

<https://doi.org/10.36818/2071-4653-2026-1-11>  
УДК 351.82:551.24:314.1:621.31:628.51:630.4(477)  
JEL Q54, Q25, C83, Q43

**С. Я. Ригайло**

провідний інженер Західного наукового центру НАН України і  
МОН України, м. Львів  
e-mail: znc\_lviv@ukr.net  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0871-8351>

## **НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИЙ РОЗВИТОК ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН І НАУКОВІ РІШЕННЯ**

Здійснено аналіз динаміки викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних і пересувних джерел в Україні та Західному регіоні, зважаючи на галузеву структуру економіки. Окреслено напрями наукових досліджень, спрямованих на розвиток чистих енергетичних технологій, зокрема у сфері водневої енергетики. Висвітлено безпечні способи отримання водню, зокрема шляхом підземної газифікації некондиційних вугільних пластів, а також застосування інноваційних гідридоутворювальних матеріалів для його ефективного зберігання. Представлено методологію експериментального оцінювання водневої крихкості вуглецевих трубних сталей, призначених для транспортування водню або його сумішей із природним газом, що сприяє підвищенню надійності газорозподільної інфраструктури. Розглянуто результати інтеграції відновлюваних джерел енергії в гібридні енергетичні системи та підходи до оптимізації балансу між генерацією і споживанням через поєднання вітрової та сонячної енергетики з технологіями накопичення. Визначено перспективи підвищення енергетичної автономності на основі комбінованих систем енергозабезпечення.

**Ключові слова:** низьковуглецевий розвиток, викиди діоксиду вуглецю, відновлювані джерела енергії, чиста енергетика, Західний регіон України.

### **Ryhaylo S. Ya. LOW-CARBON DEVELOPMENT OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE: CURRENT STATE AND SCIENTIFIC SOLUTION**

*This paper presents a comprehensive analysis of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission dynamics from stationary and mobile sources in Ukraine, with a particular focus on the western region. The study examines the sectoral structure of emissions in order to identify the main contributors and long-term trends shaping the national carbon profile. Statistical and analytical methods are applied to assess changes in emission volumes over recent years and to determine the role of key economic sectors in overall greenhouse gas formation. The results indicate that more than 75% of total CO<sub>2</sub> emissions in Ukraine are generated by the electricity and gas supply sector as well as by metallurgical production, confirming the dominant influence of energy-intensive industries on national emission levels. Within the western region, the highest emission volumes are observed in the Ivano-Frankivsk and Lviv oblasts, which is primarily attributed to the operation of fossil-fuel-based thermal power plants. These findings highlight the strong dependence of regional emission intensity on the structure of industrial activity and prevailing energy consumption patterns. The paper further evaluates regional specificities of emission formation and emphasizes the contribution of research institutions and higher education establishments to the development of a low-carbon economy. Particular attention is given to scientific activities aimed at advancing clean energy technologies, especially in the field of hydrogen energy. These efforts include the development of safe hydrogen production methods, innovative materials for hydrogen storage, and efficient transportation systems designed to enhance energy security and reduce reliance on conventional fossil fuels. A methodology for the experimental assessment of hydrogen embrittlement in carbon pipeline steels intended for hydrogen transport or its mixtures with natural gas is presented. In addition, the study presents research outcomes related to the integration of renewable energy sources into hybrid energy systems. The combination of wind and solar power with advanced energy storage technologies is analyzed as an effective strategy for optimizing the balance between electricity generation and consumption. The development of combined energy supply systems based on wind turbines, geothermal heating systems, and hybrid solar collectors is also considered a promising approach to increasing energy autonomy and improving system resilience. Overall, the results demonstrate that technological innovation supported by regional scientific capacity plays a crucial role in reducing carbon emissions and facilitating Ukraine's transition toward sustainable, low-carbon development. The findings provide a scientific basis for evidence-based policymaking, contributing to the improvement of regional decarbonization strategies, investment priorities, and regulatory frameworks aligned with European climate objectives.*

**Keywords:** low-carbon development, carbon dioxide emissions, renewable energy sources, clean energy, Western region of Ukraine.

**Формулювання проблеми.** Протягом останнього століття концентрація діоксиду вуглецю в атмосфері Землі має стійку тенденцію до зростання, що є одним із ключових чинників глобальних кліматичних змін. Збільшення викидів парникових газів зумовлено

насамперед інтенсивним використанням викопного палива, зокрема через зростання енергоспоживання.

Тому виникає необхідність не лише оцінити поточний рівень викидів діоксиду вуглецю, а й систематизувати та узагальнити наукові досягнення у сфері низьковуглецевого розвитку, виокремлюючи

внесок наукових установ і закладів вищої освіти Західного регіону України. Аналіз і систематизація відповідної інформації є важливою передумовою формування ефективної регіональної політики декарбонізації.

Зауважимо, що в умовах воєнних дій негативні екологічні тенденції посилюються, проте достовірні дані щодо них наразі відсутні.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблематика зниження викидів парникових газів і забезпечення низьковуглецевого розвитку економіки є предметом дослідження численних вітчизняних і зарубіжних науковців. У працях українських дослідників здійснений аналіз цільових орієнтирів низьковуглецевого розвитку енергетики з огляду на міжнародні кліматичні зобов'язання України, обґрунтовані стратегічні напрями скорочення викидів у промисловості та паливно-енергетичному комплексі, досліджений просторовий розподіл об'єктів відновлюваної енергетики, зокрема у Львівській області, та визначений їхній ресурсний потенціал і територіальні обмеження. Окремий блок наукових праць присвячено розробленню методичних підходів до інтегрального оцінювання якості атмосферного повітря, стану природних екосистем і рівня антропогенного навантаження на довкілля.

Вагомий внесок у дослідження проблем декарбонізації економіки, розвитку відновлюваних джерел енергії, удосконалення екологічної політики та інструментарію оцінювання стану довкілля зробили Т. Нечаєва, Г. Василенко, О. Рибалова, О. Паладченко, О. Шубравська, Ю. Башинська, С. Сиротюк, В. Боярчук, В. Гальчак, В. Березовець, Ю. Вербовицький, І. Завалій, О. Савченко, Я. Юркевич та інші науковці. В їхніх працях висвітлені питання формування державної та регіональної кліматичної політики, економічного стимулювання «зеленої» енергетики, розвитку водневих технологій, а також удосконалення систем екологічного моніторингу.

Водночас, попри наявність значного наукового доробку, недостатньо дослідженими залишаються питання комплексного аналізу актуальних статистичних даних щодо обсягів викидів діоксиду вуглецю в Західному регіоні України. Виникає потреба в систематизації наукового внеску закладів вищої освіти та наукових установ Західного регіону України у формування технологічних, екологічних та управлінських рішень у сфері низьковуглецевого розвитку. Це вимагає подальших досліджень, спрямованих на поєднання статистичного аналізу, регіонального підходу та оцінювання інноваційного потенціалу наукових установ у контексті низьковуглецевого розвитку економіки.

**Метою статті** є комплексний аналіз статистичних даних щодо обсягів викидів діоксиду вуглецю на національному та регіональному рівнях із виокремленням особливостей Західного регіону України, а також оцінювання наукового внеску академічних установ і закладів вищої освіти у формування засад низьковуглецевої економіки.

**Основні результати дослідження.** Поступове підвищення температури атмосферного повітря є

однією з головних причин руйнівних кліматичних змін. Як відомо, глобальне потепління спричинене, зокрема, зростанням концентрації парникових газів, включно з діоксидом вуглецю, в атмосфері.

Для координації заходів зі зменшення викидів парникових газів світова спільнота розробила низку документів, зокрема Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату (1992 р.) та Паризьку кліматичну угоду (2015 р.). Україна ратифікувала ці документи та на виконання своїх міжнародних зобов'язань схвалила Стратегію низьковуглецевого розвитку України до 2050 року (далі – Стратегія).

Ця Стратегія визначає національне бачення щодо відокремлення економічного зростання та соціального розвитку держави від збільшення обсягів викидів парникових газів. Вона також окреслює можливу траєкторію економічного розвитку, зважаючи на державну політику зі скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів.

Фахівці вважають, що третина вуглекислого газу, який виділяється внаслідок спалювання горючих копалин, попадає безпосередньо в атмосферу Землі. Протягом ХХ ст. концентрація діоксиду вуглецю в атмосфері збільшилася від 0,029% до 0,032% [1], причому процес прискорювався – понад 20% приросту припало на останні 10 років. На 2024 р. концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері досягла 0,04213% [2], що є рекордним значенням за всю історію спостережень.

В Україні до повномасштабного вторгнення спостерігалася тенденція поступового зниження рівня викидів CO<sub>2</sub> від стаціонарних джерел. Наприклад, за період з 2016 р. по 2021 р. обсяг викидів скоротився від 150 до 111 млн т [3]. У 2021 р. найбільша кількість викидів припадає на галузь постачання електроенергії та газу (51,9 млн т [3]), металургійне виробництво (33,3 млн т), переробну промисловість (без металургії) – 17,8 млн т, добувну промисловість і розроблення кар'єрів – 2,5 млн т. Решта стаціонарних джерел сформували 6% загального обсягу викидів, водночас внесок кожного окремого джерела не перевищував 2% (рис. 1).



**Рис. 1. Викиди діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел в Україні (2021 р.), млн т**  
Джерело: побудовано авторкою на основі [3].

## СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОГО ПЕРІОДУ УКРАЇНИ

Загальні викиди CO<sub>2</sub> визначають окремо для стаціонарних і пересувних джерел. У 2022 р. кількість підприємств, узятих до уваги під час обчислень, зменшилася (5121 у 2022 р. проти 6047 у 2021 р. [3]), а викиди від стаціонарних джерел становили 63,3 млн т, що значно менше порівняно з 111 млн т у 2021 р. До 2022 р. пересувні джерела щорічно викидали трохи більше як 20 млн т CO<sub>2</sub> (усереднене значення за роками [4]).

У 2020 р. на Західний регіон (Волинська, Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька та Чернівецька області)<sup>3</sup>, який охоплює 21,6% території України, припадало 14% викидів CO<sub>2</sub> від стаціонарних джерел, що становило 18,8 млн т.

Викиди вуглекислого газу від стаціонарних джерел у Західному регіоні України розподілені нерівномірно (рис. 2). Приблизно 55% (10,2 млн т [4])

джерел постачання та активізацію науково-інноваційної діяльності.

У цьому контексті доцільно виокремити напрацювання вітчизняних учених у сферах, що безпосередньо сприяють низьковуглецевому розвитку економіки, формуючи наукове підґрунтя для реалізації Стратегії.

У сучасних умовах водень розглядають як перспективне альтернативне та екологічно чисте джерело енергії. Його використання потенційно забезпечує декарбонізацію енергетики. Водночас для масштабного впровадження водневих технологій необхідно вирішити низку проблем, пов'язаних з отриманням, транспортуванням і безпечним використанням водню.

Фахівці Інституту геології та геохімії горючих копалин НАН України (м. Львів) дослідили можливість отримання водню шляхом підземної

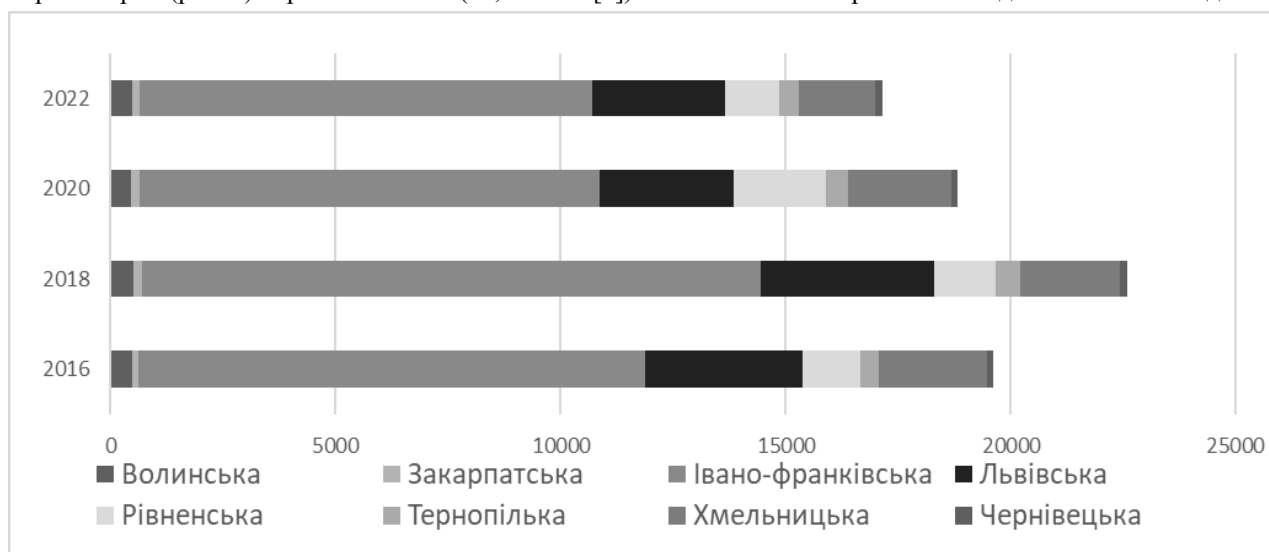


Рис. 2. Викиди діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел, тис. т

Джерело: побудовано авторкою на основі [4].

цих викидів припадало на Івано-Франківську обл., де функціонує ДТЕК Бурштинська ТЕС, що працює на вугіллі, природному газі й мазуті. Натомість у Львівській обл., де знаходиться Добротвірська ТЕС, рівень викидів був утричі нижчим – 2,96 млн т, що значною мірою пояснюється різницею в потужностях теплоселектростанцій. Найменші викиди CO<sub>2</sub> у Західному регіоні зафіксовані в Чернівецькій обл., яка найбільше відповідає принципам низьковуглецевого розвитку (140 тис. т).

Однією із ключових цілей, визначених у Стратегії низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, є перехід до енергосистеми, яка передбачає використання джерел енергії з низьким вмістом вуглецю, розроблення чистих електричних і теплових джерел енергії, підвищення енергоефективності та впровадження заходів енергозбереження [5]. Реалізація цієї цілі передбачає структурну модернізацію енергетичного сектору, диверсифікацію

газифікації некондиційних вугільних пластів Львівсько-Волинського вугільного басейну [6, с. 9]. Запропонований підхід дає змогу раціонально використовувати низькосортні поклади вугілля та зменшити техногенне навантаження на довкілля. Крім того, на основі аналізу газових пасток у вугіллі науковці запропонували альтернативну технологічну схему видобутку газу підземною газифікацією на основі застосування блокового підходу та системи свердловин [7]. Перевагою зазначених методів є відносно нижча енергоємність їх порівняно із традиційними технологіями, а також можливість отримання технічно чистого водню, придатного для подальшого енергетичного використання.

Проблематику безпечної генерації та транспортування водню досліджують науковці Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України (м. Львів), які в результаті синтезу гідридоутворювальних матеріалів на основі магнію, титану та рідкоземельних металів [8, с. 14] досягли суттєвого покращення кінетики процесів сорбції-десорбції водню та підвищення ємності матеріалів для його накопичення. Це створює передумови для

<sup>3</sup> Такий перелік запропоновано відповідно до макрорегіональних досліджень, які проводяться в Західному науковому центрі НАН України і МОН України.

розроблення ефективних технологій зберігання водню.

Фахівці цього ж інституту представили методологію експериментальних досліджень водневої крихкості вуглецевих трубних сталей, зумовленої необхідністю транспортуванням водню або його суміші із природним газом у газорозподільних мережах тривалої експлуатації [9]. Запропонований підхід передбачає проведення порівняльного оцінювання сталі у вихідному та експлуатованому станах за показниками, що характеризують її пластичність, опір крихкому руйнуванню та схильність до воднево-індукованого розтріскування.

Комплексний підхід до зменшення викидів CO<sub>2</sub> пропонують науковці Львівського національного університету природокористування (після реорганізації шляхом приєднання – Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького), обґрунтовуючи параметри комбінованої системи енергозабезпечення, що містить різні комбінації елементів: вітроелектричні установки, геотермальні опалювальні системи та гібридні сонячні колектори [10]. Інтеграція зазначених компонентів дає змогу підвищити енергетичну автономність об'єкта та зменшити його залежність від викопних видів палива. Зокрема, науковцями спроектовано та виготовлено вітроелектричну установку потужністю 5,5 кВт.

Над удосконаленням приладів енергетичної автономності працюють науковці Національного університету «Львівська політехніка», які здійснили інтеграцію відновлюваних джерел енергії з гібридними системами накопичення, оптимізуючи баланс генерації та споживання. У дослідженнях обґрунтовано ефективність гібридної системи накопичення енергії для вітрових і сонячних електростанцій, в якій поєднання суперконденсаторів та акумуляторних батарей забезпечує підвищення надійності, зменшення втрат енергії та подовження терміну експлуатації обладнання [11].

Засади регіональної політики у сфері розвитку відновлюваних джерел енергії досліджують в ДУ «Інститут регіональних досліджень ім. М. І. Долишнього НАН України» (м. Львів) [12]. Фахівці інституту обґрунтували необхідність розроблення цільових регіональних програм розвитку відновлюваної енергетики, зважаючи на сучасні вимоги до її функціонування. Зокрема, акцентовано на потребі узгодження енергетичної політики з інструментами просторового планування, фінансового стимулювання та механізмами державно-приватного партнерства.

Наземні екосистеми відіграють провідну роль у поглинанні діоксиду вуглецю, виконуючи функцію природних вуглецевих поглиначів. Водночас вони зазнають значного негативного впливу внаслідок втрати біорізноманіття та посилення антропогенного навантаження.

Над проблемами біоіндикації стану навколишнього природного середовища та збереження біологічного різноманіття працюють науковці Інституту екології Карпат НАН України (м. Львів) [13, с. 6]. На основі проведених фундаментальних і прикладних досліджень у галузях екології, екосистемології, середовищезнавства вони визначили принципи та методи використання параметрів популяцій як маркерів стану екосистем. Окрему увагу зосереджено на дослідженні механізмів забезпечення стійкості високогірних екосистем Українських Карпат і розробленні науково обґрунтованих підходів до збереження їхнього біорізноманіття [14].

Антропогенне навантаження зумовлює потребу в системному моніторингу шкідливих речовин у повітрі, воді та ґрунті, оцінюванні кількісних показників забруднення та розробленні заходів щодо мінімізації цих речовин.

Науковці Львівського національного університету імені Івана Франка розробили автоматизовану систему для моніторингу стану атмосферного повітря на базі мікроконтролера Arduino UNO R4 WiFi та сенсорів для визначення концентрацій твердих частинок і CO<sub>2</sub> [15]. Система забезпечує безперервний збір, передавання та зберігання даних на сервері з можливістю подальшого аналітичного опрацювання даних, а також інтегрує метеорологічні параметри в комплексну оцінку якості повітря та ідентифікацію потенційних джерел забруднення.

Отже, результати досліджень діяльності установ, що проводять наукові дослідження в означених напрямках у Західному регіоні України, свідчать про формування наукового підґрунтя для реалізації засад низьковуглецевого розвитку, що впливає на енергетичні, технологічні, екологічні та управлінські рішення.

**Висновки.** Проведений аналіз статистичних даних на рівні країни щодо обсягів викидів діоксиду вуглецю в атмосферу засвідчив, що найбільшу частку у структурі викидів формують підприємства сфери постачання електроенергії та газу, а також металургійне виробництво, на які сукупно припадає понад 75% загального обсягу викидів. Така структура зумовлена високою енергоємністю зазначених галузей та значною залежністю від викопних видів палива.

У межах Західного регіону України найбільші обсяги викидів CO<sub>2</sub> зафіксовано в Івано-Франківській та Львівській областях, що пов'язано з функціонуванням теплоелектростанцій, які використовують викопне паливо.

Важливим напрямом забезпечення низьковуглецевого розвитку є впровадження енергоефективних і ресурсозберігальних технологій, використовуючи новітні матеріали та відновлювані джерела енергії. Перспективними є технології виробництва й використання водню як

безвуглецевого енергоносія, а також розвиток вітрової та сонячної енергетики, інтегрованої із сучасними системами накопичення енергії.

Реалізація зазначених заходів потребує не лише технічних інновацій, а й формування узгодженої регіональної політики, спрямованої на стимулювання інвестицій у низьковуглецеві технології, підтримку наукових досліджень і розробок, удосконалення нормативно-правової бази.

Постійний моніторинг викидів CO<sub>2</sub> та інших речовин-забруднювачів за допомогою сучасних автоматизованих систем спостереження за станом довкілля, а також забезпечення відкритості екологічної інформації сприятимуть формуванню науково обґрунтованої моделі низьковуглецевого розвитку України.

### Список використаних джерел

1. Кругообіг вуглецю в природі. *Енергетика: історія, настання і майбутнє*: сайт. 2013. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-2/part-3/section-15/21-entsiklopediya/vid-vognyu-ta-vodido-elektriki/chastina-2-vikopne-palivo-yak-dzherelo-energiji/rozdil-6-palivo-yak-dzherelo-vognyu/23-6-2-krugoobig-vugletsyu-v-prirodi>

2. Researchers: Earth's atmospheric CO<sub>2</sub> level logs record... *NHK World: Website*. URL: [https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/en/news/20250209\\_12](https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/en/news/20250209_12)

3. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2018 р. *Держстат України*: сайт. 2018. URL: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch\\_vzrap\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm)

4. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів... *Держстат. Банк даних*: сайт. URL: <https://stat.gov.ua/uk/explorer>

5. *Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року*. Київ, 2018. 79 с. URL: [https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS\\_ua\\_last.pdf](https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf)

6. *Каталог інноваційних проектів регіонального розвитку / упорядники: О. Д. Зинюк, Р. Р. Романюк, Г. М. Котерлин, С. Я. Ригайло, М. Г. Хомин*. Львів: ПАІС, 2016. 132 с.

7. Buchynska I. V., Gvozdevych O., Podolsky M., Kulchytska-Zhyhaylo L. Extraction and innovative use of methane from deposit of the Lviv-Volyn coal basin. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*. 2025. No. 1-2. Pp. 43-56. DOI: <https://doi.org/10.15407/ggcm2025.197-198.043>

8. Березовець В. В., Вербовицький Ю. В., Завалій І. Ю. Синтез гідридних композитів на основі магнію та апробація їх в пристроях акумулювання і генерування водню. *Цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України «Водень і паливні комірки в системах автономного енергозабезпечення»*: тези за проектами. Київ, 2020. С. 14. URL:

[http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen\\_2019-2021/H\\_2020.pdf](http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen_2019-2021/H_2020.pdf)

9. Nykyforchyn H., Zvirko O., Hredil M., Krechkovska H., Tsyurulnyk O., Student O., Unigovskyy L. (2021). Methodology of hydrogen embrittlement study of long-term operated natural gas distribution pipeline steels caused by hydrogen transport. *Fracture and Structural Integrity*. Vol. 16(59). Pp. 396-404. DOI: <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.59.26>

10. Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. *Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру*: навч. посіб. Львів, Магнолія 2006, 2018. 182 с.

11. Білецький Ю. О., Кузик Р. І. В., Ломпарт Ю. В. Синтез та аналіз системи енергоформуєчого керування вітросонячною енергоустановкою з гібридною системою накопичення енергії. *Електроенергетика та електромеханічні системи*. 2020. Вип. 2(1). С. 8-17. DOI: <https://doi.org/10.23939/sepes2020.01.008>

12. Башинська Ю. І. Особливості регіональних програм з використання відновлюваних джерел енергії. *Регіональна економіка*. 2014. № 1. С. 165-174.

13. *Академічні установи Західного наукового центру НАН України і МОН України / Західний науковий центр НАН України і МОН України*. Львів: ПАІС, 2018. 244 с. URL: <https://znc.com.ua/ukr/proect/2018/proect%202018.pdf>

14. Кияк В., Кобів Ю., Жилиєв Г., Білонога В., Дмитрах Р., Решетило О., Микітчук Т., Кобів В., Штупун В. *Популяційні основи уникнення втрат біорізноманіття у високогір'ї Українських Карпат / ред. В. Кияк*. Львів: Простір-М, 2022. 166 с. URL: <https://ecoinst.org.ua/pdf/monohrafiia-kyiak-2023.pdf>

15. Оленич І., Баб'як С. Автоматизована система дослідження забруднення повітря. *Електроніка та інформаційні технології*. 2024. № 26. С. 59-72. DOI: <https://doi.org/10.30970/eli.26.6>

### References

1. Kruhoobih vuhletsyu v pryrodi [Carbon cycle in nature] (2013). *Energy: History, Present, and Future: Website*. Retrieved from <http://energetika.in.ua/ru/books/book-2/part-3/section-15/21-entsiklopediya/vid-vognyu-ta-vodido-elektriki/chastina-2-vikopne-palivo-yak-dzherelo-energiji/rozdil-6-palivo-yak-dzherelo-vognyu/23-6-2-krugoobig-vugletsyu-v-prirodi> [in Ukrainian].

2. Researchers: Earth's atmospheric CO<sub>2</sub> level logs record... *NHK World: Website*. Retrieved from [https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/en/news/20250209\\_12](https://www3.nhk.or.jp/nhkworld/en/news/20250209_12)

3. Vykydy zabrudnyuyuchykh rehovyn i parnykovykh haziv u atmosferne povitrya vid statsionarnykh dzherel zabrudnennya u 2018 r. [Emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere from stationary sources of pollution in 2018] (2018). *State Statistics Service of Ukraine: Website*. Retrieved from [https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch\\_vzrap\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm) [in Ukrainian].

4. Vykydy zabrudnyuyuchykh rechovyn i parnykovykh gaziv... [Emissions of pollutants and greenhouse gases...] (2023). *Derzhstat veta. Databank: Website*. Retrieved from <https://stat.gov.ua/uk/explorer> [in Ukrainian].

5. *Stratehiya nyzkovuhletsevoho rozvytku Ukrayiny do 2050 roku [Low-carbon development strategy of Ukraine until 2050]* (2018). Kyiv. Retrieved from [https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS\\_ua\\_last.pdf](https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf) [in Ukrainian]

6. Zinyuk O. D., Romanyuk R. R., & Ryhaylo S. Ya. (2016). *Kataloh innovatsiynykh proektiv rehional'noho rozvytku [Catalog of innovative regional development projects]*. Lviv: PAIS. [in Ukrainian].

7. Buchynska, I. V., Gvozdevych, O., Podolsky, M., & Kulchytska-Zhyhaylo, L. (2025). Extraction and innovative use of methane from deposit of the Lviv-Volyn coal basin. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 1-2, 43-56. DOI: <https://doi.org/10.15407/ggcm2025.197-198.043>

8. Berezovets, V. V., Verbovtskyy, Yu. V., & Zavaliy, I. Yu. (2020). Syntez hydrydnykh kompozytiv na osnovi mahniyu ta aprobatsiya yikh v prystryiyakh akumuluyuvannya i heneruvannya vodnyu [Synthesis of magnesium-based hydride composites and their testing in hydrogen storage and generation devices]. In *Tsil'ova kompleksna prohrama naukovykh doslidzen' NAN Ukrayiny «Voden' i palyvni komirky v systemakh avtonomnoho enerhozabezpechennya» [Targeted comprehensive scientific research program of the NAS of Ukraine «Hydrogen and fuel cells in autonomous energy supply systems»]*: Theses by projects (p. 14). Kyiv. Retrieved from [http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen\\_2019-2021/H\\_2020.pdf](http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen_2019-2021/H_2020.pdf) [in Ukrainian].

9. Nykyforchyn, H., Zvirko, O., Hredil, M., Krechkovska, H., Tsyruynyk, O., Student, O., & Unigovskyy, L. (2021). Methodology of hydrogen embrittlement study of long-term operated natural gas distribution pipeline steels caused by hydrogen transport. *Fracture and Structural Integrity*, 16(59), 396-404. DOI: <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.59.26>

10. Syrotyuk, S. V., Boyarchuk, V. M., & Halychak, V. P. (2018). *Al'ternatyvni dzherela enerhiyi. Enerhiya vitru [Alternative sources of energy. Wind energy]: Manual*. Lviv: Magnolia 2006. [in Ukrainian].

11. Biletskyy, Yu., O., Kuzyk, R. –I. V., & Lompart, Yu. V. (2020). Syntez ta analiz systemy enerhoformuiuchoho keruvannya vitrosniachnoiu

enerhoustanovkoiu z hibrydnoiu systemoiu nakopychennia enerhii [Synthesis and analysis of the energy-shaping control systems for windsolar power plant with hybrid energy storage system]. *Elektroenerhetyka ta elektromekhanichni systemy – Electric Power and Electromechanical Systems*, 2(1), 8-17. DOI: <https://doi.org/10.23939/sepes2020.01.008> [in Ukrainian].

12. Bashynska, Yu. I. (2014). Osoblyvosti rehional'nykh prohram z vykorystannya vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi [Peculiarities of regional programs for the use of renewable energy sources]. *Rehional'na ekonika – Regional Economy*, 1, 165-174. [in Ukrainian].

13. *Akademichni ustanovy Zakhidnoho naukovoho tsentru NAN Ukrayiny i MON Ukrayiny [Academic institutions of the Western Scientific Center of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Ministry of Education and Science of Ukraine]* (2018). Lviv: PAIS. Retrieved from <https://znc.com.ua/ukr/proect/2018/proect%202018.pdf> [in Ukrainian].

14. Kyyak, V. (Ed.), Kobiv, Y., Zhilyaev, H., Bilonoha, V., Dmytrakh, R., Reshetylo, O., Mykitchak T., Kobiv, V., & Shtupun, V. (2022). *Populyatsiyni osnovy unyknennya vtrat bioriznomanittya u vysokohir'yi Ukrayins'kykh Karpat [Population bases of avoiding biodiversity loss in the high-mountain zone of the Ukrainian Carpathians]*. Lviv: Prostir-M. Retrieved from <https://ecoinst.org.ua/pdf/monohrafiia-kyiak-2023.pdf> [in Ukrainian].

15. Olenych, I., & Babyak, S. (2024). Avtomatyzovana systema doslidzhennya zabrudnennya povitrya [Automated air pollution research system]. *Elektronika ta informatsiyni tekhnolohiyi – Electronics and Information Technologies*, 26, 59-72. DOI: <https://doi.org/10.30970/eli.26.6> [in Ukrainian].

Надійшло 27.01.2026 р.  
Прийнято до друку 10.02.2026 р.  
Опубліковано 20.03.2026 р.