Глибоцький район багатий на мінеральні води. Тут є виходи гідрокарбонатних, хлоридних, сульфатних, сульфатно-кальцієвих, залізистих, сірководневих і різного іонного складу вод і розсолів. У районі є родовища неорганічних лікувальних грязей, які знаходяться на окраїні смт. Глибока. Вони є унікальними за своїм хімічним складом і лікувальними властивостями. У рівнинних і передгірних селах розвинуте ставкове рибне господарство є близько 60 ставків.

У Путильському районі зареєстровано 22 садиби, які працюють круглодобово і гостинно чекають на відвідувачів, зокрема, у сс. Підзахаричів, Тораків, Лустуна, Селятина, Стебні, Гробище, Конятина. Загалом, район готовий прийняти до двох тисяч туристів. Поблизу лісових хвойних масивів, на берегах гірських річок, високо в горах, на сонячних плато є безліч надзвичайно привабливих місць для розташування туристичних баз, відпочинкових комплексів та лижних трас. Лижну трасу з підйомниками та спусками прокладено на туристичній базі „Перевал Німчич” та с. Киселиці (Кілінська та ін., 2014).

Розвиток зеленого (сільського) туризму має важливе значення для добробуту місцевого населення. Господарі приватних садиб розширюють асортимент продукції власних господарств, зокрема, овочевих культур, фруктових дерев, ягідників тощо, збільшують обсяги фермерських господарств, враховуючи потреби та побажання туристів і, відповідно, збільшують кількість реалізованої продукції власного виробництва. Окрім того, розвиток зеленого (сільського) туризму сприяє покращенню благоустрою сільських садиб та стимулює розвиток соціальної інфраструктури (Долга, 2011).

Зелений (сільський) туризм є одним із пріоритетних напрямків соціально-економічного розвитку Чернівецької області. Координатором з розвитку є відділ з питань туризму обласної державної адміністрації, в районах

— відділи культури і туризму РДА. В “Рекомендаціях щодо діяльності в напрямку сільського туризму” зазначено: “Від початку становлення сільського туризму на теренах області (1996 рік) пройдено нелегкий шлях та в даний час він успішно набирає оберти. Прикладом цього є те, що відділ з питань туризму обласної державної адміністрації спільно з Спілкою сприяння розвитку сільського зеленого туризму Чернівецької області, ЧОГМЕО “Буквиця” взято участь та організовано наступні заходи, де представлено зелений (сільський) туризм Чернівецької області: у Всеукраїнських виставках-ярмарках сільського туризму “Українське село запрошує”, с. Пирогово Київська область; Буковинський туристичний ярмарок, м. Чернівці; “Туристичне містечко” в рамках проведення Петрівського ярмарку, м. Чернівці; фольклорно-етнографічний гуцульський фестиваль-ярмарок “Захарецький гарчик”. Ці заходи проводяться щороку, що є свідченням того, що цікавість до сільського туризму в цілому зростає. Крім того, видано низку промоційної літератури, що включає інформацію про розвиток сільського туризму: - брошури “Мальовнича Буковина”, “Мальовнича Буковина II”, “Туристично-інвестиційний потенціал Чернівецької області”, “Приваблива Буковина”, “Чарівна Буковина запрошує”, “Буковина туристична”; - буклет “Буковина туристична”; - книгу “Буковина туристична” (Рекомендації щодо діяльності в напрямку сільського туризму / Палітра Буковини Туристична громадська організація).

Окрім того, Буковина увійшла до проекту “Карпатська дорога смаку”, завдяки якому створюється в області гастрономічний туристичний маршрут. Проект є частиною програми ЄС “Підтримка розвитку системи географічних зазначень в Україні” та інструментом розвитку сільських територій. Його також втілюють у Закарпатській, Одеській та Івано-Франківській областях. Гастрономічний туризм пов'язаний з ознайомленням та дегустацією національних кулінарних традицій, він швидко розвивається та є досить прибутковим. Тож завдяки “Карпатській дорозі смаку” буковинські виробники зможуть реалізувати та популяризувати свою унікальну продукцію (На Буковині розвиватимуть гастрономічний туризм...).

Загалом, як зазначено у “Регіональній доповіді про стан навколишнього природного середовища Чернівецької області”: “Туристично-рекреаційний потенціал краю визначають такі особливості:

- зручне та вигідне географічно-транспортне положення, оскільки для України Буковина є воротами до країн Південно-Східної Європи - через регіон проходять важливі автомобільні та залізничні шляхи як державного, так і міжнародного значення. Туристи, які рухаються транзитом, досить часто зупиняються в Чернівцях для отримання різноманітних послуг - харчування, короткочасного проживання, оглядових екскурсій і т.п.

- національно-етнографічна особливість регіону, яка проявляється у своєрідній етнографічній культурі. Крім української, тут збереглась румунська, російська, польська, молдовська, вірменська, австрійська культури, відбулося змішування народів. Це забезпечує певні переваги при встановленні економічних та культурних відносин з відповідними країнами;

- сприятлива екологічна ситуація, оскільки Чернівецька область характеризується незначною забрудненістю внаслідок Чорнобильської катастрофи та діяльності промислових підприємств;

- соціально-економічні особливості - край має порівняно низький рівень індустріалізації території, що може сприяти розширенню потенційних можливостей розвитку туристичної індустрії;

- невелика площа території, що дає змогу влаштовувати туристичні поїздки в межах 1-2 діб із врахуванням виїзду в сусідні області, які, до речі, багаті на місця культового паломництва та пам'ятки природи.

- 12,8% території Чернівецької області складає заповідний фонд, що дає можливість розвитку екологічного туризму;

- Чернівецька область розташована трьох природних зонах: гірській, передгірській та рівнинній, що є передумовою для розвитку різних видів туризму, таких як водний, пішохідний, гірський тощо”” (Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Чернівецької області).

У документі “Стратегія туризму Чернівецької області” зазначено:

“Розвиток сільського зеленого туризму дасть можливість сільським громадам більше уваги приділяти благоустрою сіл, відновленню роботи місцевих закладів культури, забезпеченню екологічної чистоти довкілля і вирішенню нагальних соціально-економічних проблем села за рахунок додаткових надходжень до бюджетів місцевих органів влади” (Стратегія туризму Чернівецької області...).

У цьому ж документі визначено, що: “Основними проблемами розвитку туризму в Чернівецькій області є: незадовільний стан доріг, відсутність під’їздів до туристичних об’єктів; незадовільний стан залізничного, авіаційного сполучення та шляхів сполучення; недосконалість системи ведення статистичного обліку у сфері туризму; недостатність забезпеченості автомобільних доріг туристичною, сервісною та інформаційною інфраструктурою (відсутність рекламних щитів та єдиної системи маркування автошляхів щодо закладів туризму); недосконалість технічного регулювання та стандартизації, що призводить до відсутності належного інфраструктурного облаштування та інформаційного забезпечення туристичних об’єктів і маршрутів; недостатній рівень розвитку туристичної інфраструктури; неефективне та нераціональне використання природних ресурсів” (Стратегія туризму Чернівецької області...).

Висновки

У результаті проведеного аналізу природно-ресурсного потенціалу регіону, можна зробити такі висновки:

Наявність в Чернівецькій області унікальних туристично-рекреаційних ресурсів, м'якого клімату, географічного розташування, особливостей рельєфу, наявність рік та мальовничих каньйонів, а також багатой історико-культурної спадщини сприяють розвитку екологічного та зеленого (сільського) туризму на Буковині.

Природні умови та наявність великої кількості об’єктів природно-заповідного фонду (331 заповідна територія та об’єкт, загальною площею понад

103 тис. га, що складає 12,8 % території області) сприяють розвитку різноманітних форм екологічного туризму. Основні екотуристичні репрезенти Буковинських Карпат: Національні природні парки “Вижницький”, “Черемоський” та “Хотинський”. Базовою складовою розвитку екотуризму мають стати мережі еколого-туристичних маршрутів, які розроблені таким чином, щоб максимально охопити цікаві об’єкти природного ландшафту для розвитку екотуризму в області.

Сільський зелений туризм на Буковині має сприятливі передумови для розвитку, адже в області є пам’ятки історії та культури світового рівня, унікальні природні ландшафти. Однак, розвиток зеленого (сільського) туризму на Буковині відбувається нерівномірно. Найбільше сільських садиб діють на території п’яти районів: Вижницького, Путильського, Кіцманського, Хотинського та Кельменецького. У Герцаївському та Заставнівському районах офіційно не діє жодної сільської приватної садиби, незважаючи на розмаїття природних ресурсів, історичні та сакральні об’єкти.

Враховуючи зручне географічне розташування Чернівецької області зокрема, близькість Карпатських гір, наявність автомобільних доріг та внутрішнього і міжнародного залізничного сполучення, доцільно розвивати саме екологічний та зелений (сільський) туризм на Буковині, що буде сприяти збереженню навколишнього середовища та раціональному використанню туристично-рекреаційних ресурсів області та забезпечить роботою місцевих мешканців, що, в свою чергу зумовить економічне зростання регіону, в цілому.

Чернівецька область — це унікальний регіон для літнього та зимового відпочинку, однак, необхідне залучення інвестицій для розвитку туристичної інфраструктури та збільшення кількості оздоровчих закладів, баз відпочинку та приватних садиб, що сприятиме розвитку різних видів туризму, зокрема, екологічного та зеленого (сільського), рекреаційного, активного, етнічного, культурно-пізнавального, релігійного та зростанню кількості внутрішніх та міжнародних туристів.

Список літератури

- Биркович, В.І. (2007). *Державне регулювання сфери туризму на регіональному рівні*. (кандидатська дисертація).
- Горішевський, П. В., Васильєв, В. П., & Зінько, Ю. В. (2003). *Сільський зелений туризм: організація гостинності на селі*. Івано-Франківськ.
- Долга, Г. В. (2011). Розвиток зеленого сільського туризму в Україні на прикладі Чернівецької області *Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту*. – Випуск II (42). – Частина I. Retrieved from https://tourlib.net/statti_ukr/dolga.htm
- Зінько, Ю. (2013). Екологічні аспекти рекреаційно-туристичної діяльності в Українських Карпатах. *Матеріали міжнар. конф. Львів*. (pp. 56-64).
- Кілінська, К., Скутар, Т., & Плаксивий, Д. (2014). Екологічний туризм на території Чернівецької області: сучасний стан та перспективи функціонування. *Геополітика и екогеодинамика регионов. Научний журнал*. Т. 10. Вып. 2. Сімферополь. 342-346.
- Ресурс: На Буковині розвиватимуть гастрономічний туризм*. Retrieved from <https://promin.cv.ua/2020/02/17/na-bukovyni-rozvyvatymut-hastronomichnyi-turyzm.html>
- Ресурс: Національний природний парк “Вишницький”*. Retrieved from <https://www.karpaty.info/ua/uk/ch/vz/berehomet/sights/vyzhnytsky/>
- Ресурс: Національний природний парк “Черемоський”*. Retrieved from <https://zruchno.travel/ObjectEntity/ObjectEntity?lang=ua&idCrm=b811f14c-9771-c56a-d0f7-58a482cb58ca>
- Ресурс: Офіційний сайт ГО “Спілка сільського зеленого туризму України”*. Retrieved from <https://www.greentour.com.ua/region/chernivetska>
- Ресурс: Офіційний сайт Департаменту екології та туризму Чернівецької обласної державної адміністрації*. Retrieved from <http://www.buktour.cv.ua/index.php>.
- Ресурс: Офіційний сайт Національного природного парку “Черемоський”*. Retrieved from https://cheremoskyi.org.ua/recreation_and_tourism.

Ресурс: Офіційний сайт Національного природного парку “Вижницький”.

Retrieved from [/http://www.npp.cv.ua/turism.php](http://www.npp.cv.ua/turism.php)

Ресурс: Природні парки. Національний природний парк “Хотинський”.

Retrieved from <https://www.nationalparks.in.ua/pryrodni-parky/chernivtsi/hotinskiy/>

Ресурс: Природно-заповідний фонд України. Retrieved from

<https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-22.html>

Ресурс: Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища

Чернівецької області. Retrieved from

<https://menr.gov.ua/files/docs/ЧЕРНІВЕЦЬКА%20ОБЛАСТЬ.pdf>

Ресурс: Рекомендації щодо діяльності в напрямку сільського туризму. Retrieved from

<http://palitra-buk.com.ua/show/news/id:76.html>

Різниченко, І. Л., & Руснак, О. В. (2015). Туристично-рекреаційний потенціал

Національного природного парку “Вижницький”. *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф.*, (pp. 256-258), Чернівці. Друк Арт.

Рутинський, М. Й., Зінько, Ю. В. (2006). *Сільський зелений туризм*. К.: Вища

школа.

Ресурс: Сільські садиби. Офіційний сайт Чернівецької ОДА. Retrieved from

<https://buktour.cv.ua/kelmenetskyj/silski-sadyby/>

Ресурс: Стратегія туризму Чернівецької області. Retrieved from

<https://bukoda.gov.ua/page/group/158>

Ресурс: Туризм в національному природному парку “Хотинський”. Retrieved

from <http://www.eco-bukovina.com.ua/activity/2012-03-28-17-26-52/item/430-туризм-в-національному-природному-парку-хотинський.html>

ЗЕЛЕНІ ШЛЯХИ (GREENWAYS) – ЯК ЕКОЛОГО-ПІЗНАВАЛЬНІ МАРШРУТИ (ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД)

Теодорович Л.В., Національний університет «Львівська політехніка»,
к.геогр.наук, доцент кафедри туризму, Україна

Abstract

The article is devoted to the study of the European experience of the organization Greenways in order to expand the network of green roads in Ukraine.

It examines the history of Greenways in the United States and Europe, in particular the first European green road Prague-Vienna, the main programs of the European Greenways Association Greenways in Central and Eastern Europe, Greenways in Poland and Belarus are described, in detail the requirements and conditions for the formation of green roads are given, in particular, the main criteria and stages of creation of green roads (general criteria and special criteria are described), as well as requirements for the organization of long-distance greenways, urban green routes (Urban Greenways) and local green routes (Local Greenways).

The final part is devoted to the characteristics of projects for the creation of green roads in Ukraine, in particular, a detailed description of projects and a map of potential areas for the development of Greenways in Ukraine is given.

Вступ

Сучасне техногенне навантаження спричиняє негативний вплив на організм та психіку людини, тому спостерігається зростання кількості рекреантів, бажаючих оздоровитись та поліпшити свій емоційний стан, перебуваючи в місцях з відносно незайманою природою. Величезні рекреаційні та пізнавальними можливості відкриває екологічний туризм. Крім цього, участь людей в екологічних турах формує суспільне усвідомлення раціонального використання природних багатств і важливість захисту навколишнього середовища. У багатьох країнах екологічний туризм стає невід'ємною

частиною всіх видів туризму, інтегрує їх у загальний процес, а завдяки своєму максимально доступному (наочному) просвітницькому та освітньому потенціалу є чи не єдиним регулятивним та формуючим поведінку важелем управління урбанізаційними процесами, раціонального природокористування та охорони природи. Він дозволяє пом'якшити удари, що завдає природі бездумне ставлення до неї людини, зберігає кутки незайманої природи і сприяє примноженню природних цінностей не тільки за допомогою екологічної просвіти, але і за рахунок коштів, що спрямовуються з прибутків від екологічного туризму на вирішення цих завдань (Дмитрук, 2004).

В умовах пандемії Covid-19 та необхідності дотримання карантинних обмежень і соціальної дистанції під час відпочинку екологічні види туризму набувають ще більшої актуальності.

Багато можливостей та цікавих атракцій туристам можуть запропонувати на екологічних туристичних маршрутах – зелених туристичних (Greenways). В Україні зелені туристичні маршрути почали створювати лише кілька років тому. Різноманітність природи та етнічні особливості регіонів України є важливими передумовами створення цілої мережі екологічних зелених маршрутів.

Мета досліджень: вивчення Європейського досвіду організації Greenways для створення мережі зелених шляхів в Україні. Для досягнення мети досліджень вирішувались такі завдання:

1. Досліджено історію створення Greenways у США та Європі.
2. Розглянуто особливості Greenways у Польщі та Білорусі.
3. Вивчена методика та умови формування зелених шляхів.
4. Проаналізовані проекти зелених шляхів в Україні.

Процес створення зелених шляхів в Україні розпочався лише кілька років тому, у вітчизняній науковій літературі дана тематика практично не висвітлена. Науково-методичною базою даних досліджень стали деякі праці закордонних дослідників та інтернет-джерела – зокрема, офіційні сайти, Європейської Асоціації Зелених Шляхів, а також Greenways Польщі, Чехії та Білорусі, на

основі яких вивчено зелені маршрути на території країн Східноєвропейського регіону; розглянуто механізм, умови та методіку створення зелених шляхів.

Європейський досвід організації Greenways

Greenways (зелені шляхи) з'явилися в Америці у 50-х роках минулого століття. Першим був Gudson River Greenway, створений для сприяння розвитку активного туризму та екологічній ініціативі регіонів. Його завданням було збереження природи, місцевих традицій (архітектури, ремесел, кухні) і пропагування здорового способу життя. Кожен екошлях мусив дотримуватись краєзнавчих критеріїв (атракційні місцевості) і технічних(безпечні і ознаковані маршрути, через кожні 50 яких є місця для нічлігу та інформаційні туристичні пункти, а також тут повинні були використовуватись альтернативні автотранспорту засоби пересування. Сьогодні Greenways у США налічують тисячі кілометрів (Дмитрук, 2004).

У 1987 році, завдяки спільній ініціативі президентської комісії у справах рекреації (President's Commission on American Outdoors) і активності Президента Національного Географічного Товариства Гілберта Гросвенора, було оголошено про створення мережі зелених маршрутів по цілій Америці. Сьогодні в США існує більше 18 тис. км зелених маршрутів, діють сотні громадських організацій, що займаються розвитком ідеї зелених маршрутів на різних рівнях. Реалізація ініціативи зелених маршрутів підтримується природоохоронними установами і органами самоуправління, завдяки широкому партнерству публічного, комерційного і громадського секторів (Clark & Glazer, 2004).

В країнах Західної Європи ідея зелених маршрутів стала поширюватися в кінці ХХ ст. Зелені шляхи в країнах Євросоюзу – це туристичні рекреаційні коридори, створені для пересування немоторизованими транспортними засобами. Це незалежні, не пов'язані з автотрасами маршрути, які простягаються вздовж старих історичних доріг, природних екологічних коридорів чи забутих, не використовуваних комунікаційних сполучень

(наприклад, закинуті залізничні колії). Метою їхнього створення є просування активного стилю життя, покращення здоров'я людей і стану природного середовища, шляхом зменшення забруднення, створення екологічно чистих доріг для щоденного використання.

В Центральній і Східній Європі засновниками зелених шляхів стали чехи. У 1990 р. американці чеського походження перенесли на центрально-європейський ґрунт концепцію зелених маршрутів. Першою ініціативою був Зелений шлях Прага –Відень. Greenways Прага – Відень – це на сьогоднішній день найстаріший і найбільш відомий маршрут серед SEG Маршрутів Центральної Європи (Офіційний сайт маршруту Прага – Відень). Це мережа пішохідних маршрутів між Прагою, Табором, Йіндрічев Градца, Славонице, Знайомі, Ледніс-Валтіс і Віднем (Clark & Glazer, 2004). У 1998 році керівництво програмою взяв на себе Чеський фонд «Партнерство навколишнього середовища» – Nadace Partnerství з Брно, доповнивши його екологічними, природоохоронними та соціальними аспектами.

Основний маршрут простягається на 470 км від Центрального парку Праги по долині річки Дуїє (Dyje) у Південній Моравії і по долині річки Влтава (Vltava) в Південній Богемії через Tabor (Табор), České Budějovice / (Чеське Будеєвіце), Vrno (Брно), Vřeclav (Брецлав) – до Vienna (Відня) (рис.1).



Рис.1. Картохема маршруту Прага – Відень (www.prahaviennagreenways.org)

Основні характеристики маршруту

Шлях основного маршруту проходить по звичайних дорогах у великих містах, лісових, службових, по старих військових дорогах, за місцем проходження колишньої «Залізної завіси» і по сучасних «тихих» дорогах і тематичних стежках.

Дорожнє покриття – головним чином асфальт, тільки на окремих ділянках його якість вимагає використання тільки гірських велосипедів.

Основний контингент – велосипедисти, пішоходи, іноді каноїсти, наїзники верхом і лижники.

На маршруті прокладено кілька тематичних стежок (позначених тією ж самою емблемою, але з різним колірним фоном), таких як Маршрут Родини Розенберг (Rosenberg Family Greenway), який з'єднує гірські масиви Чеське Будеєвіце (České Budějovice), Чеський Крумлов (Český Krumlov), Новіші Гради (Nové Hrady) і Требон (Třeboň); Маршрут ремесел і релігій (Greenway of Crafts and religions), який на першій висуває план ткацтво і плетіння, ковальська

справа на території міст Йіндріхов Градец, тільце і Дачице (Jindřichův Hradec, Telč and Dačice); Маршрут шляхетної родини Ліхтенштейн (Liechtenstein family loop) (позначений герболм родини Ліхтенштейн) в Південній Моравії / Вейнвертель (Weinviertel), який включає в себе основні історичні пам'ятки (ділянка ЮНЕСКО Леднице – Валтіце). Дрібніші місцеві стежки – Маршрут Граз (Grasel trail) неподалік від Славонице (Slavonice), Маршрут єврейського художника Нагла (Trail of Jewish painter Nagl), біля тільця (Telč), Маршрут Тягар Диявола (Devil's Load (Čertovo břemeno) Greenway, поруч з Седлець - Прщіце / Табор (Sedlec-Prčice / Tábor) в чеському Мерано або Маршрути спадщини в горах Нове (Heritage Trails in Nove Hradu mountains) в Південній Богемії. На всьому маршруті встановлено більше 20 широкомасштабних інформаційних щитів в основних містах, починаючи з Центрального Парку в Празі 13 (Prague 13 s Central park), існує велика мережа інформаційних центрів, які пропонують основну інформацію про маршрут на різних його відрізках. На маршруті регулярно проводяться народні та музичні фестивалі під гаслом «Маршрут культури, що об'єднує центральну Європу». Мандрівники можуть пройти пішки або проїхати велосипедом по історичних містах і селах, оглянути середньовічні церкви і монастирі, зайти в старі габрейські поселення і отримати задоволення від однієї з найбільш мальовничих сільських місцевостей в Європі, відвідати розкішні замки та палаци епохи романтизму що входять до списку ЮНЕСКО, в Празі, в садах Ледніс-Валтіс, в Чеському Крумлові / Český Krumlov. Побувати в Національному Парку в Падуї / Таятал / Podyjí / Thayatal, на курорті Лаа Ан Дер Тая / Laa an der Thaya, в замку Мікулов / Mikulov, на ландшафтних природоохоронних територіях Палава хілз / Palava hills, в горах Нове Гради / Nove Hradu, в Требон / Třeboň, Славонице / Slavonice і інших місцях.

Маршрутом Prague-Vienna Greenway керує Громадська Асоціація Зелених Маршрутів Прага-Відень / Civic Association Prague-Vienna Greenways. Цей найпопулярніший маршрут в чеських регіонах першим застосував співробітництво між некомерційним і комерційним пропозиціями. Він об'єднує

ініціативи і діяльність близько 40 громадських організацій. Ключовими партнерами в розвитку і просуванні маршруту є Програма Зелених Стежок (Greenways-Zelene Stezky Program) Чеського Фонду Екологічного Партнерства (Czech Environmental Partnership Foundation), Друзі Чеських Зелених Маршрутів в Нью-Йорку / Friends of the Czech Greenways in New York, Клуб Мандрів по Зеленим маршрутам / Greenways Travel Club, і місцевий професійний туроператор.

Наступним у Чехії став міжнародний зелений маршрут велосипедні Моравські стежки, що простягались на тисячу кілометрів, через 310 населених пунктів та 50 тис виноградників.

У 1997 році у Бельгії була заснована Європейська Асоціація Зелених Шляхів (European Greenways Association – EGWA) (European Greenways Association – EGWA. Офіційний сайт). В країнах Європейського Союзу екологічні туристичні, рекреаційні та комунікаційні коридори, створені для немоторизованих видів транспорту. Що важливо, стежки проходять уздовж старих, історичних стежок, природних екологічних коридорів або покинутих, невикористовуваних шляхів. Їх мета – сприяти активному способу життя, поліпшенню здоров'я населення, захисту навколишнього середовища, Найактивнішими членами Асоціації є: Бельгія, Іспанія, Великобританія, Франція, Ірландія, Чехія.

Європейська Асоціація Зелених Шляхів взаємодіє з європейськими організаціями з питань розвитку і покращення політики Євросоюзу в секторі сталого розвитку, охорони оточуючого середовища, рівномірного розвитку регіонів і працевлаштування їхнього населення. Бере активну участь в організації і пропаганді Європейського Тижня Стійкого Транспорту – Європейському Тижні Мобільності, що проходить щорічно 16-22 вересня у більш як у 1300 європейських містах і районних центрах. Останніми роками за участі цієї організації було реалізовано цілий ряд проектів:

проект «Доступний туризм на європейських зелених дорогах: зелені дороги для всіх» (Greenways 4ALL), спрямований на просування створення доступних туристичних продуктів, пов'язаних із зеленими дорогами. Проект

допоміг покращити доступ до зелених доріг та навколо них та якість туристичних послуг, спрямованих на людей з інвалідністю, та розповсюдження ресурсів Greenway як інфраструктури для кожного; співфінансується програмою COSME Європейського Союзу та координується EGWA (Програма COSME...; Проект «Доступний туризм на європейських зелених...»).

Проект «Greenways Heritage», спрямований на розвиток та урізноманітнення європейської туристичної пропозиції шляхом створення нових туристичних продуктів, які пов'язують зелені дороги та об'єкти ЮНЕСКО, які розташовані поблизу них, створюючи нові туристичні продукти, що об'єднують обидва напрямки (Проект «Greenways Heritage»...).

EGWA також координувала проект «Greenways Outdoor», метою якого було створення та транснаціональна промоція туристичного продукту на відкритому повітрі, пов'язаного з європейськими зеленими дорогами, та підтримка малих підприємств, розташованих неподалік від них, щоб вони могли адаптувати свої послуги до потреб споживачів та таким чином стати більш конкурентоспроможними (Проект «Greenways Outdoor»...).

В рамках європейської програми «Розумна енергія» EGWA брала участь у проекті «Naviki» з метою просування велосипедного руху на зелених дорогах. Беручи участь у проекті «Greenways Product», Асоціація сприяла створенню європейського туристичного продукту greenways, реалізувала два європейські проекти в рамках програми Interreg REVER (Reseau Vert EuRopéen): REVER Amno (Північно-Західний столичний район, 1999-2001) та REVER Med, (Західне Середземномор'я, 2002-2004), спрямованих на створення транснаціональної європейської, вільної від дорожнього руху мережі Greenways (Мережа Greenways у Центральній та Східній Європі).

У Європі є тисячі кілометрів зелених шляхів із великим потенціалом для розвитку, і вони є дуже корисним інструментом для розвитку туризму в сільській місцевості (рис. 2.). Програма зелених шляхів доповнюється новими ініціативами і партнерськими організаціями різних країн регіону: Австрії,

Німеччини, Сербії, Чорногорії, Боснії та Герцеговини, Словаччини і Македонії, Білорусії

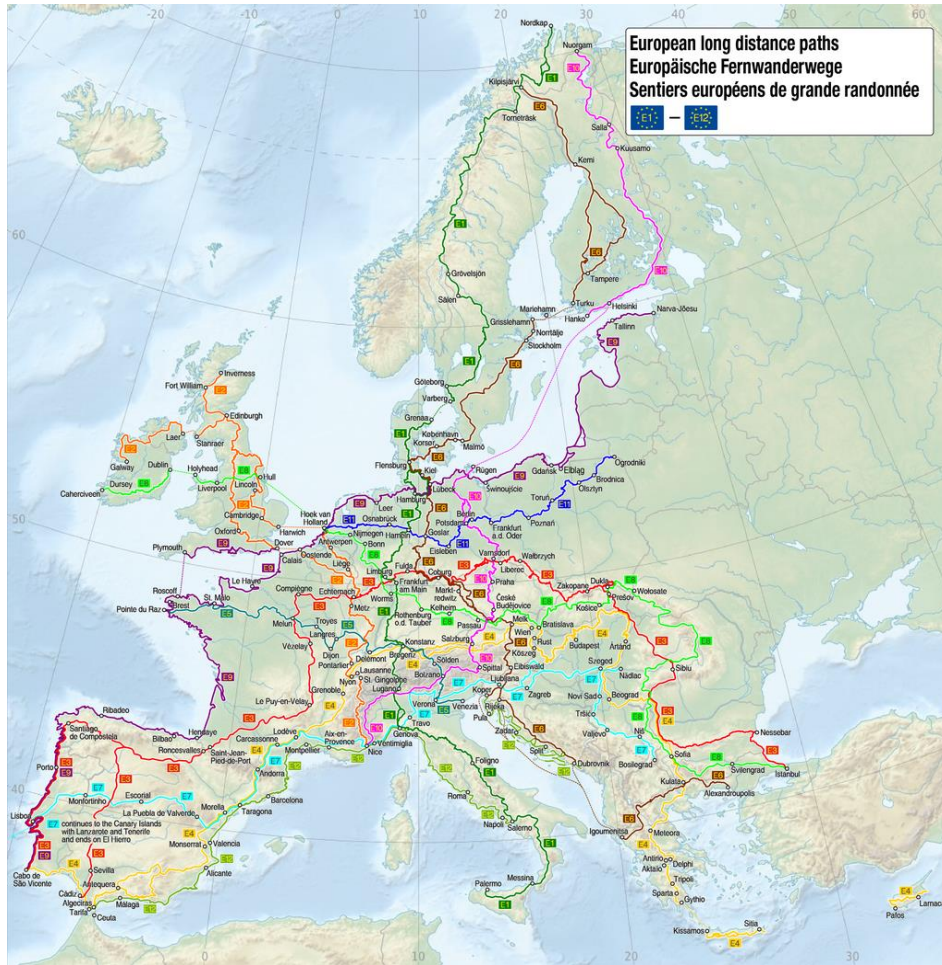


Рис. 2. Картосхема Зелених Шляхів в Європі.

У 2000 році була сформована Програма Зелених шляхів – Зелені Маршрути в Центральній і Східній Європі (CEG) (Мережа Greenways у Центральній та Східній Європі). Вона реалізується в рамках міжнародного об'єднання «Екологічне партнерство для стійкого розвитку», яке складає консорціум організацій, що діють на території Польщі, Чехії, Словаччини, Угорщини, Румунії та Болгарії та України. У цій мережі наразі знаходиться більше десятка маршрутів великої протяжності, (у т. ч. транснаціональних), а також локальні та міські маршрутів. Всі greenways в Центральній і Східній Європі реалізуються відповідно до загальних критеріїв, з 2005 р. в рамках програми CEG присуджується щорічна премія Greenways ім. Л. С. Рокфеллера.

У 2006 році партнери програми Greenways підписали Декларацію Greenways про Шопрон, а у 2016 р. – Віденську декларацію Greenways.

Мережа Greenways у Польщі:

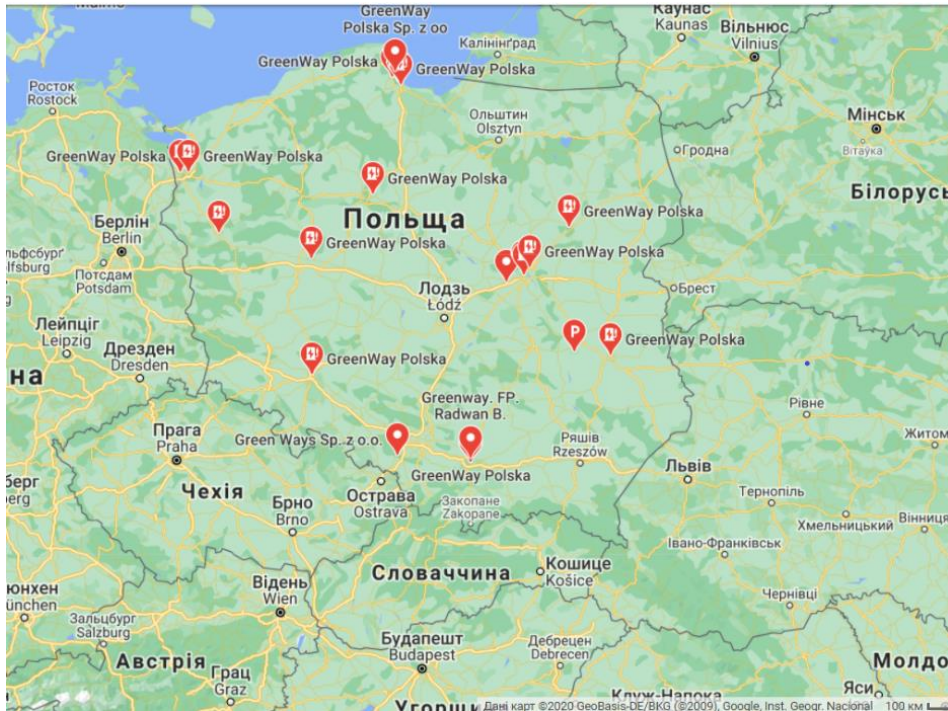


Рис. 3. Мережа Greenways в Польщі

(Фонд «Партнерство для навколишнього середовища»)

За прокладання екошляхів у Польщі відповідає фонд «Партнерство для навколишнього середовища» (Fundusz Partnerstwa) – організація, яка з 2004 р. підтримує і активізує локальну громадськість в сфері сталого розвитку і охорони навколишнього середовища (Фонд «Партнерство для навколишнього середовища»).

У 2000 році фонд започаткував проект «Зелені шляхи – Greenways» у Польщі». Мова йшла про створення програми, яка мала б потенціал до залучення неурядових та місцевих органів самоврядування, жителів міст і сіл до співпраці через який люди могли б ділитись досвідом з приводу демонстрації практичного значення збалансованого розвитку на певних природних територіях. Мова йшла про створення механізму, через який люди могли б ділитись думками, досвідом проектування і реалізацією програм розвитку, спрямованих на збереження культури і природи. Фонд залучив людей

і місцеві громади до проектування. Реалізації і виділення окремих відрізків велосипедних шляхів, туристичних стежок, а також навчальних центрів з такою метою:

- продемонструвати зв'язок між розвитком нового способу ринкової економіки із збереженням природних і культурних цінностей;
- пропагувати здоровий і активний спосіб життя;
- показати користь використання екологічних технологій;
- привернути увагу на потреби з організації таких суспільних господарських та природних процесів як ярмарки. Методики традиційного будівництва, чи відновлення лісу, ніж будинки чи кремні види тварин чи рослин;
- зберігати фауну, флору, ґрунти, повітря та інші компоненти природи, необхідні для розвитку господарства;
- пропагувати мислення про спадщину в категорії великих територій і зв'язків поміж ними окремих археологічних стоянок, чи резерватів природи;
- поважати і шанувати різноманітність культур, релігій і способу мислення про минуле і майбутнє;
- зберігати природу і культуру як цінність саму в собі;
- виділяти поліфункціональні зелені території, які служать як «оази» чистої води, боліт і польдерів важливих для протипаводкової охорони, середовищ існування рослин і тварин; а також ландшафтів для рекреації;
- використання культурних і природних засобів у науково-дослідних цілях, пов'язаних з промоцією екологічного стилю життя;
- моніторити і оцінювати зміни, що відбуваються в природі, економіці і окремих суспільствах при виникненні глобальних чинників таких як глобальне потепління клімату.

У Польщі перші маршрути Greenways з'явилися у 2001 році завдяки Краківському фонду «Партнерство заради довкілля».

Серед програм зелених шляхів, впроваджених в Польщі такі:

1) «Концепція розвитку прикордонного велосипедного туризму в польсько-чеському прикордонному регіоні» (фінансується INTERREG Польща-

Чехія), Шльонське воєводство / Єврорегіон Шльонськ Цешинський – Асоціація регіонального розвитку та співпраці (OLZA).

2) «Наш шлях» – присвячений збереженню та популяризації культурної та природної спадщини за допомогою Зелених шляхів» Підкарпатське воєводство / Управління маршала Підкарпатського воєводства: (фінансується INTERREG - Європа) .

3) «Туристичні маршрути – екологічне забезпечення велосипедного та пішохідного туристичного простору в активному туризмі» Малопольське воєводство / Центральний гірський центр туризму – Малопольська Госцинна: (фінансується Малопольським воєводством) .

В Польщі можна спостерігати значний ефект від діяльності, пов'язаної зі створенням Зелених стежок. Нині Greenways в цій країні сприяє розвитку місцевого підприємництва та підвищенню екологічної свідомості як місцевих жителів, так і туристів, які під впливом зацікавленості регіоном, починають брати участь у заходах, спрямованих на охорону та популяризацію місцевих природних ресурсів та історико-культурного надбання. Цю діяльність підтримують місцеві лідери, власники агросадиб, екологічні школи, та туристичні бюро, які через різноманітність туристичної пропозиції заохочують окремих туристів та організовані групи до відвідування регіону.

Нині в Польщі діють такі міжнародні зелені шляхи (Фонд «Партнерство для...»):

«Краків – Морави – Відень (Kraków - Morawy - Wiedeń Greenways)» це міжнародний маршрут, що реперзентує природну та культурну спадщину, створений на основі мережі велосипедних, пішохідних, водних, кінних та навчальних тематичних доріжок. Його головною віссю є 780-кілометровий велосипедний маршрут, який з'єднує історичні міста та селища, а також цікаву природну, ландшафтну та культурну сільську місцевість у центрі Центральної Європи;

«Бурштиновий шлях (Bursztynowy Szlak)» (Будапешт - Краків та запланований Краків-Гданськ) із петлями в регіонах, протяжністю 1000 км.

Маршрут проходить вздовж міжнародного історико-культурного шляху який веде через Польщу, Словаччину та Угорщину, слідуючи давньому шляху, що використовувався для транспортування бурштину з Балтійського моря в Адріатичне море. Ідея сучасного бурштинового шляху стосується різних функцій, які століття тому виконували торгові шляхи: економічної, комунікаційної, соціальної та культурної. На сьогоднішній день матеріальна та духовна спадщина регіонів є лейтмотивом подорожі по бурштиновій трасі Грінвей. На шляху можна відвідати екомuzeї, що цікаво представляють спадщину місцевої громади, скуштувати смачних місцевих продуктів, дізнатись про цінні природні місця та архітектурні пам'ятки. Щороку на трасі проходить кілька важливих подій міжнародного та європейського значення для просування екотуризму та захисту навколишнього середовища, таких як «День Землі», «Тиждень велосипедного туризму», «Європейський тиждень мобільності», «Дні місцевого партнерства» та ін. malopolska.szlaki.pttk.pl/849 (Міжнародні шляхи в Польщі...).

«Стежками доброго солдата Швейка (Szlak Dobrego Wojaka Szwejka) (Польща– Україна – Словаччина – Чехія – Австрія – Угорщина) (Міжнародні шляхи в Польщі). Всього близько 400 км. З них 200 км. маршруту проходять по території Польщі. Велосипедний шлях із Словаччини в Україну складатиме близько 180 км, включаючи сполучну трасу між Юречковою та Перемишлем та Медиком на польсько-українському кордоні. На території України маршрут шляху прокладено від польсько-українського кордону через Самбір, Львів і Сокаль. Запропонована пішохідна стежка не проходить точно так, як пішов Швейк. Ділянка від Лупковського переходу до Санока прокладена вздовж залізничної колії, по мальовничих околицях долин Ослави та Ославниці. На маршруті розміщені інформаційні таблички зі схемою маршруту, інформація про деталі перебування Швейка в певному місці та зв'язок з історією Галичини за часів Австро-Угорської імперії. Деякі таблички містять відомі цитатами Швейка. Головним визначним пам'ятками стежки є скульптури бравого вояки Швейка в Саноку та у Львові.

Маршрут «Зелений ровер» (Zielony Rower - Greenway Karpaty Wschodnie), прокладений Східними Карпатами по території Польщі, Словаччини та України. Метою ініціативи «Зелений велосипед» є створення міжнародної мережі маршрутів для велосипедних та інших немоторизованих видів подорожей у межах Східно-Карпатського біосферного заповідника. Цей шлях дає змогу пізнати чудову природну та культурну спадщину цього регіону як для його мешканців, так і для туристів.

«Шлях Одри (Szlak Odry)», протяжністю 1064 км (Нижня Сілезія, Краків-Моравія-Відень) (Sala, 2017). Стежка Одри – це понад сімсот кілометрів мережі велосипедних доріжок, водних маршрутів, пішохідних та пізнавальних маршрутів, що ведуть через наймальовничіші куточки долини. Головною метою «Шляху Одри» є показати туристам специфіку природи прибережних районів та культурну мозаїку вздовж річки Одри – прикордонної річки. Основною віссю стежки є так звана ознакована велосипедна стежка Одра, яка проходить по обидва боки річки від Одри через Вроцлав до Костжина. Основними атрактивними перевагами стежки є: численні озера, заплавні луки (Łęgi Odrzańskie, визначні туристичні пам'ятки, що демонструють історію цих територій та мальовничі ландшафти. Маршрут з'єднує кілька важливих заповідних територій та заповідників, включаючи Національний парк «Бородавча паща», Ландшафтний парк Кшесінський та «Гради Оджанські». Шлях є прикладом того, як ініціатива «зеленого шляху» може допомогти усвідомити переваги як для навколишнього середовища, так і для розвитку місцевої громади.

Маршрути Greenway, прокладені в межах Польщі (Зелені шляхи Польщі...)

Велосипедний шлях «Карп'я Долина» (Rowerowy Szlak Doliny Karpią (Małopolska) маршрут довжиною 86,9 кілометра. Він позначений червоним кольором і має вигляд петлі, що веде через область 7 комун, розташованих у долинах Скави та Вісли. Назва маршруту стосується історії регіону, який

здавна був пов'язаний з розведенням коропа – риби популярної в Польщі. Тут поряд з іншими живописними пейзажами часто трапляються ставки та сажавки. Крім того, тут кілька архітектурних цікавинок. Переважна більшість маршрутів пролягає по старих, закинутих асфальтованих дорогах.

«Підляський Шлях Лелек» (Podlaski Szlak Bociani) протяжністю 413 км. Це велосипедний маршрут. Який проходить через Ландшафтний парк Сувалкі, та національні парки: Вігрі, Бебжа, Нарів та Біловежа, створений з метою забезпечення можливостей пізнання багатой природної та культурно-історичної спадщини районів, а також спостереження за лелеками.

Особливо цікавим є маршрут «Шлях орлиних гнізд» (Szlak Orlich Gniazd). Це пішохідний та велосипедний маршрут довжиною 186 км., що проходить через найкрасивіші куточки Краківсько-Ченстоховської височини (від Ченстохови до Кракова – у Силезьському та Малопольському воєводствах), та з'єднує надзвичайні юрські замки та фортеці, які повинні були захищати середньовічні торгові шляхи п'ястовських володінь. Регіон, через який пролягає маршрут, є колискою польської культури і одним із найцінніших ландшафтів Польщі. Розташований серед зелених пагорбів, покритих лісами, серед мальовничих вапнякових відслонень, він створює враження надзвичайної гармонії між людиною та навколишнім середовищем. Територію, через яку пролягає шлях, запропоновано внести до Списку світової спадщини ЮНЕСКО.

«Шлях Північне Намисто» (Greenway Naszyjnik Rótnocy) у Центральному Помор'ї. Це велосипедний маршрут довжиною 870 км, який проходить мальовничими районами Центральної та Східної Померанії на півночі Польщі, території, що була сформована 12 тис. років тому льодовиком. Стежка проходить через такі озера: Дравське, Битовське та Краєнське, які пропонують різні можливості для відпочинку та релаксації. Найважливішими заповідними зонами вздовж шляху є Національний парк Бори Тухольське та три ландшафтні парки: Дравський, Заборський та Вдзидзкі. У регіоні є широкий асортимент традиційних продуктів, таких як органічне борошно з традиційного млина в Дебно, хліб із Барвіце, випечений на агротуристських фермах, вироби з

гілочок берези з Сковранкі, композиції із сухих квітів, керамічні вироби з Клюхова та традиційні кашубські вишивки.

Нині створені проекти таких нових маршрутів: «Спадщина Сходу» (Greenway Dziedzictwo Wschodu), протяжністю 1000 km (województwo lubelskie) та «Карпатський велосипедний шлях» (Karpacki Szlak Rowerowy (Podkarpacie, Małopolska, Śląsk)).

Greenways в Білорусі

З ініціативи Громадського Об'єднання «Агро- і Екотуризм» та SEG у Білорусі було створено чотири зелених маршрути: «Неманський шлях», «Блакитне намисто Россон», «Ігуменські кінні стежки» та «Край жовтих лататъ і сивих валунів» (Зелені шляхи Білорусі...).

Маршрут «Блакитне намисто Россон» був першим першим білоруським проектом «зеленого» маршруту типу greenways, що з'єднує два природних заказники – «Червоний Бор» та «Сіньшен». Цей район став пілотним в першу чергу завдяки ентузіастам – місцевим жителям, яким є що розповісти про різні культурні, історичні та природні цінності своєї малої батьківщини. Основні визначні пам'ятки – лісоболотной комплекс «Червоний Бор», журавлинний заказник «Фомино», музей в селі Межно, музей партизанського побуту під відкритим небом в селі Рівне, заказник «Сіньшен».

«Німанський шлях» – це 10-кілометровий маршрут. Який простягається від с. Докудово Лідського району, веде до заплави Німану, виводить на берег цієї річки і повертає мандрівників в с. Докудово. Є можливість продовження маршруту уздовж річки, а також до найцікавіших місць регіону. Протягом усього шляху зустрічається чимало різних пам'яток: Докудовська Свято-Різдво-Богородицька церква, боброві греблі, стоянки первісної людини, агротуристичні садиби: «Над Німаном» з будиночком гусяря, а також садиба в Докудово, Дуга Струве (об'єкт внесений до Списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО). Крім пам'яток, на увагу заслуговують і різні фестивалі, що проходять в Россонському районі.

Перший в Білорусі кінний маршрут greenways – «Ігуменські кінні стежки» об'єднує природні, історичні та культурні пам'ятки і безліч місцевих ініціатив, пов'язаних з екотуризмом, екологічною освітою, традиційними ремеслами і фольклором. Проходять «Кінні стежки» за тридцять кілометрів від Мінська, по Могилевському шосе.

«Край жовтих латат і сивих валунів» Назва його говорить про те, що пріоритет - за природними мальовничими ландшафтами Лепельського краю. Маршрут довжиною 155 кілометрів призначений для поціновувачів білоруської традиційної етнографії та фольклору, а також активного відпочинку. Для пересування між пунктами призначення розроблені велосипедні маршрути з локальними пішими екологічними стежками та можливістю експедицій на човновнах. Головна вісь маршруту утворює кільце Лепель - Борсуки - Латигалічі - Краснолука - Волосевич - Лепель. Тут є історико-культурні пам'ятки: зокрема, городище балтійських племен I-IV століть на острові Лепельського озера; кам'яні хрести в Старому Лепель; в Волосовича і Таронковічах камені – культові символи дохристиянських часів; а також Зміїв камінь в селі Гоголівка. Зараз створюється перший в Білорусі мобільний додаток TheGreenWay. Активно впроваджується проект «Відпочинок в селі», який з кожним роком залучає любителів активного відпочинку на природі та сільські громади до активної співпраці та створення Greenways.

Основні критерії та етапи створення зелених шляхів (Zielone szlaki greenways, 2007).

В Центральній і Східній Європі визначені 3 основні категорії зелених маршрутів:

1. Зелені маршрути великої протяжності (Long-distance Greenways);
2. Локальні зелені маршрути (Local Greenways);
3. Міські зелені маршрути (Urban Greenways).

Існує два рівні критеріїв зелених маршрутів – Greenways: загальні критерії (які стосуються всіх категорій зелених маршрутів) і спеціальні критерії (які стосуються певних категорій зелених маршрутів).

а) Загальні критерії (general criteria): Зелений маршрут – Greenways – це позначена на місцевості траса, в якій є своя назва (яка містить слово «зелений маршрут» чи «greenway»), логотип і девіз/тематика маршруту. Інформація про маршрут поширюється у вигляді буклетів/карт/путівників, в маршруті є свій веб-сайт і інформаційна система уздовж всієї траси (таблиці, інформаційні пункти і т.п.). Маршрут відповідає основним вимогам дотримання безпеки, особливо велосипедистів і піших туристів. Він розвивається і керується провідним координатором (організація, заклад, територіальний орган самоврядування і т.п.) зі згоди і при взаємодії з іншими партнерами в регіоні. Маршрут є складовою частиною вже існуючих чи розроблюваних стратегії і планів розвитку туризму та транспортної системи, вписується в комунікаційну і туристичну мережу регіону та окремих сільських рад, і пов'язаний з системою громадського транспорту.

б) Спеціальні критерії (specific criteria):

І. Зелені маршрути великої протяжності (Long-distance Greenways)

Зелений маршрут великої протяжності об'єднує країни, регіони і великі міста. Основна його ціль – розвиток стійких видів туризму (найчастіше велотуризму, а також водного, пішого, кінного). Зелені маршрути великої протяжності повинні відповідати як функціональним критеріям, так і критеріям по інфраструктурі.

Інфраструктурні критерії:

- зелений маршрут з'єднує природні та культурні пам'ятки, цікаві місця з краєзнавчої, природної, культурної, історичної та соціальної точок зору – як мінімум кожні 15 км;
- на маршруті є місця для відпочинку – як мінімум кожні 20 км;
- на шляху знаходяться туристичні об'єкти з доступною готельною та гастрономічною базами – як мінімум кожні 30 км;

- інформація про маршрут (у вигляді буклетів, брошур, путівників, карт і т.д.) поширюється в пунктах туристичної інформації на маршруті і в сусідніх регіонах;

- маршрут проходить по безпечних дорогах, відокремлених від доріг для автотранспорту чи по спокійних дорогах з низькою інтенсивністю руху;

- як мінімум 90% маршруту проходить по дорогах з ущільненим покриттям, що дозволяє пересування на велосипеді будь-якої пори року (стосується веломаршрутів);

Функціональні критерії:

- в кожному населеному пункті/селищі і біля туристичної пам'ятки, де проходить зелений маршрут, знаходиться як мінімум одна інформаційна таблиця, яка вказує маршрут і населений пункт;

- на маршруті знаходиться як мінімум 1 пункт продажу виробів народних промислів (магазин, майстерня, галерея, т.п.);

- на шляху є як мінімум 1 пункт дегустації страв місцевої/регіональної кухні (їжа чи напої);

- на маршруті є можливість ознайомитись/відвідати як мінімум одну місцеву ініціативу, направлену на охорону та інтерпретацію природної і культурної спадщини;

- траса проходить через центр селища/населеного пункту і міста, чи туди можна легко дістатися від основної траси маршруту за допомогою позначень в вигляді відгалуження або петлі;

- на маршруті можна скористатись як мінімум однією туристичною послугою, запропонованою місцевим/регіональним туроператором.

II. Локальний зелений маршрут (Local Greenways) – це коротша траса, яка пролягає, як правило, по сільських територіях. Основна мета такого маршруту – розвиток туризму і відпочинку на один день або на вихідні, тобто пізнавального і екскурсійного туризму, спрямованого на ознайомлення з природною і культурною спадщиною. Локальні зелені маршрути використовуються

найчастіше для пішого, велосипедного, кінного, лижного та інших видів туризму.

Критерії:

- на маршруті знаходиться як мінімум 1 інформаційна таблиця (якщо маршрут у вигляді петлі) або 2 таблиці (якщо маршрут лінійний);
- на маршруті є як мінімум один пункт для відпочинку та / або зупинки;
- маршрут проходить від.., до.. і через центр села/міста (у відповідних випадках);
- під'їзд до початку/першого пункту маршруту можливий на громадському транспорті.

III. Міські зелені маршрути (Urban Greenways) – це багатофункційна доріжка (для пішоходів, велосипедистів, ролерів, людей на інвалідних колясках, т.п.), яка проходить вздовж річки, струмка, покинутої залізничної гілки або природного коридору в межах міста (парк, зелена територія, тощо). Основною метою міського зеленого маршруту є безпечний рух, відпочинок, та ознайомлення з визначними пам'ятками.

Критерії:

- як мінімум 90% маршруту складає ущільнена поверхня;
- маршрут являє собою трасу для пересування немоторизованими транспортними засобами, відокремлену від дороги для автотранспорту;
- кути нахилу на маршруті по відношенню до горизонталі (близько 0 чи з незначним відхиленням) дозволяють користуватись маршрутом людям с різними фізичними можливостями, у тому числі з обмеженими можливостями . зокрема тим, що пересуваються на інвалідних колясках;
- на маршруті знаходиться як мінімум 1 інформаційна таблиця (якщо маршрут у вигляді петлі) або 2 таблиці (якщо маршрут лінійний);
- на маршруті є як мінімум один пункт для відпочинку та / або зупинки

Етапи створення Зеленого шляху

I етап: «організація». Він передбачає такі заходи:

- визначення ідеї маршруту (тематика, лейтмотив, географічне охоплення);
- пошук партнерів із трьох секторів: громадського, соціального і господарського;
- оформлення і підпис декларації співробітництва, що охоплює розробку проекту;
- вибір координатора маршруту і локальних координаторів (для відтинків маршруту, якщо він великої протяжності);
- вибір назви маршруту і розробка логотипу;
- підготовка концепції розвитку маршруту;
- обробка туристичного аудиту при консультативній допомозі партнерів (інвентаризація природних і культурних пам'яток, об'єктів художньої і пізнавальної цінності, туристичної бази, виробів народних промислів і громадських ініціатив).

II етап: «візуалізація» повинен включати такі дії:

- розробка технічного проекту позначення маршруту;
- підключення до партнерства місцевих органів самоуправління, у тому числі представників влади з міст, розміщених на маршруті;
- пошук фінансових ресурсів на позначення маршруту;
- позначення головної вісі маршруту і тематичних локальних маршрутів (позначення напрямів, а також розміщення інформації, з використанням логотипу зеленого маршруту);

III етап: «просування і поширення туристичного продукту». Для цього необхідно:

- опрацювати ідеї зі створення комерційних пропозицій/туристичного продукту на маршруті, з розподілом ринку на сегменти
- знайти партнерів з туристичної галузі – створення турпродукту і пропозиція його на ринку

- підготувати видання і поширення інформаційно-реklamних матеріалів (карти, путівники, інформатори, веб-сайти) – на початковому етапі головне – створити карту маршруту і веб-сайт.

IV етап: «підтримка місцевих ініціатив», який пов'язаний із забезпеченням фінансування місцевих проектів, спрямованих на охорону природної і культурної спадщини, зокрема, зелений маршрут повинен бути насичений локальними ініціативами, що реалізуються місцевими товариствами (це є однією з його головних особливостей). Найбільш популярними місцевими ініціативами на зелених маршрутах є: культурні і художні свята, галереї і магазини, де продаються вироби народної творчості, майстер-класи ремісників і умільців, екомузеї, куточки природи в школах, центри екологічного навчання і т.п.

V етап: «створення інфраструктури на маршруті»:

створення малої інфраструктури на маршруті – місць для відпочинку, інформаційних центрів, щитів і т.д.

підключення до ініціатив власників готельної і гастрономічної бази на маршруті;

заклик представників туристичної галузі до отримання зелених сертифікатів і підвищення якості рівня обслуговування;

цілеспрямований пошук фінансових можливостей для поетапного будівництва доріжок, що не перетинаються з автомобільним рухом, з яких буде складатись головна вісь маршруту. У першу чергу варто подбати про відтинки маршруту, які проходять через великі міста.

Зелені шляхи в Україні

Ідеї прокладання зелених шляхів в Україні з'явилась тільки кілька років тому. Їх почали створювати на територіях природно-заповідного фонду або довкола них, у лісових угіддях або просто на мальовничих ландшафтах, доступних для туристів, охоплюючи місцевості із самобутньою культурою.

Ініціаторами проекту Грінвейс в Україні є громадська організація «Зелені Шляхи України» / Greenways Ukraine та Асоціація екологічного партнерства (Fundusz Partnerstwa Польщі) (Громадська організація «Зелені шляхи України»...). Громадська організація «Зелені Шляхи України» займається системним розвитком та популяризацією безпечних для природи активних видів відпочинку та екологічного туризму. Одними із напрямків її діяльності є підтримка стійкого розвитку природних та історико-культурних територій через тісну взаємодію з ними та з органами місцевого самоврядування і місцевими громадами. Україна є учасником Програми Greenways у Центральній та Східній Європі, ініційованою Асоціацією екологічного партнерства, яка об'єднує шість фондаций, що працюють у Польщі, Чехії, Словаччині, Угорщині, Румунії та Болгарії. Польським партнером ініціативи є Fundusz Partnerstwa. Завдяки цій співпраці Україна була включена до мережі міжнародних Greenways у Центральній та Східній Європі. По її території проходять відрізки таких зелених шляхів як «Стежками доброго солдата Швейка (Підкарпаття)» та «Зелений ровер. Карпати Східні».

Перший український зелений шлях «Долина двох рік» був спроектований у 2016 році в Києво-Святошинському районі Київської області (Зелений шлях «Долина двох...»). Головними його об'єктами стали долини річок Ірпінь та Бобриця, а також соснові ліси поряд, на основі яких планується створення Національного природного парку «Приірпіння та Чернечий ліс». Протяжність головної нитки шляху близько 50 км, на території готується ще кількадесят кілометрів тематичних маршрутів. Завдяки зусиллям місцевих мешканців тут стали традиційними ярмарки, мистецькі виставки та змагання з триатлону і кінного туризму, а також велосипедні прогулянки. Для сплавів освоюється річка Ірпінь, яка незважаючи на зарегульованість, зберегла багато рис «дикої» річки. Територія Зеленого шляху «Долина двох рік» є дуже привабливим місцем для відпочинку киян, оскільки знаходиться недалеко від столиці.

Наступним став проект зеленого шляху «Медове коло». Його головний шлях становить близько 250 км та налічує ще кількасот кілометрів локальних

маршрутів з мальовничими куточками Рівненської області, які розташовані у п'яти адміністративних районах Рівненської області: Березнівському, Гоцанському, Костопільському, Корецькому та Рівненському. Ключовими точками (населеними пунктами) туристичного зеленого шляху «Медове коло» є Рівне, Пересопниця, Клевань, Олександрія, Деражне, Злазне, Базальтове, Березне, Хотин, Бистричі, Соснове, Великі Межирічі, Гоща, Тучин, Гориньград. Основне кільце шляху охоплює понад 250 кілометрів та передбачає мережу локальних маршрутів. Визначними місцями маршруту «Медове коло» є Тунель кохання у Клевані, заказник «Базальтові стовпи», Музей лісу, ландшафтний парк «Надслучанська Швейцарія». Доповнюючими туристичними продуктами території є: бортництво (попри те, що даний древній промисел лише частково притаманний дестинації, працівники Рівненського краєзнавчого музею його досліджують); екологічна освіта (використання можливостей Ківерцівського національного природного парку «Цуманська Пуща», Надслучанського регіонального ландшафтного парку, а також лісгоспів); археологічні пам'ятки (насамперед, давньоруські городища через розвиток на базі городищ Погориння експериментальної археології, організацію історичних реконструкцій, майстер-класів, спеціалізованих тематичних подій); популяризація здорового харчування (насамперед медових продуктів). На даному етапі готується створення навігаційних елементів шляху .

Третій шлях – «Прадавній Велет», який простягається на території п'яти адміністративних районів Тернопільської області. Шлях проходить по території багатьох національних природних парків (НПП): «Дністровський каньйон», «Подільські Товтри», «Хотинський», «Галицький». Тут розвиваються велотуризм (промарковані близько 200 км чотирьох веломаршрутів) та піші мандрівки горами. Туристичним брендом Тернопілля стали водні сплави на човнах і катамаранах по Дністру. Основою шляху є Тернопільське Придністер'я та долини Дністра (майже 300 км) та його лівосторонніх приток: Коропця, Стрипи, Джурина, Серету, Тупи, Нічлави та Збруча. Основні туристичні ресурси регіону найбільше концентруються в їх долинах. Визначено

п'ять зон Подністер'я на території Тернопільської області (понад 1 тис. 100 км. у межах Дністра), де сконцентровані туристичний потенціал, інфраструктура і може бути надано цілий комплекс послуг для туристів. Тут характерні неповторні ландшафти меандр та каньйоноподібних долин, сформувався унікальний теплий клімат, є багато цікавих природних об'єктів і територій, насамперед, Національний природний парк «Дністровський каньйон» та однойменний регіональний ландшафтний парк. Проектована територія оточена й іншими важливими територіями, такими як Галицький національний природний парк. Тут давні традиції активного туризму, в першу чергу водного та спелеологічного (в зоні проекту знаходиться понад сто великих і малих печер). Місцевість багата на геологічні пам'ятки, має велику кількість фортифікаційних і культових споруд, а також своєрідні етнографічні особливості (Зелений шлях «Прадавній...»).

Європейську модель розвитку туристичних територій впроваджуватимуть завдяки пілотним проектам зі створення Зелених Шляхів у Борщівському, Бучацькому, Заліщицькому, Монастирському та Чортківському районах Тернопільщини. До підготовки та реалізації проекту також залучені об'єднані територіальні громади, місцеві ради, підприємці, громадські організації та суб'єкти туристичної діяльності: готельєри, ресторатори, власники сільських зелених садиб, баз відпочинку. Уже відбулась презентація створеного туристичного кластеру Бучач-Тур та туристичних продуктів Бучаччини.

На Херсонщині розпочалась розробка зеленого шляху «Соляна дорога», який об'єднує 15 населених пунктів від центральної частини області – і до морів. Особливість цього маршруту – в його історичній таврійській складовій. Передбачається розробка маршруту шляхом, яким їздили чумаки. Включена також гастрономічна (пропонуються делікатеси – мармурове м'ясо, козячий сир), бальнеологічна, водна, велосипедна, спортивна, пізнавальна та культурна частини. Планується будівництво кемпінгів, центрів сімейного відпочинку та грязе-бальнеологічних лікувальних закладів. Розробкою шляху займаються Тавричанська, Асканійська, Любимівська, Бериславська, Новокахвська та

Присиваська об'єднані територіальні громади, а також НПП Нижньодністровський, екопарк «Тайван» (Greenways Соляна...).

В Одеській області рекомендується створити зелений шлях вздовж Нижньодунайського регіонального екологічного коридору, об'єднавши регіональний природний парк «Ізмаїльські острови» та НПП «Тузловські лимани». У перспективі планується втілення проекту зеленого шляху у Національному природному парку «Кременецькі гори».

Загалом, потенційних територій для створення зелених шляхів на території України є близько сотні (Рис. 4.).



Рис. 4. Потенційні території для розвитку Greenways в Україні

Проект «Яблуневий шлях» повинен був реалізуватись на території Северинівської та Барської ОТГ. В ході його реалізації у 2020 році на території Барського та Жмеринського районів мав бути створений туристичний кластер та запущений тематичний екскурсійний маршрут, який мав складатись з декількох об'єктів, створених або відремонтованих в рамках проекту. Тут хотіли поєднати садівництво та туризм. Маршрут мав складатись з декількох об'єктів, створених або відремонтованих в рамках проекту, зокрема: у селі Северинівка: котедж садівника Дениса Макклера (музейна кімната, а поблизу –

теплиця), санаторій (з циклом процедур на основі яблучного соку) та місцеве комунальне підприємство (лінія з виготовлення соку та виробництва яблучних чіпсів); музей історії садівництва в селі Олександрівка (оновлені експозиції та ремонт у приміщенні); розсадник з старовинними подільськими сортами яблук у селі Антонівка; кластерний офіс з дегустаційним обладнанням у місті Бар. На жаль Барська ОТГ відмовилась від участі в проекті «Яблуневий шлях», тому не отримає коштів від Європейської Асоціації Зелених Шляхів (EGWA). Отже проект може не реалізуватись.

Висновки

Нині світова спільнота розуміє, що створення корисних засобів розвитку економіки вимагає дбайливого ставлення до природи, ощадного використання її ресурсів та збереження середовища свого існування. Загальновизнаним є розуміння сталого розвитку – збалансованого розвитку, який включає гармонійне поєднання економічних, соціальних та екологічних складових.

Сталому розвитку територій сприяє розвиток мережі Greenways (зелених шляхів) – багатофункціональних туристичних маршрутів, які сполучають цікаві природні та культурні об'єкти, по яких пересуваються безмоторним транспортом чи пішохідним способом. До них включені готелі, кемпінги, агросадиби, організовуються гастротури та події (свята, фестивалі тощо).

Проекти зелених шляхів є стратегічно вигідними для Українських регіонів. Участь у програмі зелених шляхів Центральної та Східної Європи дає змогу учасникам туристичного ринку та представникам місцевих громад самим створити конкурентний територіальний туристичний продукт, що буде інтегрований в національну і європейську мережу зелених шляхів. Зелені маршрути є основою для реалізації місцевих ініціатив соціального характеру і проектів, пов'язаних з охороною природних ландшафтів, збереженням культурної спадщини, екологічним туризмом. Вони активізують сільські громади, сприятимуть підвищенню зайнятості на селі, наповненню місцевих бюджетів та розвитку територій.

На жаль в українському суспільстві ідеї створення зелених шляхів поширюються дуже повільно. Місцеві громади не розуміють очевидних економічних переваг, тому для поширення ідеї Greenways необхідно проводити активну просвітницьку роботу, демонструючи реальні приклади успішного досвіду діючих зелених маршрутів у сусідніх країнах Східної Європи. Крім цього, для реалізації проектів необхідно, щоб організаційна, методична й фінансова підтримка проектів та ініціатив відбувалась на основі партнерських взаємовідносин між організаціями громадського, комерційного та державного секторів.

Список літератури

Ресурс: Громадська організація «Зелені шляхи України» (Greenways Ukraine).

Retrieved from <http://www.greenways.com.ua/greenways-in-ukraine/>

Дмитрук, О. Ю. (2004). *Екологічний туризм: сучасні концепції менеджменту і маркетингу*. К., Альтерпрес

Ресурс: Зелений шлях «Долина двох рік». Retrieved from <http://rivervalley.org.ua/community>

Ресурс: Зелений шлях «Прадавній велет». Retrieved from <http://www.greenways.com.ua/greenways-in-ukraine/>

Ресурс: Зелені шляхи Білорусі. Retrieved from <http://www.greenways.by/index.php?content&id>

Ресурс: Зелені шляхи Польщі Режим доступу: Greenways w Polsce - Szlaki Greenways. Retrieved from <https://www.greenways.org.pl/o-nas/greenways-w-polsce/>

Ресурс: Маршрут шляхами доброго вояка Швейка. Retrieved from <https://gminasanok.pl/szlaki/szlak-dobrego-wojaka-szwejka/>

Ресурс: Мережа Greenways у Центральній та Східній Європі. Retrieved from <http://www.greenways.by/index.php?content&id=16&lang=en>

Ресурс: Міжнародні шляхи в Польщі. Retrieved from <http://www.greenways.by/index.php?content&id=6&lang=pl:>

- Ресурс: Офіційний сайт маршруту Прага – Відень.* Retrieved from www.prahaviennagreenways.org
- Ресурс: Потенційні території для розвитку Greenways в Україні.* Retrieved from <http://www.greenways.com.ua/pot-ter/>
- Ресурс: Програма COSME Європейського Союзу.* Retrieved from <https://greenways4all.org/>
- Ресурс: Проект «Доступний туризм на європейських зелених дорогах: зелені дороги для всіх» («Greenways4tour»).* Retrieved from <https://www.aevv-egwa.org/projects/greenways4tour/>
- Ресурс: Проект «Greenways Heritage».* Retrieved from www.greenwaysheritage.org
- Ресурс: Проект «Greenways Outdoor».* Retrieved from projects/greenways-outdoor-en/1288-greenways-outdoor.html
- Ресурс: Фонд «Партнерство для навколишнього середовища» (Fundusz Partnerstwa).* Retrieved from <https://www.funduszpartnerstwa.pl/home>
- Clark, D., & Glazer, S. (2004). *Based on Greenways. Madrid: Rutas Pangea & Greenways and Environment Department. Questing: A Guide to Creating Community Treasure Hunts. Hanover–London: University Press of New England.* ISBN 1584653345.
- Ресурс: Greenways Соляна дорога.* Retrieved from <https://visitkherson.gov.ua/wp-content/uploads/2019/01/Greenways-%D0%A1%D0>
- Sala, K. (2017). Zielone Szlaki Greenways jako czynnik rozwoju turystyki w Polsce na przykładzie Szlaku Odry. *Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej W Tarnowie*, 34(2), 123-133. Retrieved from <https://doi.org/10.25944/znmwse.2017.02.123133>
- Zareba, D. (Eds). (2007). *Zielone szlaki greenways.* Praktyczny poradnik (red.), Fundacja Partnerstwo dla Środowiska i Environmental Partnership Association, Krakow-Brno.

CULTURAL LANDSCAPES OF UKRAINE IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Schultheiß J., Hochschule Geisenheim University, Competence Center Cultural Landscape, Dr., Geisenheim, Germany

Senkiv M., Lviv Polytechnic National University, Ph.D., Lviv, Ukraine

Reiss M., Hochschule Geisenheim University, Competence Center Cultural Landscape, Dr., Geisenheim, Germany

Abstract

The importance of historic context for sustainable landscape development is evident. The uniqueness of Ukrainian cultural landscapes and, accordingly, the necessity of its protection is substantiated on the example of the Hutsul region. The problems of sustainable development of Ukrainian cultural landscapes are revealed and the ways of their solution are offered. The role of tourism for sustainable development of Ukrainian cultural landscapes is substantiated. The main features of the digital information system KuLaDig (*Ger.:* Kulturlandschaft Digital, *Eng.:* Cultural Landscape Digital) are described and its role for the sustainable landscape development is analyzed. The possibilities and benefits of implementation of KuLaDig into Ukrainian realities are determined.

Introduction

Today's landscapes can only be understood, if their historic context is known; it is the groundwork for ensuring a proactive management of sustainable and multifunctional landscapes that we need in the future. Such an approach is necessary to fulfill economical, social, environmental and legislative requirements on the national and international scale. In addition, it helps to prevent landscape changes that may be problematic in retrospect (Sherail, 1979; Christensen, 1989; Bürgi & Gimmi, 2007; Konold & Petit, 2013; Werk, 2017; Schultheiß, 2019).

In response to these processes of landscape changes, there has been a rise in regional-scale activities to sustain landscapes. They integrate the agriculture, nature conservation and regional development sectors and are usually related to economic, ecologic and social landscape aspects contributing to the regional quality of life (Plieninger & Bieling, 2012). Many approaches assume, that landscapes can only be developed sustainably by continuous anthropogenic influence. However, understandings of how to define and specifically address particular landscapes for their sustainable development or protection differ considerably. In particular, there is no unity on this issue in Ukraine either. Therefore, the study of landscapes in the context of sustainable development should always include an analysis of approaches in understanding the concepts of “landscape”, “cultural landscape”, etc., their structure and the existing legal framework for landscape development.

Purpose of the study is to analyze the problems and prospects of sustainable development of Ukrainian cultural landscapes.

Specific tasks: to analyze approaches of understanding the concept of “cultural landscape”, in particular, in Ukraine; to substantiate on a specific example the uniqueness of Ukrainian traditional landscapes and to identify obstacles to their sustainable development; to propose ways of overcoming the obstacles to sustainable development of Ukrainian cultural landscapes and to characterize promising practices on the way of forming sustainable multifunctional landscapes.

Main approaches to understanding the concept of “cultural landscape” and landscape policies at different levels

At the international level, UNESCO focuses on representative cultural landscapes of “outstanding universal value” and their designation is based largely on their importance to cultural traditions. According to this approach, cultural landscapes represent the “combined works of nature and of man” and are illustrative of the evolution of human society and settlement over time (UN 1972). They are influenced by the physical constraints and/or opportunities presented by their natural environment and by successive social, economic and cultural forces, both external

and internal (Fig.1). The assessment of authenticity and integrity of cultural landscape should focus on the entirety of relationships between humans and nature, rather than separately assessing its cultural or natural components.

The UNESCO's Historic Urban Landscape approach (UNESCO 2013) moves beyond the preservation of the physical environment and focuses on the entire human environment with all of its tangible and intangible qualities. It seeks to increase the sustainability of planning and design interventions by taking into account the existing built environment, intangible heritage, cultural diversity, socio-economic and environmental factors along with local community values. Intangible heritage include signs and symbols passed on by oral transmission, artistic and literary forms of expression, languages, ways of life, myths, beliefs and rituals, value systems and traditional knowledge and know-how. In 1992, the World Heritage Convention adopted the cultural landscape in the World Heritage List. To date, 114 properties with 5 transboundary properties (1 delisted property) on the World Heritage List have been included as cultural landscapes. For example, Ancient City of Tauric Chersonese and its Chora in Ukraine. But during the Russian occupation of Crimea, Tauric Chersonese faces destruction due to military and commercial use.

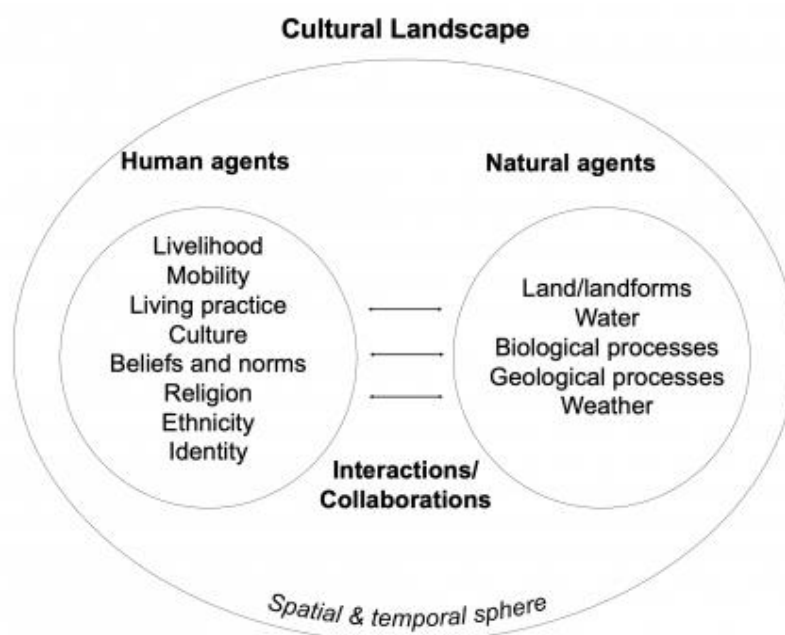


Fig. 1. Model of cultural landscape
(Wang & Graburn, 2020; Plumwood, 2006)

Due to the vagueness of the term “Cultural Landscape”, an unequivocally definition is not possible (Schenk, 2005; Karabaic & Recker, 2017a). The following definitions for cultural landscapes only provide a rough description. (Burggraaff and Kleefeld, 2007,) defined it as “the natural space which is shaped and adapted by people according to their existential, social, economic and aesthetic needs, which has emerged over time with increasing dynamics due to technical development. They are constantly changed and redesigned”. The German Association of State Monument Preservators (2001) described cultural landscapes as the “Result of the interaction between natural conditions and human influence in the course of history”.

One of the most recent landscape policies of regional level, the European Landscape Convention (ELC; COE 2000), came into force in 2004. The ELC aims at protecting, managing and planning all European landscapes, which means that it also recognises ordinary, urban and industrial locations as cultural landscapes. The ELC has defined landscapes as “an area, as perceived by people, whose character is the result of the action and interaction of natural and/or human factors” (COE 2000, p. 2). It underlines the democratic aspect, i.e. the importance of giving people the opportunity to actively participate in the evaluation and management of the landscape. The ELC applies to all types of landscapes and represents a holistic view of the sites and their surroundings. It covers natural, rural, urban and peri-urban or degraded landscapes as well as those that might be considered outstanding. Traditional landscapes (agricultural, forestry, mining, etc.) almost represent environments in peripheral locations that are believed to be rather stable or slowly developing and showing examples of historical continuity in landscape forms and land use types.

Ukraine ratified the ELC in 2005. Within the country, the term “landscape” focuses on the description of the connection and interaction between nature and man. The approaches to define and understand the cultural landscape are different in science of Western and Eastern Europe. In Western Europe, landscape and its development is seen as a historic phenomenon that is constantly changing and result of a continuous interaction between environment and humankind. In Eastern Europe,

landscape is seen as a more “static relationship” between humankind and the environment (Renes, 2017).

Besides that, cultural and economical issues are widely revealed as being extremely important – but they are considered less significant, because of the subjective and personal character of these notions.

Human influence on landscapes is driven by social, demographical, political, cultural and economic factors (Lipský, 1995; Konold, Bieling & Schaich, 2017). It differs continuously, because the multiple kinds of land use and its intensity steadily vary (Lipský, 1995; Bürgi & Russell, 2001; Bastian, Krönert & Lipský, 2006, Prüller & Schardt, 2010; Kleefeld, 2012).

Historical context and uniqueness of Ukrainian cultural landscapes

Ukraine is part of Central and Eastern Europe, therefore the historical development of the Ukrainian landscapes has common features with other countries of this subregion. Unlike Western Europe, the central part of the continent has witnessed three rapid turnovers only in the 20th century (Palang et al., 2006). The result of these modifications is four timelayers in the Central and Eastern European landscapes. Each of these layers has its own values and meanings that were decoded when the socio-economic formation that created them changed.

Imperial landscapes were created prior to 1918, when the Russian and Austro-Hungarian Empires were at their peaks. This was followed by the emergence of national states, the increase of nationalist values and a sentiment of loss and grief. The post-World War II eras brought forth socialist values, scenery, practices, ecology and representations that were in some places intermixed with the remnants of previous ones. The 1990s brought along another turn with a return to the West, a rapid change of agricultural practices and a new recording of the meaning of landscapes. Sometimes such turnovers accelerate or slow down processes that would happen anyway, e.g. modernization, industrialization, urbanization, globalization and tourism. In high and low mountain ranges with extensive agriculture the impact of landscape changes was less drastic, and in some areas traces of former landscape

structures were preserved (Renes, Centeri, Kruse & Kučera, 2019). Landscapes in those areas in which at least parts of their former structures survived, are often called traditional (Fig.2). In these cases, today, landscape management often aims at preserving these traces for various reasons, e.g., positive conditions for a high degree of biodiversity, because species find vanishing habitats there; but also inhabitants and tourists mostly prefer diversified environments, for visual aspects as well as for their personal well-being (Konold et al., 2017; Renes, 2017; Werk, 2017). The value of traditional cultural landscapes lies in the fact that they combine the economic dimension with the ecological and cultural ones, and also work as a holistic ecological and social system (KLH 2020).



Fig. 2. Traditional Ukrainian landscape, Kosmach village, Carpathians (Ukrainer 2020)

Fast, sharp (in magnitude and direction) and frequent landscape changes cause misunderstandings and incomprehension in landscape “reading”. Time treats the visible and invisible aspects of landscapes differently – sometimes objects are preserved, and sometimes meanings. Remaining visible artifacts from previous times may find new meanings in upcoming generations, especially in regards to developing tourism.

Current development of Ukrainian cultural landscapes

Centuries old cultivation traditions and therefore unique cultural landscapes are severely threatened by manifold reasons. Modern cultivation methods base on the increasing use of mechanized agriculture (e.g. using tractors), extensive environmental interventions and the creation of extended monocultures. The increasing agricultural fixation on medium and high-yielding locations leads to the cessation of landuse of low-yielding locations and to the development of shrubs and forests. There are also social alterations that directly impinge Ukrainian landscapes: continuing urbanization processes and growing prosperity affect many parts of the country which threatens old cultivation traditions by displacing agricultural livelihoods, fostering rural-urban migration, and enabling young generations to abandon work on the farmlands.

The result of all these developments are a deep and wide change of landscapes and an increasing landscape uniformization – landscapes become more and more interchangeable and monofunctional. Due to the lack of a law on landscapes, all types of Ukrainian landscapes, especially traditional, are severely endangered. There were (and still are) multiple examples, where thoughtless and one-sided interventions led to a loss of landscape uniqueness and to significant, irretrievable damage – this also counteracts the principles of the ELC. There seem to be only two possible futures for traditional landscapes: adjusted change by proactive management or permanent destruction.

Using tourism for sustainable landscape development

Tourism may slow down or reverse these developments. Landscapes are an important tourism factor and therefore they can play a significant role in the tourism value added. In some cases, historic cultural landscapes also are preserved because of tourism reasons. These landscapes provide new income potentials in rural areas that are heavily affected by emigration and overaging and they even might keep young families from moving away – sometimes people return from the cities. This leads to lasting support from these user groups and this support is crucial for landscape sustainability.

Landscape change meets climate change

The challenges that are accompanied by climate change are steadily increasing and it is widely unknown what effects these developments will have on our ecosystems.

Multifunctional landscapes are necessary to face the threat of climate change, because they may enhance the climate-adaptability of landscapes, ecosystems and human beings dramatically. Therefore, multifunctional, traditional structured landscapes are sustainable landscapes – social, economical and ecological.

Hutsul landscapes as an example for unique Ukrainian cultural landscapes

Ukraine is a multiethnic country – representatives of 134 nationalities and ethnic groups live on its territory. Over the centuries, various ethnographic groups have formed among Ukrainians. They have certain differences in culture, life and language, some of them until today. The most famous are the highlanders (Hutsuls, Lemkos, Boikos).

Hutsuls are a unique ethnographic group of Ukrainian people living in the west of the country: in Ivano-Frankivsk, Chernivtsi and Zakarpattia regions. Hutsul culture that has been developed for years in the picturesque Carpathian lands impresses with peerless clothes, indigenous language, authentic traditions, interesting crafts, mystic legends and beliefs (Fig.3). Tradition of Hutsuls (Kosiv) painted ceramics was inscribed in 2019 on the Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity (UNESCO 2019).



Fig. 3. Hutsuls in the village of Zhabie (now Verkhovyna), 1934, Carpathians
(Poddębski, 2017; NAC 2017)

In the second half of XX century, social organization, way of life, ideological and cultural values formed in Soviet Ukraine were introduced in the Hutsul region.

State ownership of land and forests as well as collective management almost destroyed the traditional land use of Hutsuls in a short time.

Based on knowledge about the Hutsul region, it is possible to identify elements of Ukrainian traditional landscapes in modern conditions (Chaplinskyi & Kibych, 2010) (Fig.4):

- based on a combination of economic activity and natural conditions of the Carpathians and include sheep and cattle breeding, logging and woodworking industry;
- based on a combination of natural conditions, settlement and everyday life traditions and include residential wooden architecture such as a “grazhda”;
- based on a combination of material and spiritual culture, for example, sacred architecture – the christened wooden churches;
- tourism infrastructure (hotels, tourism complexes and farmsteads of rural tourism).



Fig. 4. Examples of elements of Ukrainian traditional landscapes, Carpathians (Ukraïner 2020; Kohut, 2013; Dutchak, 2015; Zelenyi Turyzm 2020)

Responsible tourism, in particular, ethnic and ecologic, would contribute to the preservation of the landscapes of Hutsul region. Ethnic tourism means travel with the aim of knowledge of a certain ethnocultural environment with its culture (traditions,

crafts, and way of life). Ethnic tourism allows the local population, especially the younger generation, to pursue their traditions and additionally receive material benefits. Ecological tourism is very promising, because here is Chornohora range, protected areas – natural parks Carpathian, Vyzhnytskyi and Hutsulshchyna, Carpathian biosphere reserve, numerous sources of mineral waters (Pelypeyko & Karpovets, 2006).

The need to raise livestock and forest has a deep cultural implication for Hutsuls. That is the reason why today public and state support is very important for them. The attention is also needed to the aesthetic view of modern Hutsul settlements, in the central part of which public establishments are increasingly appearing and the Hutsul style of buildings and fences is disappearing. This reduces the tourist attractiveness of the region. It is necessary to carry out state registration of all ancient residential buildings and other structures that are organically connected with their mountain landscape, the local population and have a special architectural value. The problem of granting certain rural settlements of the Hutsulshchyna, which have a large number of historical and cultural monuments, a special status of regional historical settlements of Ukraine, is also becoming urgent.

Providing adequate data about landscape development with digitalization

The development of multifunctional, sustainable landscapes requires comprehensive knowledge about the affected landscapes for everyone and therefore an easy availability of relevant information. Currently, this condition is often not fully ensured. Some landscape-relevant information is not available for the public at all. Often this information is hard to access, because it is not digitalized or filed in various digital systems.

The Regional Authorities of the Rhineland (LVR) and Westphalia-Lippe (LWL), located in the German state of North Rhine-Westphalia, recognized the problematic availability of landscape information and the resulting challenges for landscape planning and participation processes. Approximately 20 years ago, they initiated the development of KuLaDig (Cultural Landscape Digital;

www.kuladig.de), a digital information system that collects and shares information about cultural landscapes. Today, KuLaDig is an appreciated and multifunctional program that allows all interested individuals (e.g. planners, politicians or the public) a low threshold to information about cultural landscapes (Knieps, 2017; Burggraaff Knieps, Schultheiß & Tempel, 2017; Schultheiß & Steinbring, 2018).

KuLaDig is fully free accessible for the public, but the implementation of new KuLaDig-objects is bound to a KuLaDig-account. Each account is granted by the LVR and only partners of the LVR get their own. New KuLaDig-objects are created by a small program that has to be downloaded; this program includes a complex input structure which enables the creation of uniform structured KuLaDig-objects. Every new KuLaDig-object is first blocked for the public and only visible for KuLaDig-members. Two additional members have to proof every new object and carry out an audit of quality control. After acceptance, the object can be unlocked and set visible for the public (Burggraaff et al., 2017).

The starting page of KuLaDig (www.kuladig.de; Fig. 5) offers direct and easy access to the system. It includes a “What” and “Where” search with an auto completion. It also shows a monthly changing object of the month and a selection of interesting, continuously changing objects. The system is mainly financed and developed by the LVR, lead partners are the State Office for Monument Preservation of Hesse, the State Office for Archeology of Schleswig-Holstein, the Ministry for Internal Affairs of Rhineland-Palatinate and the Rhenish Association for Monument Preservation and Landscape Protection.

Every existing object with a landscape relation and a clear spatial location can be integrated in KuLaDig. Moreover, the system is able to display objects of different spatial levels from single elements (e.g. buildings, cultural and natural monuments or tracks) up to objects that are assembled by multiple objects (e.g. landscapes, settlements or industrial complexes).

Each KuLaDig-object presents itself with the same strict structure. Because of that, all objects include the same basic information like heading, keywords, professional view thematic classifications, summaries, detailed descriptions, photos,

videos and audio files, author and date of creation. The uniform object structure enables a digital connection of different KuLaDig-objects and thereby the presentation and clarification of thematic or spatial relations between these objects. There are two kinds of relations: hierarchies and groups. An object stands in an hierarchical order to another, if it is part of a superordinate object or if it is made of multiple subordinate objects (e.g. a water mill complex is composed of a main building, a millrace, a weir, a dam and a reservoir). KuLaDig-groups display thematic relations of objects that are not directly linked to each other (e.g. all water mills in Lviv Oblast; Schultheiß, 2019).

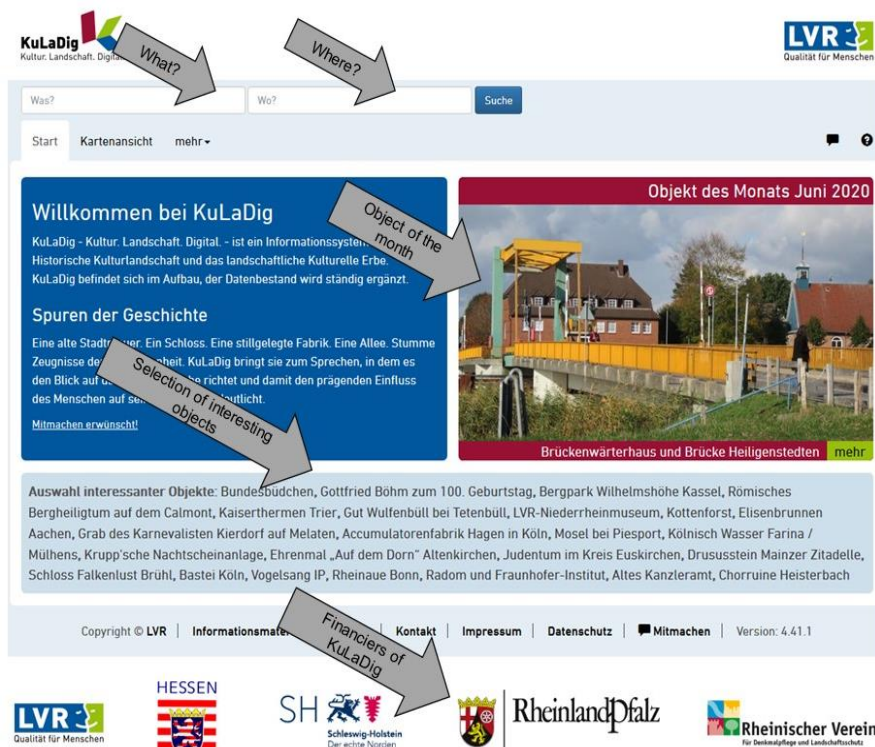


Fig. 5. The starting page of KuLaDig (LVR 2020)

A fundamental strength of KuLaDig is the integrated Esri-Web-GIS. All objects are precisely located and displayed on a map (Fig. 6). The system enables to switch between different background maps (e.g. official topographic maps, OpenStreetMap or aerial views). It is also possible to integrate WMS-services. Therefore, multiple maps can be imported (e.g. laser scans or historical maps). The system allows to export and import GPX- and Shapefiles.

KuLaDig has open interfaces that make the integration in other systems possible. Hence, other websites or apps can use the extensive system structure of KuLaDig and omit the development of complex and expensive programs.

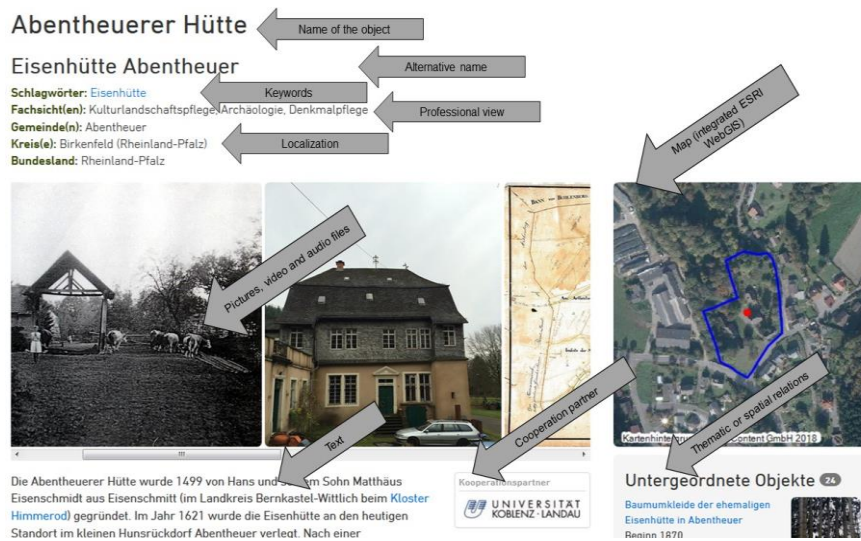


Fig. 6. Example of KuLaDig-object (Bär et al. 2015)

KuLaDig in Ukraine

KuLaDig grants Ukraine the chance to collect, save and use information about its rich cultural heritage and landscapes in a contemporary way. Only what is known can be protected, evaluated and sustainably developed (Kruse & Paulowitz, 2017).

There is no comparable system for Ukraine yet – and partly related systems are either technical out of date, thematically narrowly limited or only available in Ukrainian/Russian language.

With KuLaDig, such information can easily be used for the most different purposes. It can support subdividing, defining or classifying different Ukrainian landscapes and setting development goals for each. It offers a planning base that is not only needed to fulfill these goals and further purposes (e.g. tourism, support of regional identities). It is also required to evaluate current landscape problems and to enable a more sustainable landscape development for the future, also to face climate change and to fulfill the requirements made by the ELC. KuLaDig offers a possibility to share this information not just within Ukraine, but also to other parts of Europe and

the whole world, where Ukrainian cultural landscapes and its particularities are largely unknown today.

A partial use of KuLaDig in Ukraine is already possible. The KuLaDig-group “Castles and fortresses in Ukraine” (Fig. 7) was created tentatively to check, whether and how creating Ukrainian objects is already working. It includes three objects in Western Ukraine (Fig. 8). The localization with GIS worked and the system accepts cyrillic letters. However, there is a need for changes done within KuLaDig to get it completely compatible with Ukrainian demands. The system still runs only in German language, also the program for creating KuLaDig-objects is just available in German. Currently there is no possibility to switch between KuLaDig-objects that are written in different languages. If the user wants to check the exact localization of an object by clicking on the map, the ESRI-Web-GIS sets the German ATKIS-map as background map – that’s why the system shows a black background outside of Germany. The solution for this problem is quite simple: setting OpenStreetMap as the standard background map. This is already possible, but it requires a manual, laborious change of the background map in ESRI-Web-GIS for every object.

The Competence Center Cultural Landscape and its partners (including Lviv Polytechnic National University) currently try to stimulate the internationalization of KuLaDig. The aim is to solve the mentioned problems in the near future and that every interested institution outside of Germany can easily add information and use KuLaDig for different purposes. This requires a further and profound processing of the system.

Castles and fortresses in Ukraine

Schlagwörter: Festung, Burg

Fachsicht(en): Kulturlandschaftspflege, Archäologie, Denkmalpflege, Landeskunde

Fig. 7. Example of KuLaDig-group of objects from Ukraine (Schultheiß, 2020)

Nevytske Castle

Невицький замок, Nevickei vár, Nevytsky Castle

Schlagwörter: Burg

Fachsicht(en): Kulturlandschaftspflege, Archäologie, Denkmalpflege, Landeskunde

Gemeinde(n):

Koordinate WGS84 49° 28' 1,06" N; 2° 48' 14,55" O / 49,46696°N; 2,80404°O

Koordinate UTM 31 485 801,58 m; 5 479 386,05 m

Koordinate Gauss/Krüger 1 485 808,19 m; 5 481 138,36 m

Fig. 8. Example of KuLaDig-object from Ukraine (Senkiv, 2020)

Conclusions

Ukraine has a rich history, many ethnic groups and regimes existed on its modern territory, that's why various types of unique and different landscapes are presented here. These landscapes have high cultural, economical and ecological values. Nevertheless, they suffer a continuous and increasing pressure to inevitable changes, triggered by modern farming methods, climate change and demographic developments. There is the risk that Ukrainian cultural landscapes lose their specific identities and uniqueness. Their ability to face future challenges decrease continuously.

This situation is supported by the lack of national legislation on landscapes and an inadequate enforcement of existing laws. Moreover, there is no officially recognized approach of the understanding and typology of landscapes.

This situation and the deficits should be changed. The development of ecologic, cultural and economic sustainable landscapes can only be guaranteed by foresight planning and handling of Ukrainian landscapes. It is fundamental that this landscape planning is not about permanent preservation, – it is about the adjusted, forward-looking development of multifunctional landscapes or its components (Büttner, Burggraaff, Recker & Söder, 2011; LVR, 2016; Karabaic & Recker, 2017b).

To face the current landscape development and to attract the attention of a large number of people to this problem, we consider it expedient to develop tourism, in particular, ethno-tourism in combination with ecological tourism. Well managed tourism may support sustainable, multifunctional landscapes.

The basis for this is a free and easy accessibility of landscape-relevant information for all interested parties. The German digital cultural landscape system KuLaDig offers a promising and contemporary possibility to display such information worldwide. Actually, this system basically works in Ukraine, but it still needs adjustments for a full application.

The Lviv Polytechnic National University and the Hochschule Geisenheim University are already working jointly for the full implementation of the system in Ukraine and using its potential in the near future. This cooperation can contribute to develop real sustainable landscapes that Ukraine needs for a promising future.

References

- Bär, F., Etzkorn, N., Schellhas, M., Schultheiß, J., & Burggraaff, P. (2015). Abentheurer Hütte. *KuLaDig, Kultur. Landschaft. Digital*. Retrieved from www.kuladig.de/Objektansicht/KLD-245885
- Bastian, O., Krönert, R., & Lipský, Z. (2006). Landscape diagnosis on different space and time scales – a challenge for landscape planning. *Landscape Ecology*, No. 21, 359–374

- Bürgi, M., & Gimmi, U. (2007). Three objectives of historical ecology: the case of litter collecting in Central European forests. *Landscape Ecology*, No. 22, 77–87
- Bürgi, M., & Russell, E. W. B. (2001). Integrative methods to study landscape changes. *Land Use Policy*, No. 18, 9–16
- Burggraaff, P., & Kleefeld, K.-D. (2007). Kulturlandschaft in der Umweltverträglichkeitsprüfung. *Les Cahiers de l'Urbanisme – Le projet Planarch 2, Archéologie et aménagement du territoire*, 106–118
- Burggraaff, P. Knieps, E. Schultheiß, J., & Tempel, M. (2017). KuLaDig – eine Kooperationsplattform zur Erfassung und Bewahrung der Kulturlandschaft und ihrer Entwicklung. *37th Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF in Würzburg – Publikationen der DGPF*, No. 26, 203–215
- Büttner, T., Burggraaff, P., Recker, U., & Söder, D. (2011). KuLaKomm – Kulturlandschaftsschutz auf der kommunalen Ebene – Managementplan für eine nachhaltige Entwicklung der Kulturlandschaft des Rheingau-Taunus-Kreises. *Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege Hessen*, No. 22
- Chaplinskyi, P., & Kibych,. (2010). Problematyka etnokulturnoho landshaftu Hutsulshchyny: rysy, podil, zberezhennia. Retrieved from <http://www.geograf.com.ua/-nzvdpu/vypusk-21-2010/problematyka-etnokulturnogo-landshaftu-guculshchyny-rysy-podil-zberezhennya>
- Christensen, N. L. (1989). Landscape History and Ecological Change. *Journal of Forest History*, Vol. 33, No. 3, 116–125.
- COE (Council of Europe) (2000): *European Landscape Convention*. Florence.
- Dutchak, Y. (2015). Zhytlovyi budynok u seli Kryvopillia. Retrieved from http://nppver.at.ua/-_nw/2/12101917.jpg
- German Association of State Monument Preservators. (2001). *Denkmalpflege und historische Kulturlandschaft*.
- Karabaic, M. & Recker, U. (2017a). Vorwort. In: *Fundberichte aus Hessen*, Beiheft 9, Kulturlandschaftsmanagement. Planung – Perspektive – Vermittlung, VII–VIII

- Karabaic, M. & Recker, U. (2017b). Kulturlandschaft als kommunales Thema. *Fundberichte aus Hessen, Beiheft 9, Kulturlandschaftsmanagement. Planung – Perspektive – Vermittlung*, 303–314
- Kleefeld, K.-D. (2012). „Kulturlandschaft ist dynamisch“ – der methodische Ansatz der Wandelkarte innerhalb der Kulturlandschaftsanalyse. *Koblenzer Geographisches Kolloquium, No. 34*, 11–31
- Knieps, E. (2017). Kultur.Landschaft.Digital – eine Kooperationsplattform zur Dokumentation und Vermittlung von Wissen zur Kulturlandschaft, ihrer Entwicklung und zur Berücksichtigung kulturlandschaftlicher Werte bei Planungsvorhaben. *Fundberichte aus Hessen, Beiheft 9, Kulturlandschaftsmanagement. Planung – Perspektive – Vermittlung*, 71–84
- Kohut, D. (2013). Tserkva v Kryvorivni. Wikipedia. Retrieved from [https://uk.wikipedia.org-wiki/Гуцульська_церква#/media/Файл:Церква_в_Криворівні_2013_059.jpg](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гуцульська_церква#/media/Файл:Церква_в_Криворівні_2013_059.jpg)
- Konold, W. & Petit, C. (2013). Zur Bau- und Arbeitsgeschichte der Weinbergskultur. *Natur- und Kulturerbe des Weinbaus aktivieren und vermitteln*, 11–20
- Konold, W., Bieling, C. & Schaich, H. (2017). Landespflege Freiburg: die „Interdisziplin“ der Kulturlandschaftsforschung. *Fundberichte aus Hessen, Beiheft 9, Kulturlandschaftsmanagement. Planung – Perspektive – Vermittlung*, 233–252
- Kruse, A., & Paulowitz, B. (2017). Europäische Kultur im Spiegel der Agrarlandschaft – EUCALAND und Kulturlandschaft. *Fundberichte aus Hessen, Beiheft 9, Kulturlandschaftsmanagement. Planung – Perspektive – Vermittlung*, 279–292
- KLH (Kulturni landshafty Halychyny). (2020). *Ресурс: Традиційні у культурних ландшафтах та їх умовності*. Retrieved from <https://culturallandscapes.org.ua/2>
- Lipský, Z. (1995). The changing face of the Czech rural landscape. *Landscape and Urban Planning, No. 31*, 39–45

- LVR (Landschaftsverband Rheinland). (2016). *Fachbeitrag Kulturlandschaft zum Regionalplan Köln – Erhaltende Kulturlandschaftsentwicklung*. Köln
- LVR (Landschaftsverband Rheinland). (2020). Starting page of KuLaDig. *KuLaDig, Kultur. Landschaft. Digital*. Retrieved from www.kuladig.de
- Palang, H., Printsman, A., Konkoly Gyuro, E., Urbanc, M., Skowronek, E., & Woloszyn, W. (2006). *Pecypc: The forgotten rural landscapes of Central and Eastern Europe*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/225557802_The_Forgotten_Rural_Landscapes_of_Central_and_Eastern_Europe
- Pelypeyko, I. A., & Karpovets, N. V. (2006). *Pecypc: Hutsulshchyna. Entsyklopedia suchasnoi Ukrainy*. Retrieved from http://esu.com.ua/search_articles.php?id=25040
- Prüller, R., & Schardt, M. (2010). Untersuchung der Dynamik alpiner Kulturlandschaften. *Angewandte Geoinformatik, No. 22*. AGIT-Symposium. Salzburg.
- Plumwood, V. (2006). The Concept of a Cultural Landscape: Nature, Culture and Agency in the Land. *Ethnic and the Environment*, 11 (2), 115–150
- Plieninger, T., & Bieling, C. (2012). *Pecypc: Connecting cultural landscapes to resilience*. Retrieved from <https://www.cambridge.org/core/books/resilience-and-the-cultural-landscape/connecting-cultural-landscapes-to-resilience/7B8D127F6AD065DC2673C8C5BE169F79>
- Poddębski, H. (2017). Hutsuls in the village of Zhabie, 1934. *Narodowe Archiwum Cyfrowe: Niepodległa Podłębskiego*. Retrieved from <https://www.nac.gov.pl/wp-content/uploads/2017/11/NAC-Henryk-Poddebski-eBook.pdf>
- Renes, H. (2017). Kulturlandschaft als europäisches Thema. *Fundberichte aus Hessen, Beiheft 9, Kultur landschafts management. Planung – Perspektive – Vermittlung*, 269–278

- Renes, H., Centeri, C., Kruse, A., & Kučera, Z. (2019). *Pecypc: The Future of Traditional Landscapes: Discussions and Visions*. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-445X/-8/6/98>
- Schenk, W. (2005). „Kulturlandschaft“ als Forschungskonzept und Planungsauftrag – aktuelle Themenfelder der Kulturlandschaftsforschung. *Fundberichte aus Hessen, Beiheft 4, Kulturlandschaft. Wahrnehmung – Inventarisierung – Regionale Beispiele*, 15–33
- Schultheiß, J. (2020). Castles and fortresses in Ukraine. *KuLaDig, Kultur. Landschaft. Digital*. Retrieved from www.kuladig.de/Objektansicht/SWB-318908
- Schultheiß, J. (2019). Kulturlandschaft Nationalpark Hunsrück-Hochwald – Genese und Perspektiven. *Doctoral thesis at the University of Freiburg*
- Schultheiß, J., & Steinbring, B. (2018). KuLaDig in Hessen – Aktueller Stand und Perspektiven am Beispiel des Lahnprojektes. *Denkmalpflege und Kulturgeschichte, No. 3/2018*, 30–35
- Senkiv, M. (2020). Nevytske Castle. *KuLaDig, Kultur. Landschaft. Digital*. Retrieved from www.kuladig.de/Objektansicht/KLD-318941
- Sherail, J. (1979). Documentary evidence of the changes in the use, management and appreciation of the grass-heaths of Breckland. *Journal of Biogeography, No. 6*, 277–292
- Ukrainer. (2020). *Pecypc: Malanka u Kosachi. Hutsulskyi karnaval*. Retrieved from <https://ukrainer.net/-kosmatska-malanka/>
- UN (United Nations). (1972). Convention for the protection of the world cultural and natural heritage. Adopted by the General Conference of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization at its seventeenth session, Paris.
- UNESCO. (2013). *Pecypc: New life for historic cities: The historic urban landscape approach explained*. Retrieved from <https://whc.unesco.org/en/news/1026#:~:text=UNESCO's%20->

approach%20to%20managing%20historic,for%20the%20development%20of%20cities

- UNESCO. (2019). Pecypc: Tradition of Kosiv painted ceramics. Retrieved from <https://ich.unesco.org/-en/RL/tradition-of-kosiv-painted-ceramics-01456>
- Wang, Z., & Graburn, N. (2020). *Pecypc: Tourism and Cultural Landscapes in Southern China's Highlands*. Retrieved from <http://journals.openedition.org/viatourism/5491>
- Werk, K. (2017). Kulturlandschaftsentwicklung im Licht der Naturschutzaufgabe. *Fundberichte aus Hessen, Beiheft 9, Kulturlandschaftsmanagement. Planung – Perspektive – Vermittlung*, 253–260
- Zelenyi Turyzm. (2020). *Pecypc: Hotel “Hutsulska hata”*. Retrieved from http://green.vsitury.com.ua/-uploads/posts/2018-05/1527237993_1c78269122.jpg

EUROPEAN MEASUREMENTS IN THE PRACTICE OF IMPLEMENTING EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Mitryasova O., Petro Mohyla Black Sea National University Prof., DSc., Mykolaiv, Ukraine

Mats A., Maria Curie-Skłodowska University, Mas., Lublin, Poland

Abstract

One of the main problems of the modern education system is the formation of its content. The content of education is a clearly defined range of knowledge, skills, and competencies that a person acquires by studying in an educational institution or independently. It contains a system of scientific knowledge about nature, society, human thinking, culture and practical skills necessary for human life. Determination of the theoretical foundations of an integrated approach has scientific value (due to definition of its specifics) and social value (modernize of specialists' training) and applied value (ensuring of continuity of the objectives and content of students' education according to their studies profile). It is suggested to use the integrated approach in the students' preparation process.

Purpose research is creation of effective didactic system of interdisciplinary knowledge of water security course with special an emphasis on professional orientation.

Object is education content of the students' preparation process, namely, students' training of the environmental specialty.

Methods of the analysis, synthesis of knowledge, educational experiment and mathematical statistics were used for fulfillment of the purpose.

This study is implemented by Programme EU Erasmus+ Jean Monnet Activities as part of the interdisciplinary European studies in Petro Mohyla Black Sea National University. The effective didactic system of interdisciplinary knowledge of natural-science courses, namely water security course, was created. Principles, meaningful lines of the integrated approach to students-environmentalists teaching are defined. The teaching course for Master's students in Environmental Science

covers the main topics, such as water resources, water quality, climate change, integrated water management, water policy and law issues. First of all, the training course presents European practices in the water security field. The content is constructed according to the leading aspects of the concept of sustainable development, namely the ideas of integration of knowledge. The latter are based on the environmental imperative. The course helps students to learn effectively on evolution of intergraded water and environmental management of the European Union, thus to developing their awareness in the issues of European studies.

Conclusions and future directions. The study is proved the didactic effectiveness of the integrated approach to form of content of natural science course of water security. The prospect of further research activities is to improve the theory and practice of integrated study of natural courses based on the developed conceptual provisions of the education content integration, and also to improve the methodology of assessing the quality of students' knowledge during study of integrated courses.

Introduction

The leading trends in the development of higher education content are internationalization, humanization and competence approach. The first quarter of XXI century accumulated multidimensional and quite wide complex of modern higher education problems which are actual, quite often inconsistent and rather difficult when deed reaches with real solution of specific educational objectives. The philosophy of educational process aims to system pluralism and to dialogue of different concepts. One of such key problems is the education content (Bilyavsky & Bogolyubov, 2000; Kremen, 2003; Kofanova, 2012; Mitryasova, 2020 etc.). To development of organizational and educational conditions of students' preparation of an ecology direction, to the content of environmental education are devoted researches such as Mitryasova & Pohrebennyk, 2015; 2017; Petruk, 2015; Tidball, 2011; Rudyshin, 2009; Simmons, 2004; Sherren, 2008; Stern, Powell, Ardoin, 2011; Sterling, 2010; Zhou, Xia Chen, Wen Huang, 2012; Van Poeck, Konig, Wals, 2018 etc. Preparation of students of this direction differs from other natural-science

educational specialties a diversity and universality that focuses technology of creation of the education content on knowledge integration.

Purpose research is creation of effective didactic system of interdisciplinary knowledge of natural-science courses of environmental education with special an emphasis on professional orientation.

Object is education content of the students' preparation process, namely, students' training of the environmental specialty.

Subject is the integrated approach to form education content in the students' preparation process.

Methods of the analysis, synthesis of knowledge, educational experiment and mathematical statistics were used for fulfillment of the purpose. Integration of modern scientific knowledge as one of the most important tendencies of science development has to find the reflection in the content of students-environmentalists' preparation. Theoretical background of the environmental education theory is based on the integrated approach. The integrated approach to the environmental education is a special type of designing its content which opens the system of interdisciplinary connections, and it also coordinates, unites and systematizes knowledge about the main natural-science theories, basic categories and principles of the modern natural-science picture of the world.

Main text

Main tasks of the natural sciences education in the context of the integrated approach are to form:

- the fundamental (global) laws concepts of nature and research methods that allowed them to discover; ideas about the most important milestones on the way to achieving a modern level of natural science; understanding of the most common theories that characterize the present level of natural science;
- knowledge about the unity of living and inanimate nature, about the unity of the developing world, which is provided by the fact that the physical form of

the movement goes higher – chemical and biological forms of matter movement;

- a whole scientific world outlook, awareness of the students the principles and regularities of the nature development – from the microcosm to the Universe and Human, as well as the development of ideas that in the transition of systems to a higher level of development at the same time increasing their diversity, the growing number of structural parts, there is differentiation, complicated by relationships and simultaneously increases the integration;
- students' skills to use the obtained knowledge of natural science disciplines during the solution of the professional orientation tasks.

In a wide sense the integrated approach to the education is not a simple eclectic combination of scientific facts and concepts in the content of disciplines, but rather the coordination, combination and systematization of knowledge regarding basic theories, leading categorical concepts, principles of modern natural science knowledge, aimed at shaping nature and the integrity of worldview. The integrated approach aims to resolve the following contradictions: between the content of learning and life; between different ways of knowing the world; between the whole and the elements of the whole; between different disciplines. Levels of the integrated approach implementation are internal disciplinary and interdisciplinary of knowledge and the highest level – methodological synthesis (fig. 1).

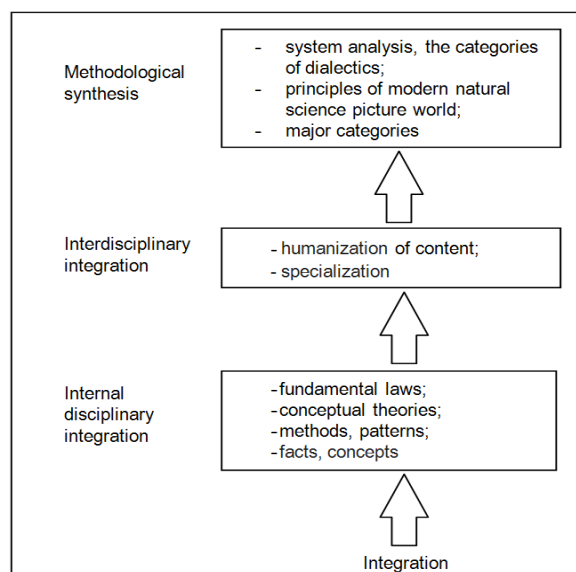


Fig. 1. Levels and directions of the integrated approach implementation

Internal and interdisciplinary integration is being implemented through selection into the content of education the facts, concepts, laws, methods, theories according specialization and humanization. Dialectic category are set off at the level of methodological synthesis, for example, unit, system, structure, element, cause, consequence, content, form, causality, randomness, pattern, etc.

The principles of selection and structuring of educational material for preparation of students-environmentalists' are defined and substantiated. First of all, these are the principles: systematic (systemic factors are the goal of natural education in the context of the integrated approach, leading laws and theories, basic categorical concepts, principles of natural science, objects of study); interdisciplinary connections, fundamentalization, professional orientation of the content of education, orientation of the content of training to the disclosure of environmental problems.

Training of natural specialties students differs by plurality and covers a wide range of humanitarian, social and natural sciences. Especially there is a need to search for identify and justify the major categories to serve as fundamental centers integrating various training courses at the graduate level of integrating knowledge – level of methodological synthesis. Such centers of integration for students-environmentalists are the following categories: life quality; environmental safety; idea of a coevolution and sustainable development of nature and person; exhaustion of natural resources.

The implementation of the integrated approach to building the content of education has been confirmed in the practice of training environmentalists by university education. Several integrated training courses have been built, organized and implemented. For example, the integrated training course "Water security" which is implemented under the auspices of the programme EU Erasmus+ Jean Monnet Activities includes key elements of European environmental policy in the field of the water ecology, including the world's and EU's practices for sustainable development and the processes of environmental policy integration. The course covers topical issues that contribute to a better understanding of the environmental, economic, social, biophysical, technological, and institutional influencers of current and future

global water security to achieve the goals of sustainable development. Besides, it is developed questions about climate change, water pollution monitoring, and technology of water treatment, quality of drinking water and the integration of environmental water politics into regional practices. Also the course includes issues that to better understanding the nature and drivers of urban water demand and the potential for social and economic instruments to drive conservation efforts. Also the course comprises the international dimension, with the role of the EU in international environmental motions (e.g. Kyoto Protocol, UNESCO Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development, Sustainable Development Strategies), the International Water Security Network and so on and the impact of European policy on other regions of the world. The course is interdisciplinary and connects the policy and tools of water monitoring and management, principally addressing EU and Ukraine practices of water quality, water resources, biodiversity and fisheries and their progressive integration.

The main learning outcomes of students are understanding the difference between policies and tools of EU and Ukraine for water monitoring and management; explanations goals and system of water management at national, regional/EU and global levels; understanding and articulate key environmental challenges to water management; articulation and understanding of the evolution of systems thinking, ecosystems thinking, the ecosystem approach and ecosystem services, and the implication of this for the continued evolution of integrated water and environmental management contexts; understanding and using topical and correct terminology related to the environmental management in the field of water security; ability to conduct analysis, synthesis, creative reflection, evaluation and systematization of various information sources in researching in the field of water security. Equally important are such learning outcomes as knowledge of the basic principles, types, methods and means of environmental water monitoring and ability to assess and predict the state of the objects of the environment; understanding and explanation influential quality of water to health, researching skills of water security and other crosscutting issues; understanding of the water management system and procedures

for activities of enterprises in order to water security, its functions, tasks at the global and national levels; knowledge of the latest advanced technologies and innovations in the field of water security; discussing the evolving policy and tools of water monitoring and management, principally addressing EU and Ukraine practices of water quality, water resources, biodiversity and fisheries and their progressive integration.

Discussing the results of students' training through the formation of certain outcomes it is necessary to note the overall integrated nature of the "outcome" or "competence" notion regarding the definitions of "knowledge", "ability", "skills". The result of the learning is the formation of certain types of competencies which by the European TUNING project definition covering the knowledge and understanding of, the knowledge of how to operate, the knowledge of how to be. According TUNING there are three types of generic competences: instrumental competences (cognitive abilities, methodological abilities, technological abilities and linguistic abilities); interpersonal competences ("soft skills": individual abilities like social skills, social interaction and co-operation); systemic competences (abilities and skills concerning understanding of systems' whole); instrumental and interpersonal competences. So, the integrated approach to content education can be improved these types of generic competences.

Research results

The main reason to carry out an educational experiment was that students' training does not provide the proper motivation and profiling. The majority of students could not identify the links between fundamental and professional knowledge. To assess the quality of education coefficient of knowledge and skills K_a is used (Bespalko, 1989, formula 1), which was defined as the ratio of correct answers of the test a to total test objectives p :

$$K_a = \frac{a}{p} \quad (1)$$

For the majority of recent school graduates (54,7%) this ratio is 0,33, which corresponds to the low level of natural general training. Primary diagnostic poll of students founded that their training does not provide the proper motivation and profiling. The vast majority of those polled could not identify the connections between fundamental and professional knowledge. This is due to the domination of the logic of the fundamental sciences to the content of educational material. So it is actually to investigate the interdisciplinary connections and content of professional area learning. This is the reason to carry out an educational experiment among students. The following knowledge characteristics were investigated during the research: the completeness of students' knowledge and skills; systematization and generalization of knowledge and skills.

The completeness of students' knowledge and skills was defined by the ratio of the notions number of applied by students to the number of definitions that can be use. The tasks were consisted of their reproductive level of educational material. Quantitative characteristic of the completeness of the knowledge factor was the acquisition coefficient of knowledge by students. The formula 2 (Kyveryalg, 1980) used for this:

$$\bar{K} = \frac{\sum N_i}{n \sum N} \times 100\% , \quad (2)$$

where,

n – the total number of students who performed work;

$\sum N$ – the amount of correct answers in the test;

$\sum N_i$ – the amount of correct answers of students.

Previously the validity of the test tasks had was tested. For this purpose, the coefficient of reliability and the correlation coefficient with the results of students' success were defined. Also, the validity of the tests had been determined that the tests are to educational programme and cover basic training material. For statistical calculation of the results was a computer program Excel. Taking the zero hypothesis, according to which the sample in the same conditions and because the differences between them caused by accidental causes.

It is determined that the average completeness of knowledge in the experimental groups is 79%; and the completeness of students' knowledge in the control groups averaged is 64%, which corresponds to low satisfactory scholarship.

The ability of students to systematize and generalize the knowledge provided four levels of systematization and generalization: notion; theme; interdisciplinary; problem. Therefore we considered it necessary to compile tasks that involve of students' knowledge with the appropriate level of systematization and generalization. Out of the total number of students of the control and experimental groups the percentage of students who have mastered the knowledge of the appropriate level fixed. Indicator of systematization and generalization of experimental groups on the notion level is 83% the theme – 78%, the interdisciplinary – 57%, the problem is 54% (fig. 3).

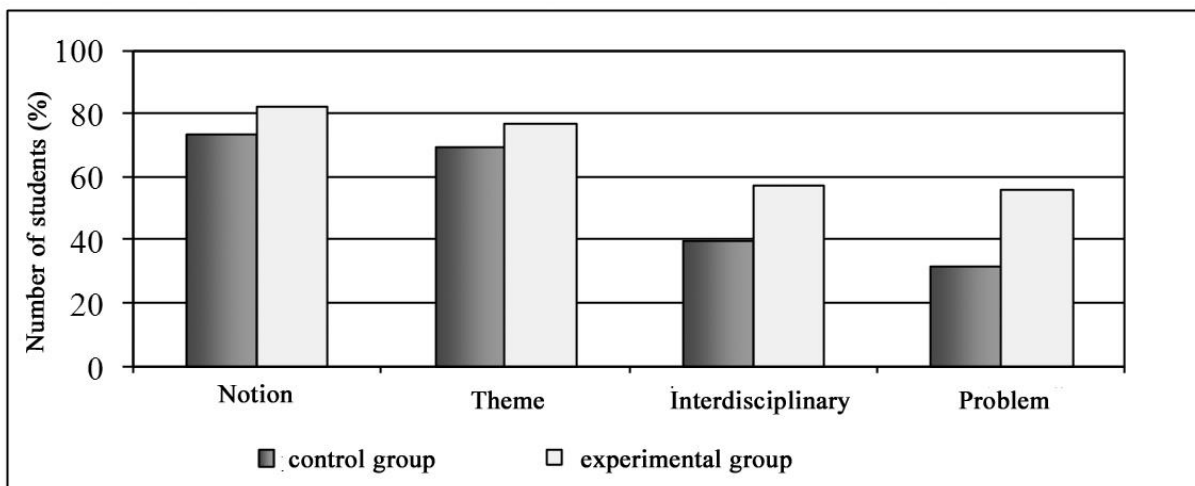


Fig. 3. Diagram of systematization and generalization indicators students' knowledge in the experimental and control groups

The analysis indicates that during the study of the integrated course level of systematization and generalization of knowledge increases, compared with control groups. The average growth level of systematization and generalization of students' knowledge of the experimental groups compared with control at the notion level is 10% on the theme – 9%, the interdisciplinary – 16%, the problem – 22%.

Conclusions, Recommendations and Future directions

Thus, the integrated approach to the content of students-environmentalists' education promotes to formation of concepts about fundamental (global) nature laws, understanding of nature unity and world development; to formation of complete scientific outlook, skills of use of knowledge in the course of the professional tasks solution. The integrated approach to education is a special type of its content construction, organization and direction of which subordinated to disclosure of intra- and interdisciplinary connections system and also coordination, combination and systematization of knowledge according to basic scientific theories, leading categorical concepts, principles of modern natural information which are aimed to form the holistic scientific picture of the world.

The result of research and experimental work is positive. We tested and confirmed the educational effectiveness of the training material content based on the integrated approach and study of the indicators of the quality of students-environmentalists' knowledge. The results of the experiment have determined that implementation of the integrated approach into education content enhances the completeness of knowledge (79%/64% of the experimental and control groups, respectively), systematization and generalization on the notion; theme; interdisciplinary; problem levels (83% / 73%, 78% / 69%, 57% / 40%, 54% / 32%).

However, it should be noted that the research does not exhaust all aspects of the problem of the content integration of education for students-environmentalists. There is a sense in further developing of the integrated issues of education namely improved methods of knowledge quality evaluation, determine of students' competencies.

Acknowledgements

The author wishes to acknowledge the Programme EU Erasmus+ Jean Monnet Activities for support of this work that was undertaken in Petro Mohyla Black Sea National University.

References

- Bespalko, V. P. (1989). *The terms of educational technology*. M.: Pedagogy
- Bilyavsky, G. A., & Bogolyubov, V. M. (2000). New conceptual approaches to the development of environmental education in Ukraine at the beginning of the XXI century. *Scientific Notes NaUKMA: special output*, 18, 300–305.
- Kremen, V. G. (2003). *Philosophy of education XXI century. Path of education*, 2, 2–5.
- Kofanova, E. V. (2012). *Chemical preparation of future environmental engineers: Theory and practice: a monograph*. Kyiv: NTU "KPI". (in ukr.)
- Kyveryalg, A. A. (1980). *Methods of professional studies in pedagogy*. Tallinn: Valhus.
- Mitryasova, O. (2015). Harmonization of Bachelors-Environmentalists Educational Training for Example in Ukraine and Poland. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology, III (32)*, 63, 6–9.
- Mitryasova, O., Pohrebennyk, V. et al. (29 June – 5 July 2017). Environmental Footprint Enterprise as Indicator of Balance its Activity. *Conference Proceedings. «17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017»*, (pp. 371–378). ISSUE 51, Ecology, Economics, Education and Legislation, Volume 17, Ecology and Environmental Protection. Albena, Bulgaria.
- Mitryasova O. (June 26, 2020). Implementation of Interdisciplinary European Studies In The Field Of Water Ecology. *Proceedings of the II International Conference on European Dimensions of Sustainable Development*, (pp. 16– 17), Kyiv: NUFT.
- Rudyshin, S. (2009). *Biological preparation of future ecologists: Theory and*

practice: a monograph. Vinnitsa: Tempus. (in ukr.)

- Petruk, V. (2015). Scientific and methodological approaches to form a list of specialties ecological profile. *Vinnytsia National Technical University*. Retrieved 11/02/2015, from <http://ineek.vntu.edu.ua/index.php/2010-04-14-11-40-08/293-2015-02-11-14-44-26>
- Tidball, K. G., & Krasny, M. E. (2011). Toward an ecology of environmental education and learning. *Ecosphere*, 2(2), 1–17.
- Tuning Projekt. Retrieved from <http://www.unideusto.org/tuningeu/competences.html>
- Simmons, B. (2004). *Environmental Education Materials: Guidelines for Excellence*. Washington, D.C., USA.
- Sherren, K. (2008). Higher Environmental Education: Core Disciplines and the Transition to Sustainability. *Australasian Journal of Environmental Management*, 15(3), 190–196.
- Stern, M. J., Powell, R., & Ardoin, N. (2011). Evaluating a Constructivist and Culturally Responsive Approach to Environmental Education for Diverse Audiences. *The Journal of Environmental Education*, 42(2), 109–122.
- Sterling, S. (2010). Learning for resilience, or the resilient learner?: towards a necessary reconciliation in a paradigm of sustainable education. *Environmental Education Research (Special Issue, resilience in social-ecological systems: The role of learning and education)*, 16, 511–528.
- Van Poeck, K., Konig, A., & Wals, A.E.J. (2018). Environmental and Sustainability Education in the Benelux Countries: Research, Policy and Practices at the Intersection of Education and Societal Transformation, *Environmental Education Research*, 24, 9, 1234–1249.
- Zhou, H., Xia Chen, H., & Wen Huang, Z. (2012). Comparative Study of Environmental Education at Home and Abroad. *Advanced Materials Research. Natural Resources and Sustainable Development*, 524-527, 2505-2509.

УСПАДКУВАННЯ НАРОДНИХ МОТИВІВ У СУЧАСНОМУ ЛАНДШАФТНОМУ ДИЗАЙНІ

Олексієнко А.М., Харківська державна академія дизайну і мистецтв, професор
кафедри «Дизайн середовища», Україна

Abstract

Inheritance of folk motives in modern landscape design. Landscape art is a scientific and creative process that is created as a result of the interaction and synthesis of history, geography, art history, architecture and other components. The solution of modern problems of natural areas, namely the formation of a cultural landscape environment in them, makes professionals turn to what the folk genius inherited. On the example of student term papers, the possibilities of working with folk motives in modern landscape design are determined. The interaction of traditions and innovations in landscape design is analyzed; system planning, architectural improvement, small architectural forms, possible ways of transforming folk motives are considered. The peculiarities of landscape space, its artistic and mythological orientation through poetic symbols, which are then created in plastic images, are determined. The project works of disclosure create a holistic natural environment, which includes plot-thematic motives related to the historical and cultural significance of the place.

Вступ

З наростанням темпів урбанізації в зонах найбільших міст, якість життя людей все більше обумовлена ступенем збереження компонентів природного середовища. Роль ландшафтного дизайну у вирішенні проблем стійкого міського середовища передбачає поширене залучення природних ресурсів в екологічну стабілізацію територій. Використовуються принципи відповідності ландшафтного дизайну та функцій простору, що забезпечує перехід до стійкого розвитку території певного призначення.

Вирішення складних сучасних проблем великих міст, зокрема формуванню в них ландшафту, спонукає фахівців звертатись до тих скарбів, які успадкував народний геній. Поява інноваційних, новаторських рішень часто базується на здобутках гігантського пласту культурної спадщини, що дає можливість розширити діапазон композиційних рішень в арсеналі сучасного дизайну. Своєрідним містком, що поєднує минуле з майбутнім, є традиції, які збагачуються пошуками творців, поєднуючи здобутки національної культури з тим новим, що несе наука, техніка і мистецтво.

Національні мотиви, що називаються «національним колоритом», постійно знаходяться в органічному зв'язку із задачами сьогодення. Шанування культурних традицій та народного мистецтва має велике значення, тому як, використовуючи це джерело, можна уникнути одноманітності та штампів, досягти створення оригінальних образів та форм (Данченко, 1975).

У дослідженні аналізуються проектні роботи з ландшафтного дизайну, розроблені на базі важливих природних ділянок міста Харкова. Це особливо актуально у зв'язку з тим, що місто брало участь в Міжнародному конкурсі «Топ 100». Окрім того, роботи виконувались відповідно до держбюджетної теми ХДАДМ «Методологія інноваційного дизайну в контексті науково-технічного прогресу і глобальної екологічної кризи», а також пов'язані з науково-методичними напрямками досліджень, які ведуться педагогами, аспірантами і магістрантами кафедри «Дизайн середовища» на протязі останніх років.

Наукова база, яка стосується безпосередньо вивчення проблеми успадкування традицій у створенні сучасних парків та скверів має доволі широкий спектр досліджень. Питанням дизайнерських концепцій, стильових напрямків формоутворення в етнодизайні завжди приділялась серйозна увага, тому що вона пов'язана з розвитком ландшафтного мистецтва.

Треба відзначити наукові праці, які висвітлюють деякі проблеми, пов'язані з напрямком дослідження. До них можна віднести матеріали Гончарівських читань 1994, 1995, 1996 рр., статті І. Кравця «Традиції і пошук»,

С.О. Хан-Магомедова «Дизайн и некоторые проблемы стилообразования», Є.В. Лазаревої «Ландшафтна архітектура». Ці та інші публікації дають підґрунтя для розгляду можливих аспектів, пов'язаних з благоустроєм парків, створенням малих архітектурних форм в контексті проблематики традицій та новацій у ландшафтному дизайні. Проведений інформаційний огляд існуючих джерел дозволяє припустити, що вони можуть бути розглянуті фахівцями та впливати на процес паркобудування, який має етнографічні мотиви, створення проектних рішень та їх реалізації в природі, а також отримання цікавого досвіду в цьому напрямку ландшафтного дизайну.

Ціль статті - висвітлення та аналіз можливих засобів у проектуванні сучасних парків, що мають риси успадкування народних мотивів та засобів їх трансформації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Система роботи над проектним рішенням має 4 етапи. На першому – виконання перед проектним аналізом ландшафту, до якого увійшли такі складові: факторна оцінка території, її рельєф, вивчення тримірному простору, виявлення кліматичних особливостей місцевості, визначення цінних природних зон та їх елементів.

Другий етап – аналіз композиційних можливостей, візуальний аналіз, визначення основних вимог до конкретного об'єкту, враховуючи існуючий пейзаж та навколишні забудови. На цьому етапі може бути сформоване рішення щодо вибору стилістики проекту, формуються висновки з визначенням переваг ділянки та її недоліків.

Третій етап – суто технічна робота, частина якої – обміри ділянки, нанесення наявних споруд, пішохідних та транспортних магістралей, існуючої рослинності, фотозйомка та начерки з території.

Четвертий етап – вироблення концептуального рішення проекту, спрямованого на створення архітектурно-художнього образу, вектори якого можуть бути різноманітними. Серед них – багатопланова тематика традицій та

новацій, яка порушувалась мистецтвознавцями, фахівцями з архітектури та дизайну. Вони відзначали, що художні твори минулого формували та розкривали суттєві сторони дійсності, були шаблоном у матеріальному та історичному розвитку людства. Тема спадщини здобуває особливого значення, виходить за межі епохи, об'єктивно розкриває та рухає вперед загальнолюдську культуру.

Джерела натхнення

Об'єктами передпроектних досліджень стало парково-декоративне мистецтво України, ужиткове мистецтво, орнаментальні мотиви. Серед багатьох пам'яток народної творчості важливе місце належить архітектурі житла, яку О. Довженко назвав «архітектурною праматір'ю притулку людства». З глибокої давнини твори народної архітектури донесли до сьогодення елементи, які свідчать про високі художні, господарчо-культурні, моральні ідеали народу. В архітектурі житла український народ досяг значних естетичних звершень разом з гармонійним погодженням різноманітних видів декоративно-прикладного мистецтва.

Окреме значне явище в народній творчості займають вироби ужиткового мистецтва. Орнаментальні мотиви України походять своїми коріннями з місцевої флори і фауни, релігійних та культурних традицій. На протязі багатовікової історії створено багато символічних зображень, які несли в собі певний зміст. Під впливом часу орнаментальні мотиви зазнали змін і дійшли до нас дещо трансформованими. Але головне залишилось – це поривання майстрів привнести красу природи. Навіть дуже умовні мотиви виникли внаслідок уважного спостереження існуючих у природі форм. Деякі несуть в собі відображення символічних уяв народу. Так символ «барвінка» уявляє собою невмируще життя, візерунок «яблучне коло», поділене на чотири сектори, уявляє кохання. Дуже часто зустрічається старовинний символ «дерево життя».

Прийоми і засоби, використані в проектній роботі

В роботі з етнографічними мотивами використовувались композиційні прийоми, такі як стилізація – декоративне уявлення елементів та форм за допомогою умовних засобів створення спрощеного малюнку, об'ємних та кольорових співвідношень; інтерпретація – тлумачення натурального зразка різними образотворчими засобами для створення художнього образу; деформація – зміна звичних абрисів природних форм та їх пропорцій з метою надання ним особливого образного рішення; трансформація – перетворення, зміна звичного та постійного положення системи елементів, які аналізуються з метою виявлення акцентованої уваги на одному з цих елементів.

В останні часи під час розробки концепції об'єктів приділяється увага до створення тематичних парків, скверів, садів, артландшафтів. Серед розмаїття сучасних садів виділяється група артландшафтів, що презентують особливу мову садових знаків і символів. З одного боку, ці сади об'єднує використання нових технологій, методів і матеріалів, з іншого – ці сади втілюють у ландшафти сучасні архітектурні тенденції (Мигаль, Дида та Казанцева, 2014).

Вироблення дизайн-концепції проектного рішення та в подальшому створення художнього образу можна визначити як формулу відображення об'єктивної реальності з позицій певного естетичного ідеалу. Досягнення мети здійснюється, перш за все, засобами художньої форми. Основою образу ландшафтного середовища є розроблена дизайн-концепція. Ідейний і тематичний зміст втілені в певну форму, являють собою художній образ, який відтворюється засобами природи з її зеленими насадженнями, рельєфом місцевості, водоймами і водоспадами в поєднанні з фонтанами, творами мистецтва, скульптурою, малими архітектурними формами, арткомпозиціями і т.ін. Під час пошуку оригінальної виразності об'єктів ландшафтно-архітектури приділяється увага до їх наукового обґрунтування, детального аналізу соціальних, функціонально-планувальних, ландшафтно-екологічних аспектів.

Головною метою проектування сучасного парку є створення архітектурно-художнього образу, в основу якого закладена певна ідея, що

відтворюється природою та засобами сучасного ландшафтного дизайну. Визначення особливостей дає змогу знайти різні творчі підходи до створення ділянок парку, які мають певний сюжетний зміст.

В основі проектних рішень виділяються такі напрямки і розробці концепції, як використання засобів етнодизайну, звернення до історичних витоків. В подальшому практичні рішення будуються на основі визначеної авторської дизайн-концепції з урахуванням принципів та підходів, які розроблені в мистецтві паркового будівництва.

Визначення головних концептуальних складових у проектних рішеннях

В поданій статті наводяться приклади проектних розробок ландшафтного простору студентами спеціалізації «Дизайн середовища» ХДАДМ, дизайн-концепції яких побудовані на успадкуванні народних мотивів. Територія міського парку, який отримав умовну назву «Батьківський дім», розташована між проспектами Академіка Курчатова та окружною дорогою на в'їзді до м. Харкова, має площу 1 га. В основу образного рішення парку лежить етнічна тематика, пов'язана з українською пісенною поезією та символікою. Головні алеї, які поділяють територію, несуть в собі функціональне і художньо-образне навантаження та асоціюються з життєвими шляхами. Ділянки для відпочинку мають такі поетичні назви, як «Батьківський дім», «Сімейне вогнище» та «Червона калина». Знаки-символи розкривають поетичні теми, а саме: шлях – рушник, червона калина – весілля, вода – життя, повний глечик – велика родина. Орнаментальне мощення алеї, доріжок, оформлення яких несе в собі розповідь про радощі та печалі, сімейне вогнище – тепло, життя.

Проектне рішення благоустрою та ландшафтного дизайну скверу має назву «Слобожанські мотиви» і знаходиться на проспекті Гагаріна в міста Харкові. Площа скверу складає 1 га. Слобожанська культура – одна з найцікавіших та багатих в Україні. Традиції та звичаї цієї землі пролягають з давніх-давен до сьогодення. Архітектурно-художнє рішення ландшафтного

середовища виходить з мотивів декоративно-ужиткового мистецтва, а саме народної кераміки. Планування ландшафту, об'ємно-просторова побудова малих архітектурних форм базується на композиційних рішеннях та структурі трансформації творів з мистецтва кераміки. Загальний простір скверу розподілений на 3 зони: центральна композиція з газонами «вертикального озеленення», керамічними скульптурами, друга – з басейном та виставковими формами, збільшених в масштабі 10:1 відповідно до оригіналу декоративних кахлів, квітковими газонами; третя зона – виставкова територія, має криволінійні форми. Використовуючи такі композиційні прийоми як трансформація, узагальнення, дотепну перебудову мотивів і форм, досягається відчуття спокою та сприймається простір як сучасне місце для відпочинку, в якому людина може спілкуватись з природою, а внутрішній зміст його несе пізнавальне значення. Система формування малих архітектурних форм походить з мотивів народної орнаментики, а саме пласкі обриси трансформуються в цікаві об'ємно-просторові композиції. Рішення скверу базується на яскравій гамі творів з кераміки, природних складових, таких як «вертикальне озеленення», композицій з квітів, рослин, кущів, дерев (тополі, калина та ін.) (Олексієнко та Мироненко, 2012).

Проектне рішення території, яка входить до міського парку «Саржин яр» у м. Харкові, має умовну назву «Оберіг». Ландшафт уявляє собою галявину, яка оточена двома рельєфними перепадами із загальною площею 1 га. Обрана місцевість є популярним місцем відпочинку харків'ян, до того є гідрологічним пам'ятником природи. Територію, що підлягала проектуванню, планується перетворити на виставковий центр народної творчості та проведення різноманітних розважально-святкових дій.

В основі концепції ідеї проектного рішення вибраний «павук-оберіг», який є цікавим і давнім витвором народного мистецтва. Символічне призначення оберегу покликане охороняти будинок, забезпечити добробут родини. Існує припущення, що образ «павука» є моделлю ідеального всесвіту, здатного вносити гармонію в навколишній світ. Конструкція «павука» формує

складну систему модульну сітку, яка створює відчуття просторовості і гармонійності з навколишнім середовищем. Планувальна система має чітку центричну композицію, з асиметричними тематичними ділянками з обох сторін. Загальне композиційне рішення уявляє собою комплекс павільйонів різних за призначенням, об'єднаних між собою містками та переходами, що нагадують структуру «оберега-павука». Важливим фактором, який суттєво впливав на проектне рішення мав бути рельєф місцевості. На дворівневому схилі передбачається застосувати системи терасування з тематичними зонами. Створення ландшафтного дизайну можна визначити як цікаву роботу з етнографічними прототипами та цілісну композиційну стилістику загального комплексу (Олексієнко та Мироненко, 2012).

Доцільне створення рекреаційних зон може характеризувати парк «Сонячний» в м. Харкові. Актуальність рішення полягає у благоустрої занедбаної ділянки міста та створення громадської території для відпочинку та в подальшому мати репрезентаційну функцію. Концепт-ідея проекту полягає у залученні традиційної символіки слов'янських народів. Таке рішення зумовлене прагненням привнести елементи національної культури у громадський об'єкт, що має підкреслити етнічну приналежність даної території.

Пов'язуючи назву «Сонячний» із запропонованою концепцією, можна визначити напрямок ідейного змісту проекту. Так, сонце як джерело життя на землі, звеличувалось та шанувалось нашими предками. Солярні знаки та символи відігравали важливу роль у повсякденному житті людей. Тому спроба внести елементи символіки у ландшафтному дизайні має додавати етнічного звучання та певний колорит території парку. Планувальне рішення є просторовою композицією ландшафту та базується на поєднанні її окремих частин, які мають форму кола, що трансформується у цікаву систему геометричних побудов (Олексієнко та Мироненко, 2012).

Рішення ландшафтного дизайну паркової території, яка має назву «Сад птахів» і знаходиться на проспекті Гагаріна м. Харкова. В основі побудови планувального рішення території та малих архітектурних форм

використовувались мотиви стародавньої слов'янської та етнічної української культури. Головним формоутворюючим елементом є коло (сонце). Це знак бога творчості та мудрості Сварога. Дивовижні птахи обособлюють в собі помічників божественного творця. Тому головною концептуальною ідеєю є поєднання духу і матерії. Вирішення простору парку можна характеризувати як цілісне, в якому фантастичні форми птахів органічно пов'язані з елементами благоустрою, а саме: водоймища, фонтани, доріжки, галявини, дендрологічні елементи. Ландшафтний дизайн визначається поєднанням традиційних мотивів з сучасним трактуванням форми, через що створюється виразний художній образ та певний настрій (Олексієнко та Мироненко, 2012).

Інше проектне рішення передбачало розробку благоустрою території та ландшафтного дизайн паркінгу для автівок біля станції метро «Спортивна» в м. Харкові. Кожна епоха несе в собі нові тенденції в ландшафтному проектуванні, які спираються на попередній досвід. Аналізуючи цю роботу, можна відзначити гармонійне та грамотне поєднання всіх складових у побудові рекреаційного середовища міста: функціональну доцільність, створення художнього образу у трактуванні простору, оригінальних систем формотворення, дотримання технологічних критеріїв. Зараз територія виконує лише функції парковки транспорту для інвалідів.

Враховуючи те, що поряд знаходиться житловий масив та громадські споруди, велика кількість авто стає проблемою для навколишнього середовища. Тому основним рішенням, яке не потребує великих, є залучення інноваційних технологій та використання різноманітних рослин. Концепт-ідея полягає у створенні парку, який буде знаходитись в кількох рівнях над паркінгом та дозволить збільшити зелену зону на 9600 м².

Центральна композиція має три різнорівневі споруди, що нагадують фантастичні дерева, на площах яких знаходяться кругові алеї, дитячі майданчики, місця для відпочинку, невеликі кафе, газони з квітами, дерева. Головною особливістю у рішенні силуетів дерев є використання модульних елементів вертикального озеленення, які в свою чергу, дають можливість

створити цікаві візерунки, що нагадують традиційні мотиви українського геометричного орнаменту.

Ще одне цікаве проектне рішення відноситься до парку «Саржин Яр» в м. Харкові. Для проектування була обрана територія в західній його частині, яка має площу 1,5 га. Загальний простір поділений на дві основні зони, які визначаються своїм функціональним призначенням та єдиним стильовим та формоутворюючим рішенням. Перший рівень характеризується системою водоймищ, малими формами для рослин, другий – з місцями для відпочинку, прогулянок, оглядових майданчиків.

Системи планування та формоутворення запозичені з побудови традиційного українського орнаменту. Територія має складний рельєф, що дає можливість застосувати прийом терасування, різновид певного зонування. Нахил природного ландшафту дозволяє створити цікаві системи малих архітектурних форм, при спорудженні яких передбачається залучення нових технологій в будівництві, такі як: скляні стелі та підлоги, «сухі» фонтани. Широке застосування традиційних обробних матеріалів – дерева, природного каменю, металу. Основною особливістю проектного рішення є використання в єдиній системі композиції парку модульної сітки, прототипи якої можна побачити в геометричних орнаментах Слобожанщини.

Парк «Юність» знаходиться по вул. Полтавський Шлях у м. Харкові. Визначення концептуального рішення до проекту полягає у: а) створення для городян сприятливих умов відпочинку і комфортного перебування в умовах міста у зеленому оазисі; б) відновленні втрачених зв'язків між людиною і природою шляхом модернізації вже існуючого парку, введення ефективного використання культурних та історичних складових засобами ландшафтного дизайну; в) створенні оригінального об'єкту відпочинку, як тематичний парк з мотивами української культурної спадщини.

Згідно з обраною концепцією просторова композиція парку будується на основі кола, яке є міфологічним символом гармонії. Працюючи з мотивами українського декоративно-ужиткового мистецтва, завдяки стилізації та

геометричних побудов, малі архітектурні форми отримали певний художній образ, який має сучасне звучання. Щодо головних тематичних та водночас функціональних зон у проектному рішенні треба виділити вхідну зону з назвою «Червона калина», а також ділянки «Дерево-джерело», майдан «Берегиня». Дотримання єдиного стилістичного та образного рішення на кожній з ділянок дає змогу створити цілісну композицію ландшафтного парку.

Проектна розробка ландшафтного парку в екоселищі для студентів знаходиться в Чугуївському районі Харківської області на березі Печенізького водоймища, неподалік від архітектурно-історичного заповідника «Верхній Салтів». Поруч з обраною територією щорічно проходить етно-мистецький фестиваль «Печенізьке поле». Це місце має позитивну енергетику, що повинна добре впливати на творчій розвиток молоді. Завдяки природному ландшафту, загальне планувальне рішення побудоване за системою терас. Образне рішення має єдину етнічну спрямованість, характерну для цієї місцевості, а саме з урахуванням історичних витоків, які пов'язані зі скіфською культурою.

Композиційним центром, який знаходиться у найвищій ділянці селища, є адміністративна зона. Від неї планувальне рішення території парку динамічно розгортається, органічно вбудовуючись у природний ландшафт. Найбільш цікавими розробками в проекті є окремі тематичні зони відпочинку, мощення доріжок і алей, в оздобленні яких є мотиви скіфської культури. Ці рішення шляхом вдалої стилізації та трансформації отримали сучасне художнє звучання (Олексієнко та Мироненко, 2011).

Архітектурно-художній благоустрій території, що знаходиться у підніжжя Лисої гори, між Сквородинівською і Чистоклетівською вулицями у м. Харкові, де біля старовинного колодязя в хаті пасічника жив Г.С. Скворода. В проекті запропоновано створити пам'ятний куточок міста, де був би відтворений колорит околиці Харкова кінця XVIII сторіччя. На майданчику квадратної форми, що поєднують Сквородинівську і Чистоклетівську вулиці, на північному боці знаходиться колодязь, а с південної – стародавній дуб (вже не зберігся), під яким, за згадками, любив працювати і відпочивати видатний

філософ. Ці дві домінанти меморіальної зони в проекті композиційно поєднані трьома просторовими ділянками, що символізують 3 шляхи. Ідея «трьох шляхів», яка втілює взаємовідносини людини з навколишнім світом, відносяться до основних положень філософського вчення Г.С. Сковороди. Треба відзначити, що при розробці історико-філософської теми у проектному рішенні використані сучасні засоби трактування ландшафтного дизайну, які створюють цікавий художній образ простору (Олексієнко, 2014).

Формуючи головну ідею моделі ландшафтного благоустрою історичних об'єктів археологічного заповідника «Верхній Салтів», планувалося створити цілісне експозиційно-художнє середовище, яке включало би в собі основні сюжетно-тематичні мотиви, пов'язані з історико-культурними особливостями місця, що музеєфікується, а також на деяких територіях розташувати рекреаційні та торгівельні зони. Особливістю середовища є його художньо-міфологічна спрямованість, що трансформує реальні факти та події в поетичні символи, які відтворюються через пластичні образи.

Старовинне капище раннього середньовіччя. Територія складає понад 200 м². Планувальна система поділена на ділянки, що мають три функції: перша – місце для під'їзду та паркування транспорту; друга, центральна, яка уособлює святилище; третя – діючі розкопки. Для того, щоб підкреслити тематично-системну спрямованість об'єкту, у створенні художнього образу використовуються два основних символи – сонце та меч. Доповнюють їх кам'яні колони, які символізують воїнів.

Залишки городища і селища, що належать до народу аланів. Територія об'єкту складає 140 м². Об'ємно-планувальне рішення визначає система, що закладена в основі побудови середньовічного городища. Обираючи городище в якості головної сюжетної лінії, що передає образ фортеці, планувальне рішення підкріплюється побудовою системи площин-квадратів. Сценарій огляду побудований у такий спосіб, що перед тим, як потрапити до «кульмінаційного» центру, відвідувачі змогли би розглянути експозицію, в якій висвітлюється культура та побут народів силанів та болгар.

Проходячи через ці ділянки, які мають свою тематичну спрямованість, можна потрапити до оглядового майданчика, з якого відкривається краєвид на заповідник.

Залишки городища козацьких часів (XVII-XVIII ст.). Основу сюжетного рішення становить створення на території об'єкту засобами ландшафтного дизайну образу українського слобожанського селища. В планувальному рішенні використана структура, що нагадує образ українського віночка, тобто від символічного центру майдану розходяться «стрічки-вулиці», де розташовані житла селян, а також садиба мельника, ткаля, коваля, винокура, пасічника. В оформленні ландшафту використовуються різноманітні елементи селянського побуту: гончарні вироби, плетені огорожі, колодязі, лави, штучні водойми та ін. У створенні малих архітектурних форм використана певна алегорія з образами-символами.

Козацька могила отамана Василя Гордієнка. В основі системи планувального рішення лежить один з значимих символів для кожного козака та є найвищою нагородою «Хрест вірних козаків». В центрі об'єкту знаходиться майдан урочистостей, над ним засобами лазерної світлотехніки розкривається в просторі неба хрест, по периметру майдану розташовані прапори козацьких полків. Центр площі увінчує ландшафтна композиція хреста разом з тополею.

З північного боку майдану йдуть три символічні дороги до історичного дерева – маслини, під якою знаходиться могила козака, ліворуч від неї – «курган пам'яті». Ці місця позначені високими освітлювачами у вигляді козацьких сторожових смолоскипів. Між дорогами знаходяться місця для козацьких ігор, пісенний майданчик і стежки для прогулянок на полях.

Поле Кончакове. Територія цієї місцевості займає велику площу – 1 га. На Кончаковому полі, як відомо з історії, відбулася битва між Ханом Кончаком та князем Ігорем. Це місце оспіване у перлині літературної творчості «Слово о полку Ігоревім». Образи поезії допомагають відчути зв'язок часів, вічність патріотичних почуттів. Планувальне рішення розподілене на дві частини,

межею між якими є річка Каяна (зараз існує лиш її русло). На обох частинах території знаходяться малі архітектурні форми, експозиції яких розповідають про військову наснагу та звичаї русичів та половців.

У центрі історичного поля знаходиться архітектурно-скульптурна композиція, яка символізує битву заклятих ворогів. Висота композиції 7,5 м, діаметр 30 м, увінчує її алегоричний образ сонячного затемнення.

Поле Коб'янове. На ньому розташований курган «Коб'янова могила». Загальна територія об'єкту досить велика і становить 5 га. За основу проектного рішення була обрана символіка з характерними ознаками скіфської культури. Найбільш виразним символом є образ кургану, що уявляє собою відчуття захищеності, домівки, двоякості понять життя та смерті. Курган в плані становить коло, яке є характерною фігурою скіфської культури. Композиція центральної частини об'єкта асоціюється з конструкцією кургану в розрізі. Другорядними, але не менш важливими є образи скіфських кам'яних «скульптур-воїнів», які відтворені черех символічні «пам'ятні камені». Концепція будується на синтезі ідей та роздумів про подвійність всесвіту – життя та смерті, білого та чорного і т.ін. Вода, яка оточує «ділянку вшанування» скіфської культури, є метафоричним символом «води світового океану», тобто центр життя, існування людства (Олексієнко та Северин, 2009).

Висновки

1. Мистецька спадщина живе з покоління в покоління самооновлюючись. Відтак вона емоційно сприймається у сьогоденній дійсності. Архітектори та дизайнери, звертаючись до традицій народного мистецтва, приділяють увагу до аналізу систем формоутворення, стилістики та ін.

2. Вивчення народного мистецтва має особливо важливе значення у підготовці молодих фахівців з дизайну. Прагнучи оволодіти багатим досвідом, який накопичений попередниками, вони переосмислюють традиції по-новому, намагаючись виразити характерні ознаки у більш доцільній формі, яка відповідає естетичним вимогам часу.

3. Розглянуті в статті засоби та прийоми в роботі, а саме: стилізація, трансформація, декоративно-ужиткове мистецтво, орнаментика, система символічних зображень.

4. Проектні рішення, які представлені в дослідженні, розглядалися керівництвом міста та іншими зацікавленими особами в системі задач з благоустрою занедбаних куточків м. Харкова, а також створення територій для громадського відпочинку, особливо тих, що мають репрезентативну функцію. Як відомо, такі об'єкти рекламують місто та впливають розвиток туризму.

Список літератури

- Данченко, Д. (1975). *Невмируще джерело. Бесіди про українське народне мистецтво*. К.: Мистецтво.
- Мигаль, С. П., Дида, І. П., Казанцева Т.Є. (2014). *Біоніка у дизайні просторово-предметного середовища*. Львів: Вид-во «Львівська політехніка».
- Олексієнко, А. М., Мироненко, Н. Г. Успадкування народних мотивів у ландшафтному дизайні. (2012). *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Мистецтвознавство*. Харків: ХДАДМ. № 3. 11-16.
- Олексієнко, А. М., Мироненко, Н. Г. (2012). Трансформація народних мотивів у сучасному ландшафтному дизайні. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Мистецтвознавство*. Харків: ХДАДМ. № 14. 37-41.
- Олексієнко, А. М. (2014). Визначення концептуальних рішень у проектуванні тематичних парків. *Збірник наук.праць*. Харків: ХДАДМ. № 2. 132, 124-129.
- Олексієнко, А. М., Мироненко, Н. Г. (2011). Пошук концептуальних рішень архітектурного благоустрою та ландшафтного дизайну екоселищ для студентів. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Мистецтвознавство*. Харків: ХДАДМ. № 14. 50-57.
- Олексієнко, А. М., Северин, В. Д. (2009). Музей під відкритим небом. Концепція системи експозицій історико-археологічного заповідника «Верхній Салтів». *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Мистецтвознавство*. Харків: ХДАДМ. № 8. 86-98.

НАУКОВЕ ЕЛЕКТРОННЕ ВИДАННЯ

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ
«СТАЛИЙ РОЗВИТОК: ЗАХИСТ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.
ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ. ЗБАЛАНСОВАНЕ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ»

Опублікована за результатами 6-го Міжнародного конгресу
«Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність.
Збалансоване природокористування»

Електронний файл.
Об'єм даних у мегабайтах 14,68 Мб.
Зам. 140993.

Видавець: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 408 від 09.04.2001 р.
25/10, вул. Вітовського, Львів, Україна, 79011
тел. +380 67 6728503 факс +380 32 2970676
roman@zuc.com.ua
www.vdpanorama.com