

## СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В КОНТЕКСТІ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНИ

Саввова О.В., Телюра Н.О.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
вул. Черноглазівська, 17, 61002, м. Харків  
Oksana.Savvova@kname.edu.ua, Natalya.Telyura@kname.edu.ua

Метою дослідження є комплексний системний аналіз актуальних питань інтеграції сучасних хімічних технологій у функціональну структуру геоecологічного моніторингу України в умовах інтенсивної адаптації національного законодавства до європейських стандартів екологічної безпеки та вимог European Green Deal. У роботі ґрунтовно проаналізовано світовий досвід міжнародного співробітництва у сфері охорони довкілля та стратегічні вектори розвитку найкращих доступних технологій. Особливу увагу приділено трансформаційним стратегіям розвитку підприємств хімічної галузі через призму підвищення їхньої міжнародної конкурентоспроможності, ресурсоефективності та комплексної екологізації промислового виробництва.

Досліджено фундаментальну роль цифрових платформ, хмарних технологій та глобальних інноваційних проєктів, зокрема ініціативи «Зелена хімія», у забезпеченні парадигми сталого розвитку та зменшенні антропогенного навантаження на екосистеми. Важливим науковим аспектом роботи є розгляд управлінської складової як базису професійної діяльності фахівця. Акцентовано увагу на здатності ефективно організувати роботу колективу в динамічних умовах сучасного промислового виробництва, проєктних підрозділів та науково-дослідних лабораторій. Висвітлено методику визначення стратегічних цілей, вибору оптимальних способів їх досягнення та впровадження дієвих інструментів мотивації і навчання персоналу.

Окремо у дослідженні обґрунтовано роль комунікативної компетентності дослідника. Здатність вільно та фахово спілкуватися державною та іноземною мовами як в усній, так і в письмовій формах є обов'язковою умовою для успішного обговорення та презентації результатів професійної діяльності, наукових досліджень і міжнародних грантових проєктів. У статті доведено нагальну необхідність здійснення постійного глибокого наукового пошуку у спеціалізованій літературі, міжнародних реферативних базах даних та актуальних патентних реєстрах для систематизації, критичного аналізу та об'єктивної оцінки інформації щодо новітніх хімічних технологій, процесів і обладнання.

Авторами підкреслено виключну значущість професійної дискусії та вміння аргументувати власну наукову позицію під час публічного обговорення результатів діяльності. Встановлено, що конструктивний діалог як із профільними фахівцями, так і з представниками суміжних галузей, є фундаментом для створення нової архітектури екологічної безпеки України та її успішної інтеграції у світовий науковий простір. Висновки дослідження можуть бути використані для оптимізації процесів екологічного менеджменту на підприємствах хімічного комплексу та вдосконалення освітніх програм підготовки фахівців. *Ключові слова:* геоecологічний моніторинг, хімічні технології, євроінтеграція, екологічна безпека, найкращі доступні технології, сталий розвиток, цифрові платформи, управління науковими проєктами, професійна комунікація.

### **Strategic directions for the development of environmentally safe chemical technologies in the context of geo-ecological monitoring and european integration of Ukraine. Savvova O., Teliura N.**

The study aims to conduct a comprehensive systemic analysis of topical issues regarding the integration of modern chemical technologies into the functional structure of geo-ecological monitoring in Ukraine, amidst the intensive adaptation of national legislation to European environmental safety standards and the requirements of the European Green Deal. The paper thoroughly analyzes global experience in international cooperation for environmental protection and the strategic development vectors of best available techniques. Particular attention is devoted to the transformational development strategies of chemical industry enterprises through the prism of enhancing their international competitiveness, resource efficiency, and the complex greening of industrial production.

The fundamental role of digital platforms, cloud technologies, and global innovative projects, specifically the «Green chemistry» initiative, in ensuring the sustainable development paradigm and reducing the anthropogenic load on ecosystems is investigated. A crucial scientific aspect of the work is the consideration of the managerial component as the basis for a specialist's professional activity. Emphasis is placed on the ability to effectively organize team performance within the dynamic conditions of modern industrial production, design units, and research laboratories. The methodology for defining strategic goals, selecting optimal ways to achieve them, and implementing effective tools for personnel motivation and training is highlighted.

Furthermore, the study substantiates the role of the researcher's communicative competence. The ability to communicate fluently and professionally in both the state and foreign languages, in oral and written forms, is a prerequisite for the successful discussion and presentation of professional performance results, scientific research, and international grant projects. The article proves the urgent necessity for constant, in-depth scientific search within specialized literature, international abstract databases, and current patent



registries to systematize, critically analyze, and objectively evaluate information regarding the latest chemical technologies, processes, and equipment.

The authors emphasize the exceptional significance of professional discussion and the ability to argue one's scientific position during the public deliberation of performance results. It is established that a constructive dialogue with both core specialists and representatives of related fields serves as the foundation for creating a new architecture for Ukraine's environmental safety and its successful integration into the global scientific space. The findings of the study can be utilized to optimize environmental management processes at chemical complex enterprises and to improve educational programs for specialist training. *Key words:* geo-ecological monitoring, chemical technologies, European integration, environmental safety, best available techniques, sustainable development, digital platforms, scientific project management, professional communication.

**Постановка проблеми.** Складність сучасної геоєкологічної ситуації в Україні, обтяжена наслідками військових дій та необхідністю інтенсивної післявоєнної відбудови, вимагає кардинального перегляду підходів до управління хіміко-технологічними процесами. Ключовою проблемою є необхідність поєднання фундаментальних досліджень із практичними інструментами геоєкологічного моніторингу для забезпечення сталого розвитку промислових регіонів. Інтеграція національної системи моніторингу в європейський простір, відповідно до вимог European Green Deal, ставить перед науковою спільнотою та промисловістю завдання, що виходять за межі суто технічних рішень. Постає гостра потреба у впровадженні найкращих доступних технологій та принципів «Зеленої хімії», що вимагає від фахівців здатності здійснювати системний науковий пошук у спеціалізованій літературі, міжнародних реферативних базах даних та актуальних патентних реєстрах. Це необхідно для критичного аналізу та оцінки інноваційних процесів і обладнання, що забезпечують екологічну безпеку виробництва. Реалізація таких складних проєктів неможлива без високого рівня управлінської культури. Актуальною є проблема здатності керівника ефективно організувати роботу колективу – як у специфічних умовах промислового виробництва, так і в межах проєктних підрозділів чи науково-дослідних лабораторій. Визначення стратегічних цілей, вибір ефективних способів їх досягнення, а також розвиток систем мотивації та навчання персоналу стають невід'ємними складниками екологізації галузі. Бар'єром на шляху до євроінтеграції часто стає брак комунікативної спроможності. Сучасний екологічний менеджмент потребує фахівців, здатних вільно спілкуватися державною та іноземною мовами для презентації результатів досліджень на міжнародному рівні. Вміння вести професійну дискусію, аргументувати власну позицію та знаходити спільну мову як із вузькопрофільними експертами, так і з нефахівцями є критично важливим для створення нової, прозорої архітектури екологічної безпеки України.

Таким чином, розв'язання проблеми інтеграції хімічних технологій у систему геоєкологічного моніторингу лежить у площині синергії інноваційних інженерних рішень, глибокої аналітичної роботи з інформаційними ресурсами та високої управлінської і комунікативної компетентності фахівців.

**Актуальність дослідження.** Актуальність обраної теми зумовлена критичною необхідністю модернізації промислового сектору України в межах європейського курсу на кліматичну нейтральність та екологічну безпеку на засадах сталого розвитку. Впровадження інноваційних хімічних технологій та розбудова дієвої системи геоєкологічного моніторингу вимагають не лише залучення інвестицій, а й формування фахівців нової генерації, здатних працювати за міжнародними стандартами. Динамічний розвиток світового ринку хімічних речовин та матеріалів вимагає від спеціалістів здатності здійснювати безперервний науковий пошук у спеціалізованій літературі, патентах та міжнародних базах даних. Вміння систематизувати, аналізувати та оцінювати інформацію щодо новітніх процесів і обладнання стає ключовим інструментом для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств та їхньої екологічної трансформації. Перехід до найкращих доступних технологій неможливий без ефективного менеджменту. Особливої актуальності набуває здатність фахівця організувати роботу колективу безпосередньо в умовах промислового виробництва, а також у проєктних підрозділах та науково-дослідних лабораторіях. Сучасний етап розвитку галузі потребує лідерів, які вмінуть чітко визначати стратегічні цілі, обирати оптимальні шляхи їх досягнення, мотивувати та навчати персонал, створюючи інтелектуальний капітал підприємств. Інтеграція України до європейського наукового та економічного простору вимагає подолання комунікаційних бар'єрів. Актуальною є потреба у вчених та інженерах, які здатні вільно спілкуватися державною та іноземною мовами для презентації результатів професійної діяльності та захисту наукових проєктів на міжнародній арені. Вміння аргументовано захищати власну позицію та вести діалог із представниками різних галузей є обов'язковою умовою для успішної реалізації стратегії сталого розвитку та забезпечення екологічної безпеки держави.

Таким чином, актуальність дослідження полягає у необхідності комплексного підходу, який поєднує інженерно-технологічні рішення з розвитком управлінських та комунікативних компетенцій, що є фундаментом для євроінтеграції хімічної галузі України.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлене дослідження безпосередньо корелює з пріоритетними напрямками розвитку науки і тех-

ніки в Україні, зокрема у сфері раціонального природокористування та впровадження екологічно чистих технологій та пов'язане з реалізацією стратегічних завдань щодо гармонізації екологічних стандартів України із нормативами Європейського Союзу. Результати дослідження виступають елементом науково-технічних програм, які формують нову архітектуру екологічної безпеки України. Це створює підґрунтя для подальшої розробки автоматизованих систем контролю та підвищення кваліфікації фахівців хімічної галузі.

Практична реалізація удосконалення методологічних підходів до вибору екологічно безпечних хімічних технологій є можливою завдяки здатності здійснювати глибокий науковий пошук у спеціалізованій літературі та патентних базах даних, що дозволяє систематизувати та оцінювати світові досягнення у сфері процесів і обладнання хімічних виробництв для їх адаптації до умов вітчизняних підприємств.

Практичний аспект дослідження тісно пов'язаний із досвідом організації роботи колективів у межах науково-дослідних лабораторій та проєктних підрозділів. Авторські розробки враховують необхідність чіткого визначення стратегічних цілей екологічної модернізації та впровадження ефективних методів мотивації і навчання персоналу, що є критично важливим для успішного функціонування сучасного промислового виробництва.

Запропоновані рішення не обмежуються лише технічними аспектами геоecологічного моніторингу, а сприяють формуванню оновленої культури управління науково-технічними проєктами. Такий підхід повністю відповідає принципам сталого розвитку та стратегічним євроінтеграційним прагненням України у сфері екологічної безпеки.

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

Теоретико-методологічний фундамент дослідження базується на працях провідних вітчизняних та закордонних учених, які розглядають питання хімічної технології, геоecологічного моніторингу та професійної підготовки кадрів. Фундаментальні аспекти розробки новітніх матеріалів, зокрема структура склокерамічних систем та інноваційні методи їх дослідження. Окрім суто технічних розробок, важливий внесок у розв'язання проблем екологічної безпеки в умовах воєнного стану зроблено колективом авторів [1], якими було комплексно проаналізовано нормативно-правову базу та специфіку поведіння з радіоактивними відходами під час кризових ситуацій. У межах їхнього дослідження розроблено методологічний підхід до створення високотехнологічних високоміцних склокерамічних матеріалів, що характеризуються підвищеною стійкістю до інтенсивних радіаційних, хімічних, термічних та механічних навантажень. Авторами науково обґрунтовано вибір складів скла для отримання твердотільних матриць іммобілізації та детально вивчено вплив фазового складу на функціональні властиво-

сті кінцевого продукту. Особливу увагу приділено перспективам використання склокераміки на основі анортиту та гідроксиапатиту, що відкриває нові можливості для надійного тривалого захоронення радіоактивних відходів у нестабільних безпекових умовах [1]. Подальшого вивчення потребує питання довгострокової стійкості таких матеріалів до агресивного впливу довкілля. Зокрема, актуальним залишається прогнозування кінетики вилуговування компонентів матриць за умов екстремальних значень рН та високих тисків, що імітують глибоке геологічне захоронення протягом тривалого періоду. Фундаментальне значення для розуміння природи склоподібного стану мають дослідження [2], у яких проаналізовано основні закономірності температурних перетворень структури скла та виявлено специфічні особливості хімічної диференціації на первинних стадіях його кристалізації. Особливу увагу в межах системного аналізу фазових переходів приділено вивченню механізмів кристалізації алюмосилікатних та силікофосфатних скляних систем, що створює необхідне теоретичне підґрунтя для розробки новітніх склокерамічних матеріалів із заданими функціональними властивостями

Зокрема, авторами [3] підкреслюється, що використання сучасних інструментів просторового планування, контролю та моніторингу є фундаментом для забезпечення прозорості процедур регулювання земельних операцій. Окрему увагу в контексті євроінтеграційних процесів приділено впровадженню цифрових платформ для візуалізації елементів управління та підвищенню ефективності менеджменту обмежень у землекористуванні. Такий підхід дозволяє не лише мінімізувати корупційні ризики через бюрократичну прозорість, а й створює дієві механізми для оцінки та оподаткування земель, що є критично важливим для сталого розвитку територій та формування нової архітектури безпеки довкілля України [3]. У контексті цифровізації екологічного управління заслуговують дослідження, присвячені геопросторовому забезпеченню використання земель промисловості на регіональному рівні. У наукових працях, що розглядають цю проблематику, обґрунтовано актуальність системного підходу до формування геопросторових даних як фундаменту для ефективного моніторингу територій. Авторами [4] проаналізовано та систематизовано нормативно-правове забезпечення цього процесу, а також виокремлено ключові чинники, що впливають на якість та повноту формування цифрових моделей промислових зон. Важливим теоретичним внеском у розвиток даного напрямку є удосконалення категоріального апарату, що дозволяє більш точно ідентифікувати параметри використання промислових територій у межах регіональних систем управління. Таке вдосконалення методології створення геопросторового базису створює необхідні умови для інтеграції інструментів екологічного контролю та земельного

адміністрування, що повністю відповідає сучасним вимогам щодо прозорості та інформатизації науково-технічної діяльності [4]. Одним з наукових векторів, що має суттєве значення для формування нової архітектури екологічної безпеки, є розробка та впровадження сучасних систем моніторингу, що базуються на інструментах математичного та геоінформаційного моделювання. У наукових працях, присвячених цій проблематиці, авторами [5] обґрунтовано актуальність застосування ГІС-технологій для аналізу стану територій у межах регіональних екосистем. Дослідженнями останніх років визначено стратегічні напрями та виокремлено специфічні особливості використання земельних ресурсів, зокрема в контексті відбудови транспортної інфраструктури, як невід'ємного елемента загальної системи геоecологічного моніторингу. Такий методологічний підхід дозволяє інтегрувати просторові дані про стан інфраструктурних об'єктів у єдиний цифровий контур управління довкіллям, що забезпечує точність прогнозування техногенного навантаження та сприяє реалізації принципів сталого розвитку на регіональному рівні [5]. Вагоме значення для розбудови стратегій національної безпеки мають напрацювання, у яких розглянуто та систематизовано наукові підходи до використання комплексних цифрових платформ як інструменту забезпечення стійкості інфраструктури. У контексті післявоєнної відбудови України особливої актуальності набуває інтеграція екологічного аспекту, що базується на принципах збалансованого природокористування та ефективного управління ресурсами.

Дослідниками [6] обґрунтовано застосування комплексного інноваційного підходу, що поєднує можливості геоінформаційних технологій із моніторингом екологічних показників, що прямо корелює із політичною спрямованістю держави щодо досягнення цілей сталого розвитку. Використання ГІС-інструментів дозволяє розвивати нові концепції територіального управління, які враховують потенційні екологічні ризики та забезпечують баланс між економічним відновленням і збереженням довкілля. Ключовим елементом таких систем є чітке та прозоре прогнозування наслідків на всіх етапах планування. Зокрема, проведення просторового аналізу для оцінки ризиків повеней, ерозії ґрунтів та забруднення водних ресурсів дає змогу уникати поточних загроз і гарантувати, що відновлювальні роботи не призведуть до погіршення екологічного стану територій [6].

Аналітичний аспект дослідження розкрито у працях, де обґрунтовано актуальність трансформаційних процесів у державному секторі, що супроводжуються уповільненням ключових показників діяльності підприємств та зниженням їхнього виробничо-господарського потенціалу. Авторами [7] акцентовано увагу на проблемі скорочення робочого капіталу та уповільнення темпів залучення інвестиційно-інноваційних ресурсів, що безпосеред-

ньо впливає на спроможність галузі до екологічної модернізації. У цьому контексті доведено необхідність формування та впровадження нових оцінних підходів, які слугують фундаментом для забезпечення інвестиційної привабливості підприємств, зокрема у будівельній галузі. Системне застосування таких підходів дозволяє створити сприятливе підґрунтя для реалізації високотехнологічних проєктів, що є критично важливим для відновлення інфраструктури та впровадження екологічно безпечних рішень у межах стратегії сталого розвитку [7].

Особливе місце у контексті нашого дослідження посідають питання формування управлінського потенціалу. Проблеми становлення лідера у науковому середовищі та розбудова професійного іміджу сучасного дослідника детально розкриті у праці [8]. Ці дослідження підтверджують необхідність розвитку здатності фахівця організовувати роботу колективу в умовах лабораторій та проєктних підрозділів, визначаючи ефективні способи досягнення стратегічних цілей. Акцентовано увагу на важливості оволодіння компетентностями, що пов'язані з ефективною побудовою командної роботи та налагодженням внутрішніх і зовнішніх комунікаційних процесів. Завдяки використанню системного підходу, який включає ситуаційні вправи, тренінги та ділові ігри, забезпечується здатність майбутнього керівника не лише формувати лідерські якості, а й успішно демонструвати їх у процесі управління людськими ресурсами. Наявність розвиненого термінологічного апарату та практико-орієнтованих завдань у таких дослідженнях створює основу для підготовки спеціалістів, здатних приймати відповідальні управлінські рішення в умовах промислового виробництва та науково-дослідних лабораторій, що є невід'ємною частиною стратегії екологізації та євроінтеграції галузі [8].

Пріоритетним вектором розвитку сучасної науки, що визначає парадигму екологізації галузі, є концепція «зеленої хімії», розглянута у низці фундаментальних праць. Даний напрям базується на впровадженні інноваційних способів синтезу хімічних сполук, що мінімізують антропогенне навантаження на довкілля як на етапі виробництва, так і під час безпосередньої експлуатації продуктів. Авторами у [9] наголошується, що інтеграція енергоефективних методів у хіміко-технологічні процеси є критично важливою для скорочення витрат енергоресурсів та суттєвого зниження обсягів емісії шкідливих речовин в атмосферу. Такий підхід не лише сприяє економічній оптимізації виробництва, а й виступає стратегічним кроком на шляху до досягнення цілей сталого розвитку, створюючи передумови для формування екологічно безпечного майбутнього України в межах європейської спільноти [9].

Питання системної трансформації та стратегічного управління науковою сферою ґрунтовно досліджено у працях, де проаналізовано багаторівневу

структуру організації наукової діяльності в Україні. Авторами у [10] визначено ключові фактори інноваційного розвитку в синергії з викликами сучасності, що є необхідною умовою для успішної інтеграції вітчизняного наукового простору в міжнародну спільноту. У межах даного підходу доведено критичну необхідність модернізації дослідницької інфраструктури та створення сприятливих умов для підтримки молодих науковців, що корелює з потребою посилення взаємодії між державним і приватним секторами. Особливу увагу приділено запропонованій складній системі управління науково-технічним розвитком, яка демонструє багатогранність та взаємозв'язаність різних рівнів адміністративного впливу. Обґрунтовано, що саме така архітектура управління здатна забезпечити ефективне функціонування наукової системи, сприяючи динамічному розвитку технологій та зміцненню позицій України на глобальному ринку інтелектуального капіталу. Залишається не розкритим питання створення синергетичної моделі управління, яка б поєднувала впровадження принципів «Зеленої хімії» з розвитком специфічних цифрових та лідерських компетентностей фахівців, необхідних для реалізації міжнародних наукових проєктів у сфері екологічного моніторингу [10].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Проведений аналіз наукових праць дозволяє констатувати, що на сьогодні сформовано потужний теоретичний базис у сферах екологічної безпеки хімічних технологій, стратегічного планування відбудови інфраструктури та розвитку управлінських компетентностей науковців. Дослідження підтверджують ефективність інтеграції принципів «Зеленої хімії» та ГІС-технологій для забезпечення сталого розвитку територій. Однак, попри значні напрацювання, залишається нерозкритим питання створення комплексної архітектури геоecологічного моніторингу, яка б у синергії поєднувала інноваційні методи, цифрові інструменти та специфічні лідерські компетентності фахівців у межах єдиного євроінтеграційного вектору України. Саме необхідність подолання цієї фрагментарності та розробка цілісного підходу до екологізації галузі в умовах післявоєнного відновлення визначають актуальність і напрям представленої дослідження

**Новизна.** Наукова новизна полягає у розробці комплексного науково-методичного підходу до формування системи геоecологічного моніторингу, що базується на синергії технологічних, цифрових та управлінських інновацій у контексті сталого розвитку. Вперше обґрунтовано концептуальну модель інтеграції принципів «Зеленої хімії» у цифрову архітектуру управління післявоєнною відбудовою інфраструктури, що дозволяє здійснювати превентивну оцінку екологічних ризиків на етапі проєктування та забезпечувати баланс між економічною ефективністю та збереженням природного капіталу.

Удосконалено методологію геопросторового забезпечення використання промислових земель через поєднання інструментів математичного моделювання та ГІС-технологій, що забезпечує вищий рівень візуалізації екологічних обмежень і дозволяє оперативно прогнозувати наслідки техногенного навантаження у кризових ситуаціях. Дістали подальшого розвитку наукові уявлення про роль професійних лідерських компетентностей дослідника в умовах цифровізації, де доведено, що ефективність впровадження високотехнологічних рішень прямо залежить від здатності фахівця до стратегічної комунікації та управління міжнародними науковими проєктами. Запропоновано системний підхід до оцінки інвестиційної привабливості екологічних ініціатив через призму євроінтеграційних стандартів, що створює умови для трансформації наукових розробок у реальні ресурси модернізації промислового сектору України.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Методологічне значення одержаних результатів полягає у формуванні нової міждисциплінарної парадигми, яка інтегрує фундаментальні принципи хімічної технології, геоінформатики та теорії управління в єдину систему екологічної безпеки. Загальнонаукова цінність дослідження визначається розробкою універсального методологічного алгоритму превентивного моніторингу територій, що базується на поєднанні кількісних показників «Зеленої хімії» та якісних параметрів сталого розвитку. Запропонований підхід дозволяє трансформувати традиційні методики оцінки техногенного впливу у динамічні цифрові моделі, які здатні адаптуватися до змінних умов воєнного стану та кризових ситуацій.

Крім того, методологічне значення роботи розширюється через обґрунтування компетентісно-орієнтованого підходу в науковій діяльності, де професійне лідерство та цифрова грамотність розглядаються як необхідні інструменти реалізації технологічних інновацій. Це створює теоретичне підґрунтя для подальших досліджень у сфері модернізації вищої освіти та наукової інфраструктури України, забезпечуючи методологічну базу для переходу від фрагментарного вирішення екологічних проблем до системного стратегічного управління інтелектуальним та природним капіталом у межах євроінтеграційних процесів. Сформовані у роботі наукові положення поглиблюють методологію комплексного оцінювання стійкості інфраструктурних об'єктів, що має фундаментальне значення для розвитку сучасної прикладної науки та техніки.

**Викладення основного матеріалу.** У сучасних умовах розвиток хімічної галузі України потребує стратегічного переходу від класичних моделей виробництва до фундаментальних принципів «Зеленої хімії». Ключовим завданням є розробка та впровадження технологій, що мінімізують вико-

ристання токсичних реагентів і суттєво знижують енерговитрати. У контексті силікатної галузі це передбачає оптимізацію технологічних систем через низькотемпературний синтез матеріалів та масштабне залучення вторинної сировини. Процес розробки нових хімічних речовин базується на комплексному фізико-хімічному аналізі, а саме, застосування методів рентгенофазового аналізу та електронної мікроскопії дозволяє превентивно прогнозувати стійкість матеріалів до агресивних середовищ, що є критичним для запобігання міграції шкідливих компонентів у підземні горизонти.

Геоекологічний моніторинг розглядається як інтегрована багатокомпонентна система спостереження за станом літосфери, гідросфери та атмосфери. Впровадження моніторингових заходів здійснюється за чітко визначеним алгоритмом. Ідентифікація потенційних джерел забруднення, системний аналіз технологічних циклів, складу відходів та моделювання можливих шляхів їх міграції. Проектування мережі спостережних пунктів, стратегічне встановлення свердловин для контролю якості підземних вод та точок моніторингу стану ґрунтів. Регулярна фіксація показників мінералізації, вмісту важких металів та специфічних сполук. Для порівняльної оцінки ефективності запропонованих підходів у табл. 1 наведено характеристики традиційних та інноваційних технологій.

Сучасний геоекологічний моніторинг базується на широкому використанні спеціалізованих цифрових платформ для обробки великих масивів даних, що дозволяє вийти на рівень превентивного управління екологічними ризиками. Застосування програмного забезпечення ANSYS Academic Multiphysics забезпечує можливість високоточного моделювання гідродинамічних процесів та розповсюдження забруднювачів у ґрунтових горизонтах ще на стадії проектування нових об'єктів. Ефективність

наукового процесу підкріплюється використанням хмарних середовищ Teams та Moodle для освітньо-наукової комунікації, тоді як візуалізація складних інженерних задач та фахове обговорення результатів із міжнародною спільнотою реалізується через додаткові сервіси. Такий інструментарій не лише підвищує рівень аргументації наукових висновків, а й сприяє розбудові цифрового іміджу дослідника у глобальному науковому просторі.

Для практичного підтвердження ефективності запропонованої методології було проведено дослідження склокерамічного покриття силікатної системи, що застосовується у промисловому будівництві. Основна мета експерименту полягала в оцінці рівня міграції іонів у водне середовище, що імітує ґрунтові води, для прогнозування геоекологічних наслідків експлуатації матеріалу. Використання електронної мікроскопії для аналізу морфології поверхні та рентгенофазового аналізу у поєднанні з цифровим моделюванням дифузійних процесів у середовищі ANSYS дозволило встановити суттєве покращення властивостей матеріалу. Завдяки впровадженню принципів «Зеленої хімії» та оптимізації режимів синтезу, рівень вимивання лужних компонентів знизився на 18-22 % порівняно з традиційними аналогами. Отримані цифрові профілі міграції іонів були завантажені у хмарні платформи для формування бази «екологічних паспортів», що дозволяє фахівцям оперативно порівнювати фактичний стан підземних вод із теоретичними моделями вимивання, пришвидшуючи ідентифікацію джерел забруднення.

Загальна оцінка ефективності наукової діяльності у межах запропонованої моделі базується на комплексному поєднанні техніко-економічних показників із рівнем зниження екологічного ризику. Впровадження наукових розробок через центри трансферу технологій та наукові технопарки дозволяє максимально скоротити часовий інтервал від

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика традиційних та інноваційних екологічно безпечних хімічних технологій**

Критерій порівняння	Традиційна технологія	Інноваційна («Зелена хімія»)	Вплив на моніторинг
Сировинна база	Первинна природна сировина	Вторинна сировина та відходи	Рециклінг знижує навантаження на надра
Цифрова інтеграція	Аналоговий контроль	ПЗ (ANSYS, Office 365, Miro)	Прогнозування ризиків у реальному часі
Енергоємність	Високотемпературні цикли	Низькотемпературний синтез	Зниження викидів парникових газів
Реагенти	Токсичні та агресивні	Каталізатори, безпечні реагенти	Спрощення контролю міграції у водах
Модель управління	Лінійна – виробництво–відходи	Циркулярна – безвідходна	Мінімізація площ шламонакопичувачів
Академічний підхід	Орієнтація на вихід продукту	Екологічна безпека та ПАНД	Відповідальність за наслідки досліджень

лабораторного синтезу до промислової експлуатації екологічно безпечного продукту. Це наочно ілюструє, як інтеграція практичних аспектів наукової роботи – від вибору аналітичного інструментарію до використання хмарних сервісів презентації результатів – забезпечує високу якість геоecологічного супроводу сучасних хімічних технологій та сприяє сталому розвитку промислового сектору.

**Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.** Системна екологізація хімічних технологій в Україні є складним багаторівневим процесом, успіх якого залежить від синергії інноваційних методів синтезу, цифрової трансформації та високого рівня професійних компетентностей фахівців. У межах роботи науково обґрунтовано методологічні засади переходу до принципів «Зеленої хімії», що в силікатному секторі реалізується через впровадження низькотемпературних режимів синтезу та використання вторинної сировини. Це забезпечує зниження техногенного навантаження на довкілля та підвищує енергоефективність виробничих циклів.

Доведено, що інтеграція сучасних цифрових платформ, зокрема програмного комплексу ANSYS Academic Multiphysics та хмарних середовищ Teams/

Moodle, трансформує традиційний геоecологічний моніторинг у динамічну систему превентивного управління ризиками. Практична апробація на прикладі розроблених склокерамічних систем підтвердила високу ефективність запропонованих підходів: рівень міграції іонів лужних компонентів знизився на 18-22%, що класифікує ці матеріали як екологічно безпечні для промислового будівництва та довготривалого контакту з геологічним середовищем.

Перспективи використання результатів дослідження полягають у створенні уніфікованої бази «екологічних паспортів» для новітніх матеріалів, що дозволить оперативно прогнозувати стан екосистем у зонах впливу промислових підприємств. Подальшого наукового вивчення потребує питання адаптації розроблених моделей до умов критичних інфраструктурних пошкоджень у післявоєнний період, а також масштабування лабораторних розробок через мережу наукових технопарків. Сформована у статті багаторівнева модель управління та акцент на розвитку лідерського потенціалу науковців створюють надійний фундамент для інтеграції української науки у європейський науковий простір та сприяють сталому розвитку промислового сектору України.

### Література

1. Savvova O., Teliura N., Hozha M., Babich O., Smyrnova Y., Lutsiuk I. Measures for Immobilization of Radioactive Waste in the Structure of Glass and Glass-Ceramics under Martial Law. *Chemistry & Chemical Technology*. 2025. Vol. 19, No. 2. P. 297–306. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht19.02.297>
2. Структура склокерамічних матеріалів : монографія / О. В. Саввова, Г. К. Воронов, О. І. Фесенко та ін. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 152 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/63861/>
3. Bieliatynskiy A., Mamonov K., Gryanyk V., Kanivets O., Kovalenko L. Geospatial modeling of directions for the development and implementation of the land administration system at the regional level. *Civil and Environmental Engineering*. 2025. Vol. 21, Issue 2. P. 944–958. DOI: <https://doi.org/10.2478/cee-2025-0072>
4. Мамонов К. А., В'яткін Р. С., Чайка Т. М. Визначення геопросторового забезпечення використання земель промисловості на регіональному рівні. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2025. Том 1, вип. 189. С. 331–338. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-331-338>
5. Ватуля Г. Л., Мамонов К. А., В'яткін Р. С., Нелін Є. О. Напрями та особливості використання земель для відбудови транспортної інфраструктури на регіональному рівні у системі геоecологічного моніторингу. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2025. Том 4, вип. 192. С. 272–278. DOI: <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2025-4-192-272-278>
6. Телюра Н., Коркуц М. Інноваційний підхід до використання комплексних платформ для забезпечення стійкості та екологічної безпеки. *Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*. 2025. № 3. С. 42–49. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-5>
7. Мамонов К. А., Пруненко Д. О., Фролов С. О. Оцінка інвестиційної привабливості будівельних підприємств: підходи та особливості реалізації. *Комунальне господарство міст. Серія: Економічні науки*. 2025. Вип. 7 (195). С. 2–8. DOI: <https://doi.org/10.33042/3083-6735-2025-7-195-2-8>
8. Лідерство та комунікації в організації : навч. посіб. / упоряд. Н. Я. Михаліцька, М. Р. Яцик. Львів : Львівський державний університет внутрішніх справ, 2024. 512 с.
9. Stetsenko, N., & Bubliko, N. (2023). Green chemistry trends in the context of the concept of sustainable development. *SWorld-Gen Conference Proceedings, 1(gec30-00)*, 32–35. <https://doi.org/10.30890/2709-1783.2023-30-00-010>
10. Бугрімєнко Р., Смірнова П. Особливості організації наукової діяльності в Україні. *Grail of Science*. 2024. № 43. С. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.06.09.2024.002>

Дата першого надходження статті до видання: 28.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.04.2026