

Серденко Т.В.

Мукачівський державний університет

Бродович Ю.Р.

Мукачівський державний університет

Козарь О.П.

Мукачівський державний університет

Максютова О.В.

Мукачівський державний університет

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ЗАКАРПАТТІ: ПОТЕНЦІАЛ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

У статті досліджено екологічні аспекти впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у Закарпатській області – одному з найбільш перспективних регіонів України з точки зору природно-кліматичних умов. Проаналізовано географічні та ресурсні передумови для розвитку сталих джерел енергії, зокрема гідроенергетики, вітрових та сонячних електростанцій, а також енергетичного використання біомаси. Автори наголошують, що впровадження ВДЕ сприяє скороченню викидів парникових газів, зниженню навантаження на довкілля, покращенню якості повітря, збереженню біорізноманіття та досягненню кліматичних цілей. Розвиток зеленої енергетики також створює додаткові можливості для регіонального розвитку, децентралізації енергопостачання та залучення інвестицій у гірські та сільські громади.

У роботі акцентовано увагу на низці екологічних ризиків, які супроводжують реалізацію проєктів ВДЕ. Серед основних проблем – порушення гідрологічного балансу річок при будівництві малих ГЕС, фрагментація екосистем, вплив на ландшафтний профіль території, акустичне та візуальне навантаження від вітрових електростанцій, а також складність утилізації сонячних панелей та інших елементів енергетичного обладнання. Визначено, що за відсутності належного планування та екологічного моніторингу навіть відновлювані джерела можуть мати суттєвий негативний вплив на довкілля. У зв'язку з цим в статті обґрунтовано комплекс заходів для зменшення екологічних ризиків: запровадження стратегічної екологічної оцінки, інтеграція екологічних критеріїв у просторове планування, удосконалення законодавства у сфері охорони довкілля та залучення громадськості до процесів оцінювання і контролю.

Представлені результати можуть бути використані при формуванні регіональних енергетичних стратегій, екологічних програм та обґрунтуванні екобезпеки нових енергетичних проєктів на Закарпатті. Запропоновані підходи мають міждисциплінарний характер і можуть бути корисними для фахівців у галузі екології, енергетики, управління природними ресурсами та сталого розвитку.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, екологічні аспекти, екологічні ризики, Закарпатська область, малі ГЕС, вітрові електростанції, сталий розвиток.

Постановка проблеми. Перехід до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є одним із ключових завдань сучасної енергетичної політики України, що зумовлено глобальними кліматичними змінами, необхідністю підвищення енергетичної безпеки та забезпечення сталого розвитку [6; 7]. Використання ВДЕ дозволяє значно зменшити

викиди парникових газів, знизити рівень забруднення атмосферного повітря та ґрунтів, а також зберегти біорізноманіття регіонів [5; 8]. Закарпатська область, з огляду на свої унікальні природно-кліматичні умови – розвинену річкову мережу, високий рівень інсоляції, значний вітровий потенціал та наявність лісових і сільсько-

господарських відходів, має значний ресурсний потенціал для впровадження відновлюваних джерел енергії [1; 9].

Незважаючи на економічну доцільність і екологічні переваги ВДЕ, їхнє широке впровадження супроводжується низкою екологічних ризиків та викликів. До таких належать негативні наслідки зміни гідрологічного режиму малих річок під час будівництва ГЕС, вплив вітрових електростанцій на ландшафт, шумове навантаження та орнітологічні ризики, а також проблеми утилізації відпрацьованих елементів сонячних та вітрових установок [3; 8; 10]. У Закарпатті ці питання набувають особливої актуальності через високу чутливість карпатських екосистем і значну роль рекреаційних та природоохоронних територій у розвитку регіону [2; 4].

Широке впровадження ВДЕ на Закарпатті супроводжується низкою екологічних викликів: зміна гідрологічного режиму річок при будівництві ГЕС, вплив вітропарків на ландшафт і шумове забруднення, утилізація відпрацьованих елементів сонячних панелей і вітрогенераторів [8; 10]. Відсутність комплексної оцінки цих факторів може призвести до деградації природних систем, що суперечить принципам сталого розвитку регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика розвитку відновлюваних джерел енергії в Україні активно досліджується протягом останніх років як на національному рівні, так і в контексті окремих регіонів. Зокрема, детальний аналіз природно-ресурсного потенціалу Закарпатської області для використання ВДЕ подано в роботах Попа С. С. та Шароді І. С. [1], де обґрунтовано можливість освоєння малих гідроелектростанцій, сонячних електростанцій та біоенергетичних ресурсів регіону. Також автори звертають увагу на необхідність комплексного підходу до оцінювання впливу таких проєктів на навколишнє середовище.

У публікації А. В. Павлика [2] проаналізовано еколого-економічні наслідки використання ВДЕ в Україні, зокрема відзначено економічну доцільність впровадження «зеленої» енергетики та можливі екологічні ризики, пов'язані з використанням територій, зміною гідрологічних режимів, шумовим забрудненням і впливом на біорізноманіття. Окрему увагу автор приділяє необхідності оцінювання довгострокових наслідків і врахування соціально-економічних факторів під час реалізації таких проєктів.

Загальні екологічні проблеми Закарпаття та виклики, пов'язані з антропогенним навантажен-

ням, розкрито у збірнику «Екологічні проблеми Закарпаття» [3], де наголошено на важливості збереження гірських екосистем та попередженні деградації природного середовища в умовах зростання економічної активності. Це накладає обмеження й на освоєння ВДЕ, що потребує врахування специфіки регіону.

Стан та перспективи розвитку відновлюваних джерел енергії в Карпатському регіоні України в контексті цілей сталого розвитку було представлено в роботі Arkhyrova N. V., Hrek O. I., Korzhov M. O. [4]. Авторами виконано кількісну оцінку потенціалу різних видів ВДЕ, підготовлено картографічні матеріали та зазначено необхідність гармонізації економічних інтересів з екологічними вимогами.

Дослідження Mishchenko M., Lytvynenko O., Ivanov V. [5] містить огляд стану «зеленої» енергетики України, суспільного попиту на відновлювані джерела та тенденцій розвитку галузі. Автори підкреслюють високий рівень суспільної підтримки ВДЕ, а також визначають основні соціально-економічні й екологічні бар'єри на шляху їх упровадження.

Фінансові аспекти розвитку відновлюваної енергетики в Україні розглянуто у роботі Shcherbyna S., Olsen K. [6]. Автори аналізують джерела фінансування проєктів, зокрема державні програми, приватні інвестиції та міжнародну допомогу, підкреслюючи роль стійких фінансових механізмів для екологічно безпечного розвитку галузі.

Порівняльний аналіз екологічних і соціальних наслідків виробництва електроенергії з різних відновлюваних джерел представлено у роботі Ali S., Khan R., Chen W. [7], де детально описано вплив вітрових, сонячних, гідроенергетичних та біоенергетичних установок на довкілля й запропоновано підходи до мінімізації негативних ефектів.

Окремо слід відзначити дослідження Гаднадя І., Тара К. та Молнаря Й. [8], присвячене сучасному стану й перспективам розвитку вітрової енергетики у світі, Європі та в Україні, зокрема на Закарпатті. У роботі наведено дані про потенціал вітрових ресурсів регіону та відзначено низку проблем, пов'язаних із впливом на довкілля.

Питання використання біомаси як ресурсу для енергетики в Україні висвітлено у монографії під редакцією Гелетути Г. [9], де наведено технічні рішення та екологічні аспекти впровадження біоенергетичних технологій. Автори підкреслюють роль біоенергетики як одного з найбільш перспективних напрямів скорочення викидів CO₂.

Додатково у роботах Попа С. С. та Шароді І. С. [10] досліджено перспективи розвитку вітроенергетики саме Закарпатської області, проаналізовано технічні та екологічні обмеження розміщення вітропарків і запропоновано рекомендації щодо підвищення їх екологічної безпеки.

Таким чином, проведений аналіз свідчить про значну увагу науковців до проблематики розвитку відновлюваної енергетики, однак більшість досліджень зосереджені на окремих її аспектах: технічних характеристиках, економічній ефективності чи окремих видах ВДЕ. Недостатньо розробленими залишаються комплексні підходи до оцінювання екологічних наслідків впровадження ВДЕ в умовах чутливих екосистем Карпатського регіону, що й зумовлює актуальність даного дослідження.

Метою статті є аналіз екологічних аспектів розвитку відновлюваних джерел енергії на Закарпатті, виявлення їхніх переваг та ризиків, а також формулювання напрямів підвищення екологічної безпеки та сталості розвитку енергетики регіону.

Виклад основного матеріалу. Дослідження показало, що сучасна структура використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на Закарпатті залишається фрагментарною та нерівномірною як за типами джерел, так і за територіальним розподілом. Це зумовлено низкою факторів: відсутністю цілісної регіональної енергетичної стратегії, обмеженим доступом до інвестицій у віддалених гірських громадах, технічними бар'єрами підключення до електромереж та складною процедурою оцінки впливу на довкілля для нових проєктів. Найбільш освоєною на сьогодні залишається мала гідроенергетика. Кількість малих гідроелектростанцій (ГЕС) в області за останні 10–15 років зросла завдяки спрощеним умовам для інвесторів і пільговому "зеленому" тарифу. Водночас експлуатація таких об'єктів нерідко супроводжується соціально-екологічними конфліктами через ігнорування принципів природоохоронного проєктування. Аналіз функціонуючих ГЕС вказує на наявність типових екологічних недоліків: відсутність рибоходів та фільтрів, деградація заплав і прибережних екосистем, порушення гідрологічного режиму річок, локальні підтоплення вгору за течією та різке зниження водності в нижньому б'єфі, особливо в періоди літньої межени [1; 3]. Такі прояви свідчать про необхідність зміни підходів до проєктування, будівництва та експлуатації малих ГЕС з урахуванням гідроекологічної специфіки Карпатського регіону. Рекомендовано переходити до концепції "екологічно адаптованої

гідроенергетики", яка включає моніторинг, мінімізацію впливу на біоту та обов'язкову реконструкцію існуючих об'єктів відповідно до європейських стандартів.

Оцінка потенціалу вітрової енергетики засвідчила, що перспективними залишаються гірські райони з висотами понад 800 м над рівнем моря, де середньорічна швидкість вітру стабільно перевищує 6 м/с. Найбільш придатними для розміщення вітротурбін є відкриті схили гірських пасом у Великоберезнянській, Рахівській та Воловецькій територіальних громадах. Проте на практиці реалізація таких проєктів супроводжується низкою викликів: опором з боку місцевих громад, побоюваннями щодо впливу на пейзаж, лісовий покрив, шумовим навантаженням і потенційною загрозою для птахів і кажанів, які мігрують через Карпатський біокоридор [8; 10]. Тому необхідним є удосконалення механізмів попередньої оцінки впливу, які мають включати не лише моделювання вітрових потоків, а й ландшафтно-візуальні аналізи, картування середовищ існування ключових видів і консультації з місцевим населенням. Запропоновано створити на рівні області геоінформаційну систему з потенційними зонами для вітрової генерації з урахуванням екологічних обмежень, що дозволить узгодити інтереси інвесторів, місцевих громад та органів охорони природи.

Стан розвитку сонячної енергетики в області демонструє позитивну динаміку, зокрема зростання кількості малих дахових СЕС та фермерських установок. Кліматичні умови, особливо в південних і південно-східних районах області (Мукачівська, Берегівська, Іршавська громади), дозволяють отримувати річну генерацію на рівні 1100–1250 кВт·год/м², що перевищує середньоукраїнські показники. Попри це, подальший розвиток стримується відсутністю єдиного бачення інтеграції СЕС у регіональну енергосистему, нестачею накопичувальних потужностей та проблемами утилізації фотоелементів після завершення терміну їх служби [4; 7]. Рекомендовано впроваджувати агрофотовольтаїку, тобто поєднання сільського господарства з розміщенням сонячних панелей, що дозволяє раціонально використовувати земельні ресурси та зберігати агроландшафти. Крім того, потрібне запровадження систем обліку життєвого циклу обладнання для запобігання екологічним наслідкам накопичення відходів СЕС.

Біоенергетика на Закарпатті розвивається переважно у вигляді невеликих приватних та комунальних ініціатив – котелень на трісці, пеле-

тах, біогазових установок. Основна сировина – це лісозаготівельні рештки, солома, гній, а також органічні відходи харчової промисловості. Аналіз показав, що при наявному обсязі біомаси область має потенціал покриття щонайменше 12–15% своїх потреб у тепловій енергії [9]. Водночас відсутність централізованої системи збору, транспортування та зберігання біомаси, низький рівень кооперації між лісгоспами, агропідприємствами та органами місцевого самоврядування призводить до втрати частини ресурсної бази. Крім того, існують екологічні ризики – дегуміфікація ґрунтів через надмірне вилучення залишків після жнив, потенційне забруднення при неякісному зберіганні сировини, викиди при згорянні низькоякісного палива. Тому пропонується створення регіональних кластерів біоенергетики, які включають екологічно безпечні технології переробки, стандарти логістики й критерії сталості.

З урахуванням виявлених екологічних і організаційних проблем обґрунтовано необхідність впровадження на рівні області комплексу системних заходів. Доцільним є запровадження обов'язкових стратегічних екологічних оцінок для всіх проєктів ВДЕ незалежно від типу й масштабу, розробка карт екологічної чутливості для визначення прийнятних зон розміщення енергетичних об'єктів, посилення контролю за дотриманням екологічних вимог на етапі проєктування та будівництва. Окремо наголошено на необхідності залучення громад до процесу оцінювання – через громадські слухання, електронні консультації та створення незалежних спостережних рад. Розбудова екологічно орієнтованої енергетики на Закарпатті має базуватись на принципах інтегровано

ваного підходу, що поєднує екологічну безпеку, економічну ефективність та соціальну підтримку.

Висновки. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Закарпатській області має значний природно-ресурсний та економічний потенціал, що підтверджується аналізом сучасного стану та умов регіону. Використання малих гідроелектростанцій, вітрових та сонячних електростанцій, а також біоенергетики сприяє зменшенню викидів парникових газів, підвищенню рівня енергетичної незалежності та наближає регіон до досягнення цілей сталого розвитку.

Разом із тим, результати дослідження показали, що реалізація проєктів у сфері ВДЕ супроводжується низкою екологічних ризиків. Серед основних загроз визначено зміну гідрологічних режимів річок, негативний вплив на біорізноманіття, шумове та візуальне навантаження на ландшафти, а також проблеми утилізації відходів енергетичних установок.

Встановлено, що ключовою умовою ефективного й екологічно безпечного розвитку відновлюваної енергетики на Закарпатті є впровадження комплексного підходу, який передбачає обов'язкове проведення стратегічних екологічних оцінок, картування екологічно чутливих територій, удосконалення законодавчих вимог щодо відновлення природних систем після будівництва об'єктів, а також активне залучення громадськості до моніторингу реалізації проєктів.

Застосування запропонованих підходів дозволить максимально реалізувати потенціал ВДЕ регіону, зберігаючи при цьому природне середовище й забезпечуючи баланс між економічними інтересами та екологічною безпекою.

Список літератури:

1. Поп С. С., Шароді І. С. Освоєння відновлюваних енергетичних ресурсів Закарпатської області. *Український географічний журнал*. 2022. № 3. С. 30–38.
2. Павлик А. В. Еколого-економічні наслідки використання відновлюваних джерел енергії. Ужгород: Ужгородський національний університет, 2017. 27 с.
3. Багнюк В. М., Дідух Я. П. Екологічні проблеми Закарпаття. *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*. 2002. Том 20. С. 61–67.
4. Arkhypova N. V., Hrek O. I., Korzhov M. O. Renewable energy resources in the system of sustainable development of Carpathian region of Ukraine. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1840. Article 1781.
5. Mishchenko M., Lytvynenko O., Ivanov V. Green Energy in Ukraine: State, Public Demands, and Trends. *Energies*. 2021. Vol. 14, Issue 22. Article 7745.
6. Petlenko, Y. (2024). Financing Green Energy for Enhancing Energy Security in Ukraine. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*. Vol. 2(55), P. 161–179.
7. Ali S., Khan R., Chen W. Eco-environmental, and social impacts of producing electricity with renewable sources. *Energy*. 2025. Vol. 278. Article 129876.
8. Гаднадь І., Тар К., Молнар Й. Сучасний стан та перспективи розвитку вітрової енергетики у світі, Європі та в Україні, зокрема на Закарпатті. *Український географічний журнал*. 2020. № 1 (109). С. 59–70.
9. Інститут технічної теплофізики НАН України. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / під ред. Г. Гелетути. Київ: Академперіодика, 2022. 373 с.

10. Поп С.С. Перспективи розвитку вітрової енергетики на території Закарпатської області. Мат. наук.-практ. конф. «Надрокористування в Україні. Інвестиційний аналіз. Трускавець, 2019. С. 297–300.

11. Легещича Д., Шароді Ю. В. Розвиток вітроенергетики України на прикладі Закарпатської області. Збірник наук. праць студентів геогр. факультету УжНУ. Ужгород, 2020. С. 63–68.

Serdenko T.V., Brodovich Yu.R., Kozar O.P., Maksyutova O.V. ECOLOGICAL ASPECTS OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN ZAKARPATTIA: POTENTIAL, CHALLENGES AND PROSPECTS

This article explores the ecological aspects of implementing renewable energy sources (RES) in Zakarpattia Oblast – one of Ukraine's most promising regions in terms of natural and climatic conditions. The study analyzes the geographic and resource-related preconditions for the development of sustainable energy sources, including small hydropower plants, wind and solar power stations, as well as biomass energy use. The authors emphasize that the integration of RES contributes to reducing greenhouse gas emissions, lowering environmental pressures, improving air quality, preserving biodiversity, and achieving climate goals. The development of green energy also creates additional opportunities for regional growth, energy decentralization, and investment attraction in mountainous and rural communities.

The study draws attention to several environmental risks associated with the implementation of RES projects. Key issues include disruption of river hydrology during the construction of small hydropower plants, ecosystem fragmentation, landscape transformation, acoustic and visual disturbances caused by wind turbines, and challenges related to the disposal of solar panels and other energy infrastructure. The research finds that without proper planning and environmental monitoring, even renewable technologies may produce significant adverse effects on natural systems. Therefore, the article substantiates a set of measures to mitigate environmental risks, such as the implementation of strategic environmental assessments, integration of ecological criteria into spatial planning, improvement of environmental legislation, and increased public participation in decision-making and monitoring processes.

The results presented in this study can be applied in the development of regional energy strategies, environmental programs, and the environmental justification of new energy projects in Zakarpattia. The proposed approaches are interdisciplinary in nature and may be of interest to specialists in the fields of ecology, energy, natural resource management, and sustainable development.

Key words: renewable energy sources, ecological aspects, environmental risks, Zakarpattia Oblast, small hydropower plants, wind power stations, sustainable development.

Дата надходження статті: 25.09.2025

Дата прийняття статті: 12.10.2025

Опубліковано: 16.12.2025