

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО АСПЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЇ

Агапова О. Л., Попович Н. В., Шуліка Б. О., Пересадько В. А., Филенко В. В.

1. Вступ

Серед найважливіших глобальних проблем, які постали на початку ХХІ століття, є забезпечення людства енергією. Одним із основних тематичних трендів, що увійшли в світову практику управління, є підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. Надійне забезпечення енергетичних потреб промислових комплексів є запорукою успішної реалізації концепції сталого розвитку.

Проблема забезпечення потреб населення країн в енергії може бути вирішена за рахунок альтернативної енергетики. Необхідність її розвитку диктується поступовим виснаженням глобальних запасів вуглеводнів та інших викопних видів палива, а також погіршенням стану довкілля і змінами клімату. Для України, яка значною мірою залежить від імпорту енергоносіїв (46 % потреб у природному газі та 100 % потреб у ядерному паливі країна задовольняє за рахунок імпорту), питання розвитку альтернативної енергетики є особливо актуальним. Пріоритетність розвитку галузі визначено на національному рівні:

- Енергетичною стратегією України на період до 2030 р. [1];
- Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року [2];
- Законом України «Про електроенергетику» [3];
- Законом України «Про альтернативні джерела енергії» [4] та ін.

Однак, доля альтернативних енергетичних джерел у загальному споживанні енергетичних ресурсів в Україні досі є незначною (близько 2,5 %), що пояснюється цілим комплексом причин. А складна економіко-політична ситуація додатково гальмує залучення інвестицій.

Тому розробка науково обґрунтованих підходів із підвищення економічної ефективності впровадження технологій альтернативної енергетики для окремих територій є важливою науково-практичною задачею.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є альтернативні джерела енергії як основа розвитку альтернативної енергетики України. Особливу увагу приділено вивченню просторового аспекту в оцінці перспектив та можливостей використання окремих видів відновлюваних джерел енергії для конкретних територій.

Описуючи сучасний стан альтернативної енергетики в Україні, варто відзначити значні кроки держави у напрямку адаптації законодавчої та нормативно-правової бази до стимулювання розвитку цієї галузі, зокрема:

- суттєво спрощено процедури отримання ліцензій для реалізації енергії за «зеленим тарифом» (feed-in tariffs) (в тому числі і для приватних домогоспо-

дарств, що використовують альтернативні джерела енергії та надлишок продають у електромережу);

- врегульовано механізми підключення таких об'єктів до об'єднаної енергосистеми;
- встановлені податкові пільги для теплогенеруючих та когенераційних установок та ін.

У роботі [5] наведено результати аналізу запроваджених в Україні програм стимулювання альтернативної енергетики та доведено, що розміри діючих «зелених тарифів» достатні для залучення нових інвесторів та компенсації високих ризиків ведення бізнесу в Україні.

Станом на 01.10.2018 року за Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг в Україні «зелений тариф» становить [6]:

- для вітроелектростанцій від 191,21 до 371,79 коп./кВт·год;
- для біоенергетичних об'єктів – 407,20 коп./кВт·год;
- для сонячних електростанцій – від 493,95 до 1529,65 коп./кВт·год;
- для мікро-, міні-, та малих гідроелектростанцій – від 382,41 до 637,36 коп./кВт·год.

Це одні з найвищих показників у Європі. Розбіжність у тарифах в межах однієї галузі залежить від потужності та дати введення в експлуатацію енергогенеруючих об'єктів.

Крім того, з метою розвитку українського виробничого сектору встановлені пільги, що звільняють від податку на прибуток підприємства, які виробляють обладнання для альтернативної енергетики. А також надбавки до «зеленого тарифу» за використання на електростанціях обладнання українського виробництва. Законом України «Про електроенергетику» [3] передбачено звільнення підприємств біоенергетики від оподаткування прибутку у наступних випадках:

- у разі отримання прибутку від продажу виробленого біопалива;
- у разі отримання прибутку від одночасного виробництва електричної і теплової енергії та/або виробництва теплової енергії з використанням біологічних видів палива.

Результатом впровадження державної політики підтримки альтернативних джерел енергії в Україні є щорічне зростання генеруючих потужностей та об'ємів виробництва енергії (рис. 1).

За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України станом на 01.07.2017 р. загальна встановлена потужність об'єктів альтернативної енергетики становила 1,74 ГВт. А виробництво електроенергії з відновлюваних джерел (без урахування великих гідроелектростанцій) у 2017 році склало близько 2 тис. ГВт·год.

На рис. 1 чітко виражений спад виробітку електричної енергії у 2015 та 2016 роках. Він пояснюється тим, що з квітня 2014 року припинено постачання електроенергії сонячними та вітровими електростанціями, розташованими на окупованій території Автономної республіки Крим, до об'єднаної енергетичної системи України.

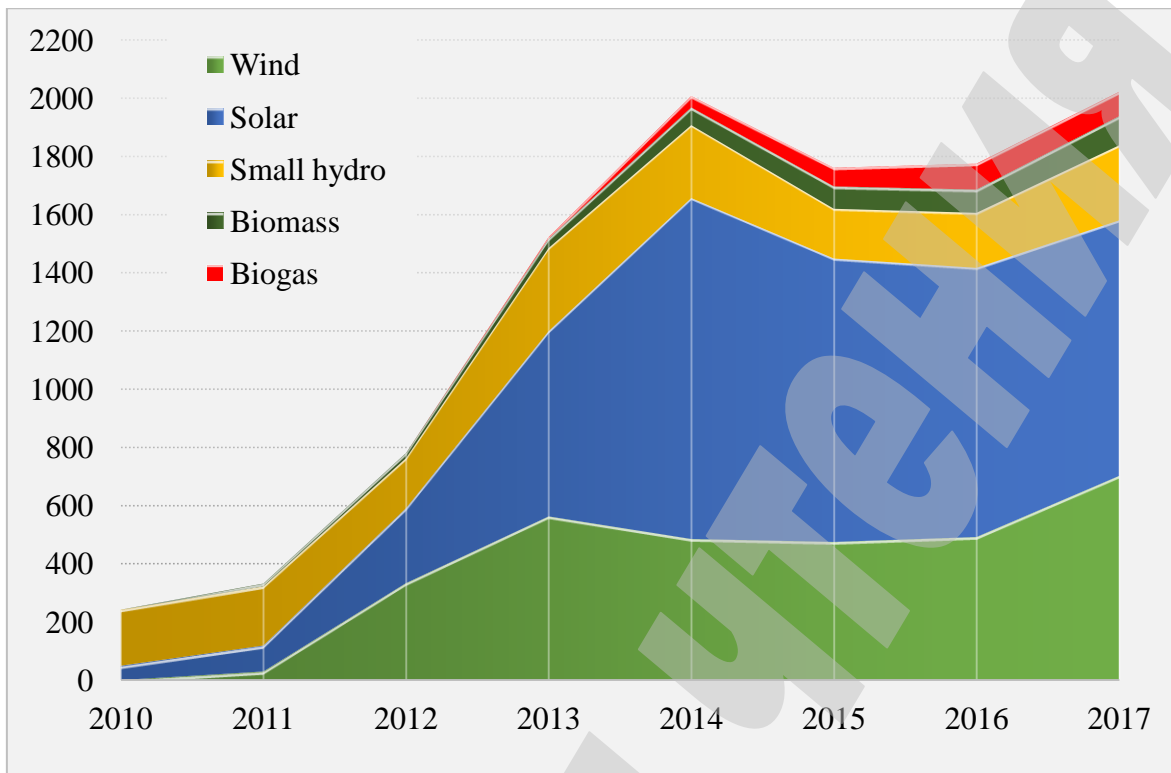


Рис. 1. Динаміка виробітку електричної енергії з альтернативних джерел в Україні, ГВт·год, дані наведено станом на кінець року (за даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України)

Із урахуванням наведеної статистики виробництво електроенергії з альтернативних джерел у 2017 році склало близько 2,5 % від загального обсягу електроспоживання країни, а з урахуванням великих гідроелектростанцій – близько 8 %. Найвищими темпами нарощування виробничих потужностей у сфері електроенергетики характеризується вітро- та геліоенергетика.

Енергетичною стратегією України до 2035 року передбачено зростання частки генерації електроенергії з відновлюваних джерел (включно з гідрогенеруючими потужностями) до показника >13 % у 2030 році і >25 % у 2035 році [7]. Але враховуючи наявний тренд динаміки виробітку електричної енергії з альтернативних джерел, визначені у Стратегії показники, на думку авторів, є надто оптимістичними, а їх досягнення можливе лише за умови збільшення інтенсивності нарощування виробничих потужностей.

На сьогодні виробництво енергії за рахунок альтернативних джерел залишається менш рентабельним у порівнянні з традиційними, що пояснюється високою вартістю обладнання й суттєвими витратами на забезпечення технологічних процесів. Нині державні фінансові затрати на надбавку у вигляді «зеленого тарифу» при купівлі енергії з відновлюваних джерел компенсуються за рахунок нижчої собівартості окремих традиційних видів енергії та встановлення для споживачів на всю енергію усередненого тарифу. Проте збільшення частки відновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі позначиться на кінцевій вартості енергії для споживачів або вимагатиме державного субсидування галузі.

Високий рівень залежності від державної підтримки робить альтернативну енергетику вразливою при погіршенні економічної ситуації у світі загалом і в

Україні зокрема. Тому при плануванні нових енергетичних об'єктів важливо шукати шляхи зниження вартості їх будівництва, витрат на експлуатацію, підвищення прибутків від реалізації відновлюваної енергії і, як наслідок, темпів окупності інвестицій.

Важливу роль у цьому відіграє вибір оптимального місця розташування енергетичного об'єкту з точки зору наявного ресурсного потенціалу та ряду інших факторів. Проведений у роботі [8] аналіз досвіду дослідження потенціалу відновлюваних джерел енергії в Україні показав, що даних про обсяги та територіальний розподіл альтернативних енергетичних ресурсів на регіональному рівні недостатньо для оперативного планування. Результати оцінки відновлюваних енергетичних ресурсів представлені в «Атласі енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України» (2001 р.), «Геотермічному атласі України» (2004 р.), «Національному атласі України» (2007 р.). Але дані картографічні джерела дають можливість оцінити лише сумарний для області потенціал окремих видів ресурсів. На регіональному та субрегіональному рівні як оцінка ресурсів, так і їх картографування носить епізодичний характер. Для жодного виду відновлюваних енергетичних ресурсів не проводилися дослідження, які б відображали їх розподіл на обласному або районному рівні та охоплювали при цьому всі регіони України.

Відповідно, просторовий аспект використання відновлюваних енергетичних ресурсів потребує більшої уваги та додаткового дослідження на теренах України.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження просторового аспекту використання енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії засобами картографічного методу на прикладі одного з регіонів України.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

1. Провести оцінку й картографування технічного потенціалу відновлюваних джерел енергії (енергії вітру, Сонця, річок та геотермальної енергії) на прикладі Харківської області (Україна).
2. Визначити найбільш сприятливі для розміщення об'єктів альтернативної енергетики райони на території Харківської області.
3. Сформулювати рекомендації щодо розміщення об'єктів альтернативної енергетики враховуючи ресурсні, соціальні, технічні, економічні та екологічні чинники.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Існують численні наукові роботи, зосереджені на вивченні різних аспектів розвитку альтернативної енергетики. Зокрема, науковцями у роботах [5, 9] досліджено питання державної політики, спрямованої на підтримку та фінансове стимулювання цієї галузі.

Безліч праць присвячено питанням оцінки енергетичного потенціалу альтернативної енергетики: як за регіонами (наприклад, у Європейському Союзі [10]), так і за окремими видами ресурсів (наприклад, біомасою [11]). У дослідженні [12] наводяться приклади різних варіантів використання альтернативних джерел енергії, які можуть задовольняти локальні потреби та повністю або частково замінити

традиційні джерела.

Ряд науковців працює над зв'язком між альтернативною енергетикою і сталим розвитком територій. У цьому контексті розглядається використання сталих джерел енергії та енергоносіїв, зменшення впливу на навколишнє середовище, підвищення ефективності та соціально-економічної прийнятності [13]. Досягнення збалансованого розвитку потребує використання джерел енергії, що є доступними за ціною та такими, що можуть бути утилізовані без негативного впливу на довкілля [14]. Відповідно, розроблені енергетичні індикатори сталого розвитку, які являють собою аналітичний інструмент для оцінки поточних моделей виробництва та використання енергії на національному рівні [15].

Сучасні національні та регіональні стратегії енергетичного розвитку, як правило, включають три ключові компоненти: енергозбереження з боку користувачів, підвищення ефективності виробництва енергії та заміна викопного палива на альтернативні джерела енергії [16]. Незважаючи на те, що ці зміни мотивуються геопросторовими факторами, інтеграція моделей енергетичних систем та геоінформаційних систем все ще перебуває в зародковому стані [17], особливо в Україні.

Таким чином, механізмам просторової оптимізації галузі альтернативної енергетики з урахуванням економічних факторів у науковій літературі приділено недостатньо уваги, тож це питання має бути досліджене додатково.

5. Методи дослідження

Оптимальний вибір місця розташування енергогенеруючого обладнання дозволяє підвищити економічний ефект від будівництва нового енергетичного об'єкту у 2–3 рази. Рентабельність технологій відновлюваної енергетики залежить від наступних факторів:

- вартості обладнання та його встановлення;
- рентної плати за земельну ділянку;
- тарифів на реалізацію енергії;
- показників енергетичного потенціалу території;
- віддаленості об'єднаної електромережі та об'ємів будівництва додаткових електромереж;
- віддаленості від потенційного споживача (протяжність теплотрас);
- необхідності будівництва додаткової транспортної інфраструктури та ін.

Останні чотири фактори доцільно розглядати у просторовому відношенні, для чого пропонуємо використовувати картографічний метод дослідження. Аналіз територіального розподілу енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії у поєднанні з іншими соціально-економічними факторами дозволяє обрати оптимальні регіони розвитку окремих напрямків галузі. На етапі розробки стратегії розвитку певної території подібний аналіз допомагає визначити види ресурсів, які характеризуються найвищим потенціалом.

Вихідними даними для укладання карт альтернативної енергетики є результати оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії – вітрових, сонячних, геотермальних, гідроенергетичних. Для оцінки енергетичного

потенціалу у роботі застосовано методи статистичного аналізу багаторічних рядів даних та математичного моделювання.

Вихідними джерелами даних для оцінки й картографування вітроенергетичних ресурсів послужили результати натурних вимірювань, представлені середньостатистичними показниками швидкостей вітру, визначеними для контрольних точок, що складають мережу моніторингу досліджуваної території. В якості основного джерела статистичної інформації використано дані метеорологічних спостережень гідрометеорологічних служб України та сусідніх країн за десятирічний період (з 2005 по 2014 рік). Додатковим джерелом інформації виступили середньостатистичні показники напрямку та швидкості вітру всесвітньої бази метеорологічних та актинометричних даних NASA SSE. Дані вимірювань швидкостей вітру з сусідніх прикордонних територій необхідні для коректного проведення інтерполяції показників у процесі картографування вітроенергетичних ресурсів.

Практичне значення для *вітроенергетики* має технічний потенціал, що відображається через показник виробітку енергії вітроустановкою певного типу за певний часовий період (день, місяць, рік). Необхідність обов'язкової прив'язки до типу обладнання пояснюється тим, що технічні параметри вітротурбін (навіть одного розміру, але різних виробників) суттєво відрізняються, тому неможливо обрати певні усереднені параметри для оцінки ресурсного потенціалу. Замість цього можливо розрахувати виробіток енергії конкретними типами вітроустановок, яким надається перевага на національному ринку вітроенергетики. В Україні такими вітроустановками на даний час є Fuhrländer FL2500 (Німеччина, потужність 2,5 МВт) та Vestas V112 (Данія, потужність 3 МВт) вкажіть країну виробника установки [18, 19].

Для приведення показників швидкості вітру до висоти осі ротора вітроустановки (100 м) використано аналітичні моделі розрахунків, що найчастіше застосовуються у світовій практиці. Це логарифмічний закон Лайхтмана й експонентний закон Хеллмана, згідно з якими швидкість вітру на заданій висоті з урахуванням коефіцієнта шорсткості поверхні визначається за формулами [20, 21]:

$$V_h = V_a \left(\frac{h}{h_a} \right)^\alpha$$

та

$$V_h = V_a \frac{\ln h_a - \ln \alpha}{\ln h - \ln \alpha},$$

де V_h – швидкість вітру на висоті h ; V_a – швидкість вітру на висоті анемометра;

h_a – висота анемометра;

α – ступеневий коефіцієнт, який залежить від шорсткості земної поверхні ($\alpha=0,05-0,50$), для відкритих місць параметр $\alpha=1/7=0,143$.

Облік коефіцієнта шорсткості земної поверхні дозволяє привести значення середніх швидкостей вітру до умов відкритої місцевості (саме такі ділянки обираються для розміщення вітроелектростанцій). Коефіцієнти шорсткості земної поверхні для пунктів наземних спостережень (метеорологічних майданчиків) визначено за космічними знімками з роздільною здатністю 3–5 м.

Потенційний виробіток енергії вітроустановкою одиничної потужності обраховувався на основі багаторічних даних швидкостей вітру, приведених до висоти 100 м, для пунктів метеорологічних спостережень. При цьому використовувалися криві потужності (графіки залежності виробітку енергії від швидкості вітру), представлені у технічній документації вітротурбін Fuhrländer FL2500 та Vestas V112. Після цього проводилася інтерполяція значень із застосуванням методу зворотно зважених відстаней у програмному середовищі ArcGIS, а при укладанні карт, відповідно, застосовувався спосіб ізоліній.

Технічний потенціал *геліоенергетичних ресурсів* відображає виробіток енергії певним типом геліосистем на одиницю площі за певний період часу. Він визначається з урахуванням технічних характеристик геліосистем (у тому числі коефіцієнта корисної дії), кута встановлення та орієнтації за сторонами горизонту. Цей показник є основою для оцінки економічної доцільності використання сонячної енергії та термінів окупності будівництва електро- або теплостанції. Так, для фотоелектричних систем річний виробіток енергії визначається за наступною формулою [22]:

$$E = Q_{\Pi} S_{\Phi\Pi} K_{\text{ККД}} K_{\text{ЕП}},$$

де E – річний виробіток енергії фотоелектричними системами (кВт·год);

Q_{Π} – надходження сумарної сонячної радіації на поверхню фотоелектричних панелей площиною 1 м^2 ;

$S_{\Phi\Pi}$ – площа фотоелектричних панелей або геліоколекторів;

$K_{\text{ККД}}$ – коефіцієнт корисної дії обладнання;

$K_{\text{ЕП}}$ – коефіцієнт, що відображає частку ефективної поверхні.

Вихідні дані для розрахунку технічного геліоенергетичного потенціалу отримані за допомогою RETScreen Clean Energy Management Software (RETScreen) [23] – широко застосовуваного у світі безкоштовного програмного пакету для аналізу проектів альтернативної енергетики, розробленого на замовлення уряду Канади. Такий вибір обумовлений тим, що для моделювання геліоенергетичного потенціалу в межах регіонів України недостатньо даних наземних актинометричних спостережень, що ведуться державною гідрометеорологічною службою. Це пояснюється тим, що на всій території країни наявні лише 10 метеостанцій, що вимірюють показники надходження сонячної радіації. Натомість, програмний додаток RETScreen дозволяє обчислити дані геліоенергетичного потенціалу для пунктів регулярної сітки контрольних точок з інтервалом у $0,5$ градуси. Для цього використовуються як кліматичні дані наземних вимірювань, так і параметри отриманих з глобальної бази даних супутникових спостережень космічної агенції NASA «Surface meteorology and Solar

Energy» (NASA SSE). До того ж, програма дозволяє визначати кількість виробленої енергії з урахуванням технічних характеристик обладнання, наприклад, оперативно розрахувати виробіток енергії певним типом геліосистем для заданої точки місцевості та кута їх встановлення.

Технічний потенціал геліоенергетичних ресурсів у даній роботі розраховано для полікристалічних фотоелектричних модулів з усередненим показником коефіцієнту корисної дії на рівні 24,7 %, зорієнтованих на південь під оптимальним кутом. За даними розрахунків геліоенергетичного потенціалу сформовано геоінформаційний шар мережі контрольних точок, на основі якого у подальшому з застосуванням методу інтерполяції сплайн побудовано карту розподілу геліоенергетичних ресурсів Харківської області.

Оцінка *геотермальних ресурсів* вимагає врахування, збору й обробки великих масивів геологічної інформації (про склад, тріщинуватість, теплопровідність гірських порід на різних горизонтах). Тому в дослідженні при укладанні карти геотермальних ресурсів Харківської області використано результати попередніх оцінок геотермального потенціалу регіону. Вони виконувалися в рамках Європейського проекту зі створення веб-атласу геотермальних ресурсів Європи «The GeoElec project» (2011–2013 рр.) [24]. Інформаційні шари даних цього атласу побудовані на основі національних геологічних досліджень. Для території України це в основному термометричні дослідження свердловин в ході пошуково-розвідувальних робіт запасів вуглеводнів та підземних вод (глибина більшості свердловин становить 3000–4000 м). Значення технічного потенціалу геотермальних ресурсів були розраховані за методикою, представленою у роботі [25].

Методика оцінки та картографування енергетичного потенціалу *малих річок* суттєво відрізняється у порівнянні з іншими відновлюваними джерелами енергії (насамперед через те, що гідроенергетичні ресурси не мають суцільного розподілу по території). Вона включає застосування прийомів багатоступеневого математико-картографічного моделювання та цілого комплексу інструментів ГІС-аналізу. При цьому кількісні характеристики річок обраховуються безпосередньо у процесі картографування з використанням інструментів універсального ГІС-продукту ArcGIS. Такий підхід дозволяє аналітичним шляхом визначити гідрологічні характеристики для абсолютно всіх річок досліджуваної місцевості, а не лише для тих, де проводяться гідрологічні спостереження. Із застосуванням існуючого досвіду та експериментальної апробації низки функцій ArcGIS було розроблено алгоритм картографічного моделювання енергетичного потенціалу річок, що детально описано у роботі [26].

Перший етап включає підготовку вихідних геоінформаційних шарів даних – цифрової моделі рельєфу (ЦМР) та картографічного шару модуля стоку, на основі яких створюються похідні шари даних – складові картографічної моделі гідрологічної мережі. Показник модуля стоку демонструє значення кількості води, що стікає у русло річки за одиницю часу з одиниці площі водозбірного басейну.

На другому етапі на основі ЦМР здійснюється картографічне моделювання гідрологічної мережі (ліній водотоків/русел річок та вододілів) з використанням групи інструментів «Гідрологія» (Hydrology) додаткового модуля ArcGIS Spatial Analyst. Надалі на основі картографічного шару даних напрямку стоку та

карти модуля стоку будується результуючий шар сумарного стоку, який показує для кожної чарунки результуючого растру «протікаючу» крізь неї кількість води (витрати води).

Третій етап передбачає створення похідних геоінформаційних шарів даних, що включають місця розташування витоків та гирл річок, значення абсолютної висоти місцевості та витрат води у цих пунктах. Точки впадіння притоків розділяють крупні річки на ділянки у тих місцях, де суттєво змінюється показник витрат води.

На четвертому етапі з використанням функції «Калькулятор поля» (Field Calculator) проводиться розрахунок валового (теоретичного) та технічного потенціалу річок (та їх окремих ділянок) на основі даних про абсолютні висоти та витрати води у витках та гирлах. Розрахунки теоретичного потенціалу річок представлено показниками потужності та питомої потужності водного потоку. Потужність водного потоку N_i для i -ї ділянки річки визначається на основі рівняння [27]:

$$N_i = 9,81 \frac{(Q_{i_1} + Q_{i_2})}{2} (H_{i_2} - H_{i_1}), \text{ [кВт]},$$

де Q_{i_1} та Q_{i_2} – середні багаторічні витрати води на початку та кінці i -ї річки або ділянки річки, м³/с;

H_{i_2} та H_{i_1} – абсолютні висоти початкової та кінцевої точки i -ї ділянки річки, м.

Питома потужність річки або її ділянки N_n визначається за наступною формулою [28]:

$$N_n = \frac{N_i}{L_i}, \text{ [кВт/км]},$$

де N_i – потужність i -ї ділянки річки; L_i – її протяжність на місцевості, км.

Надалі розраховано технічний енергетичний потенціал річок (потенційний виробіток енергії), що враховує коефіцієнти корисної дії гідроенергетичного обладнання – турбіни та генератора, коефіцієнт використання потужності водотоку, що залежить від сезонних коливань стоку річки. В даному дослідженні застосовано спрощену систему розрахунків технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів річок. Значення теоретичного потенціалу помножувалися на кількість годин (розрахунки виконувалися для річного періоду) та на коефіцієнт використання теоретичного потенціалу, що залежить від потужності водного потоку в річці. Відповідно до методики, представленої у роботі [27], було прийнято наступні значення коефіцієнту використання теоретичного потенціалу: для річок з потужністю водного потоку менше 1 МВт – 0,15, від 1 до 2 МВт – 0,2, більше 2 МВт – 0,35.

На останньому етапі за результатами розрахунків укладаються карти гідроенергетичного потенціалу річок.

6. Результати дослідження

За результатами оцінки вітроенергетичного потенціалу Харківської області з урахуванням технічних параметрів вітроустановки Fuhrländer FL2500 було укладено карту, що демонструє відмінності у його розподілі по території регіону (рис. 2). Найвищі показники енергетичного потенціалу спостерігаються у північній, центральній та північно-західній частині області, найнижчі – у західній та південно-західній, що пов'язано з орографічними умовами місцевості.

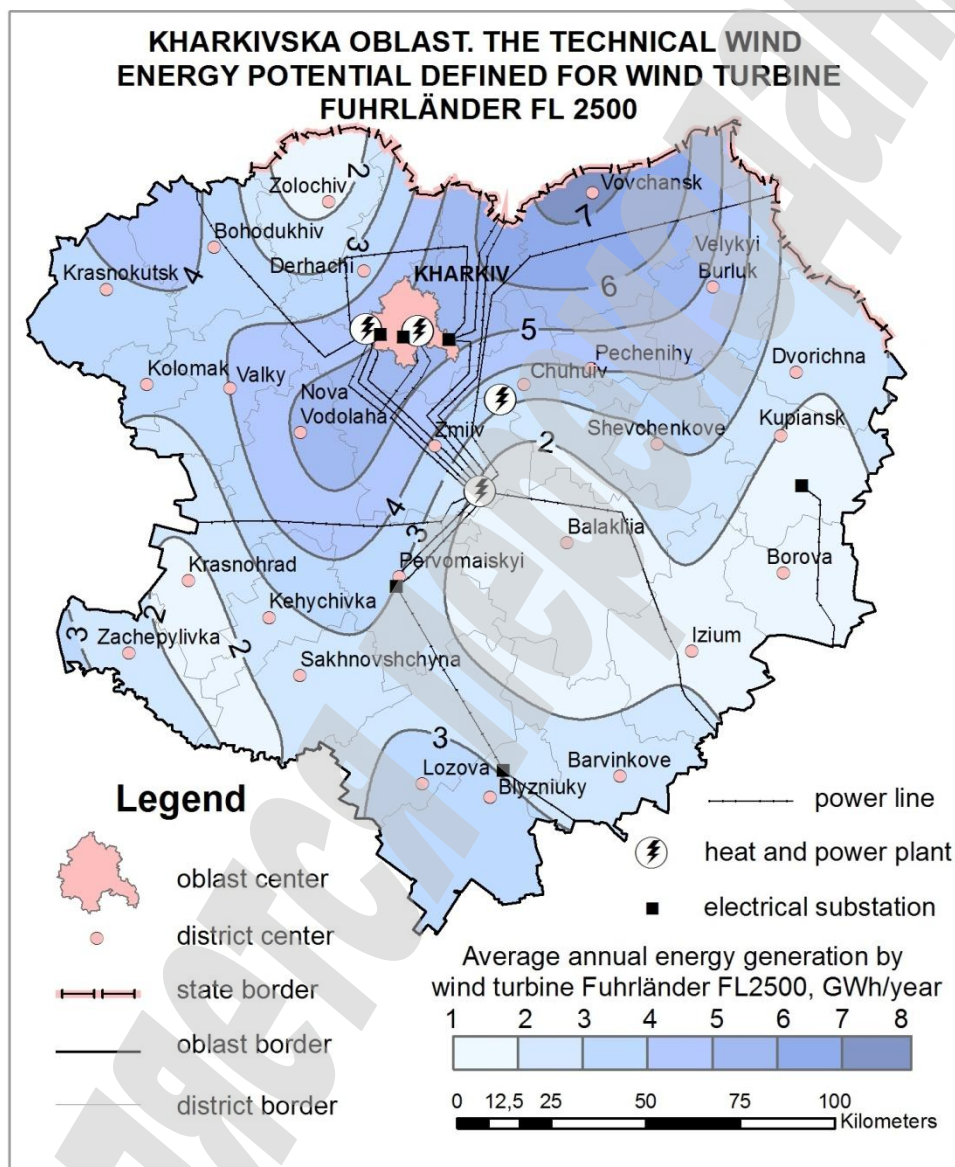


Рис. 2. Технічний потенціал вітроенергетичних ресурсів Харківської області для вітроустановки Fuhrländer FL2500

Варто відзначити, що підключення вітроелектростанцій та крупних сонячних електростанцій у більшості випадків можливе лише до ліній електропередачі та розподільчих підстанцій з рівнем напруги 110 кВ. Підключення до мереж меншої напруги може створювати перевантаження, додаткові обмеження при транспортуванні виробленої енергії та біля центрів її споживання. З економічних причин об'єкти вітроенергетики необхідно розташовувати якомога

ближче до ліній електропередачі відповідної напруги, що суттєво зменшує затрати на капітальне будівництво об'єкту. Тому на карті технічного вітроенергетичного потенціалу додатково представлено електромережу.

Відповідно до найвищого енергетичного потенціалу та доступності електросистеми рекомендується розташування вітроелектростанцій у Вовчанському, Харківському, Великобурлуцькому районах, частково у Печенізькому, Чугуївському, Нововодолазькому, Дергачівському, Богодухівському та Краснокутському районах.

Утворюваний вітротурбінами шум та потенційна загроза відриву лопатей обумовлює обмеження на встановлення великих вітроустановок та територіях населених пунктів, об'єктів природно-заповідного фонду та історико-культурної спадщини, а також в межах 300–500-метрової зони навколо них. Така відстань задовольняє вимогам техніки безпеки та дозволяє уникнути акустичного впливу на жителів прилеглих населених пунктів. Точні розміри захисної зони встановлюються для кожного об'єкту вітроенергетики окремо, при цьому відстань до вітроустановок має бути такою, щоб рівень шуму від обладнання не перевищував фонового шуму довкілля. Відповідно до діючих в Україні стандартів, нормальний рівень шуму не перевищує 55 дБ у в денний час та 45 дБ у нічний, максимально допустимий – 70 та 60 дБ відповідно. Вітроелектростанції забороняється розташовувати близько до аеропортів та військових баз через можливі перебої радіозв'язку.

Незважаючи на те, що відсоток гибелі птахів та кажанів від зіткнень із вітровими турбінами за результатами досліджень [29] є невисоким, небажано розташовувати вітроелектростанції на шляхах міграції птахів та у місцях поширення рідкісних видів орнітофауни.

На рис. 3 представлено результати оцінки технічного потенціалу геліоенергетичних ресурсів Харківської області для полікристалічних фотоелектричних модулів, зорієнтованих на південь під оптимальним кутом (кут нахилу фотоелектричних модулів, при якому протягом року надходить найбільша кількість сонячної радіації). Збільшення потенціалу геліоенергетичних ресурсів спостерігається з півночі на південь та підпорядковується широтному закону.

Найсприятливішими умовами для розміщення промислових сонячних електростанцій характеризуються Лозівський та Близнюківський райони, де річний виробіток енергії полікристалічними фотомодулями може становити від 245 до 250 кВт·год/рік з 1 м². Електростанції великої потужності доцільніше розміщувати ближче до крупних електричних підстанцій та більш потужних ліній електропередачі – у Близнюківському, Первомайському, Балаклійському, Ізюмському, Лозівському та Борівському районах. Проте сонячні електро- та теплогенеруючі установки для приватних домогосподарств можна ефективно використовувати на території всієї області.

Сонячні електростанції та геліосистеми для забезпечення гарячого водопостачання можуть бути орієнтовані як на централізоване енергопостачання, так і на локального споживача. При цьому не менш важливим фактором є наявність великих відкритих ділянок для їх встановлення, в тому числі незатінених дахів будинків в межах населених пунктів. Небажаним є встановлення сонячних еле-

ктростанцій на землях сільськогосподарського призначення, оскільки в ході тривалого перекриття земель від сонячних променів відбувається їх деградація, а також поблизу підприємств, атмосферні викиди яких знижують рівень прозорості атмосфери.

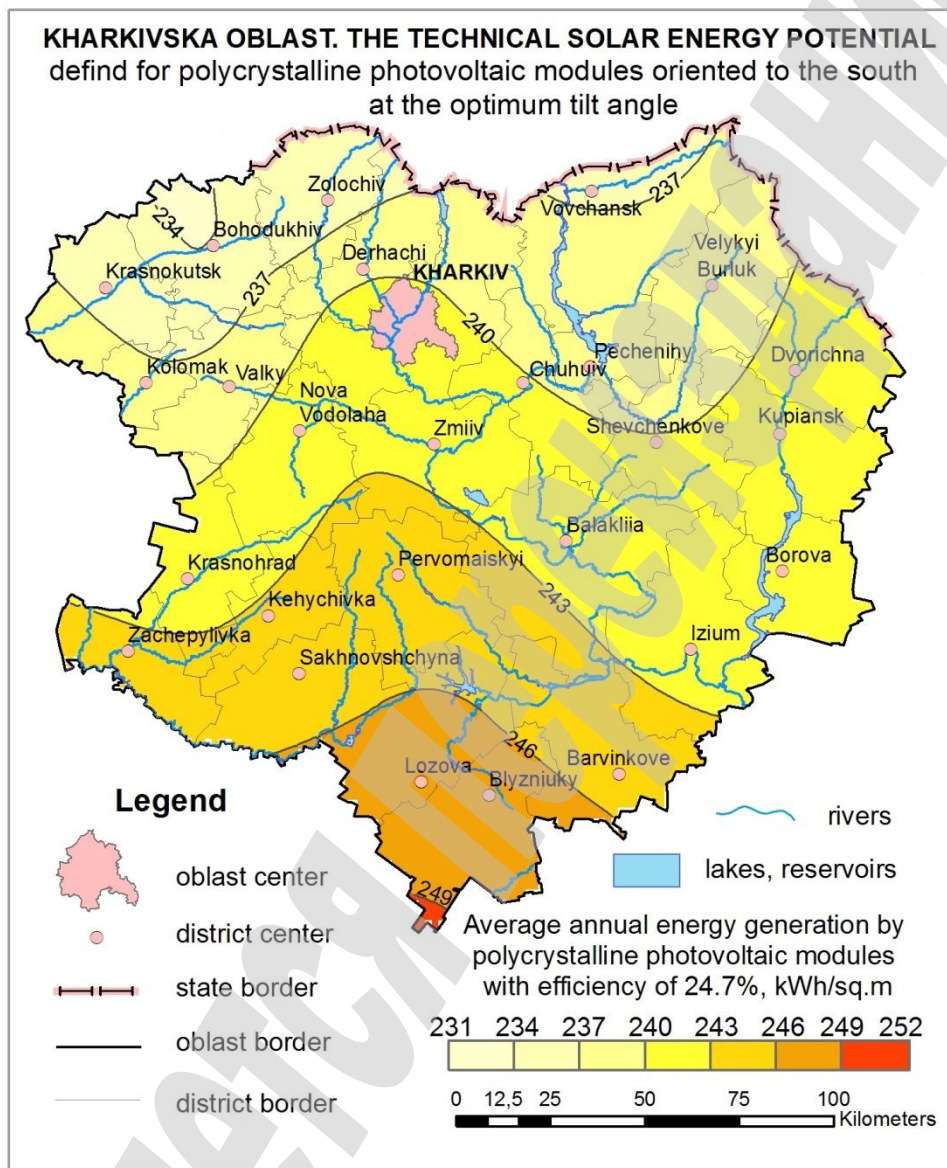


Рис. 3. Технічний потенціал геліоенергетичних ресурсів Харківської області

Будівництво потужних *геотермальних електростанцій*, як і у випадку з вітроенергетикою, вигідніше здійснювати недалеко від існуючої енергосистеми. Враховуючи показники енергетичного потенціалу надр (рис. 4) та розташування електромережі (рис. 2), для будівництва геотермальних електростанцій найкращими в межах Харківської області є південь Барвінківського і Близнюківського, південний схід Ізюмського, Борівський та Лозівський райони. Оскільки теплоенергетичний потенціал геотермальної енергії пропорційний електроенергетичному, теплові станції на геотермальних джерелах можуть створюватися для забезпечення потреб у тепловій енергії населених пунктів, що є центрами вказаних районів.

Під час визначення місць розташування теплогенеруючих об'єктів та когенераційних установок необхідно враховувати рівень енергетичних втрат під час транспортування енергії. Має значення і зростання витрат на будівництво теплотрас при віддаленні енергетичного об'єкту від споживачів. Як показує практика, район теплоенергетичного забезпечення споживачів обмежується радіусом 10–15 км, а в особливо сприятливих умовах – 25–50 км [30].

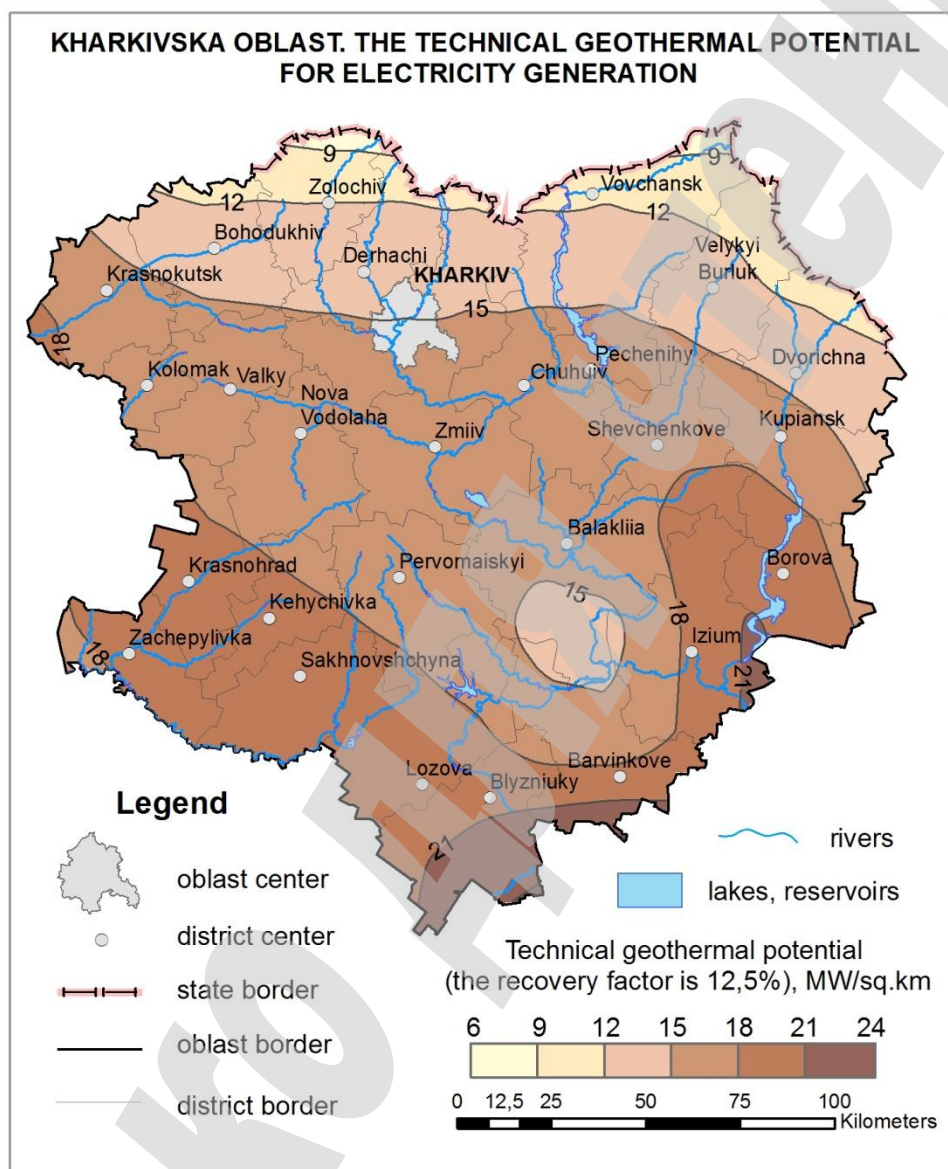


Рис. 4. Технічний потенціал геотермальних ресурсів Харківської області для генерації електроенергії

У результаті аналізу *енергетичного потенціалу річок* Харківської області (рис. 5) встановлено, що найвищим енергопотенціалом характеризуються малі річки, довжина яких становить 10–20 км, що пояснюється значними перепадами висот вздовж русла (падінням річки). Проте їх використання для встановлення гідроелектростанцій (ГЕС) у більшості випадків неможливе або економічно не вигідне через низькі показники водного стоку у літній період [31].

У межах України будівництво малих ГЕС є економічно виправданим на рі-

чках, де витрати води становлять більше $2 \text{ м}^3/\text{с}$ [32]. Відповідно, можна стверджувати, що річки Сіверський Донець, Оскіл, Уда, Лопань, Харків, Оріль, Берестова, Берека, Мерло, Мож, Вовча, Великий Бурлук мають річний водний стік, достатній для встановлення малих ГЕС. Однак гідроенергетичний потенціал річок та можливості його використання залежать не лише від значень витрат води. Не менш важливими є параметри сезонного коливання стоку, падіння річки (водного напору), інші природні, соціальні, економічні та екологічні обмеження місцевості.

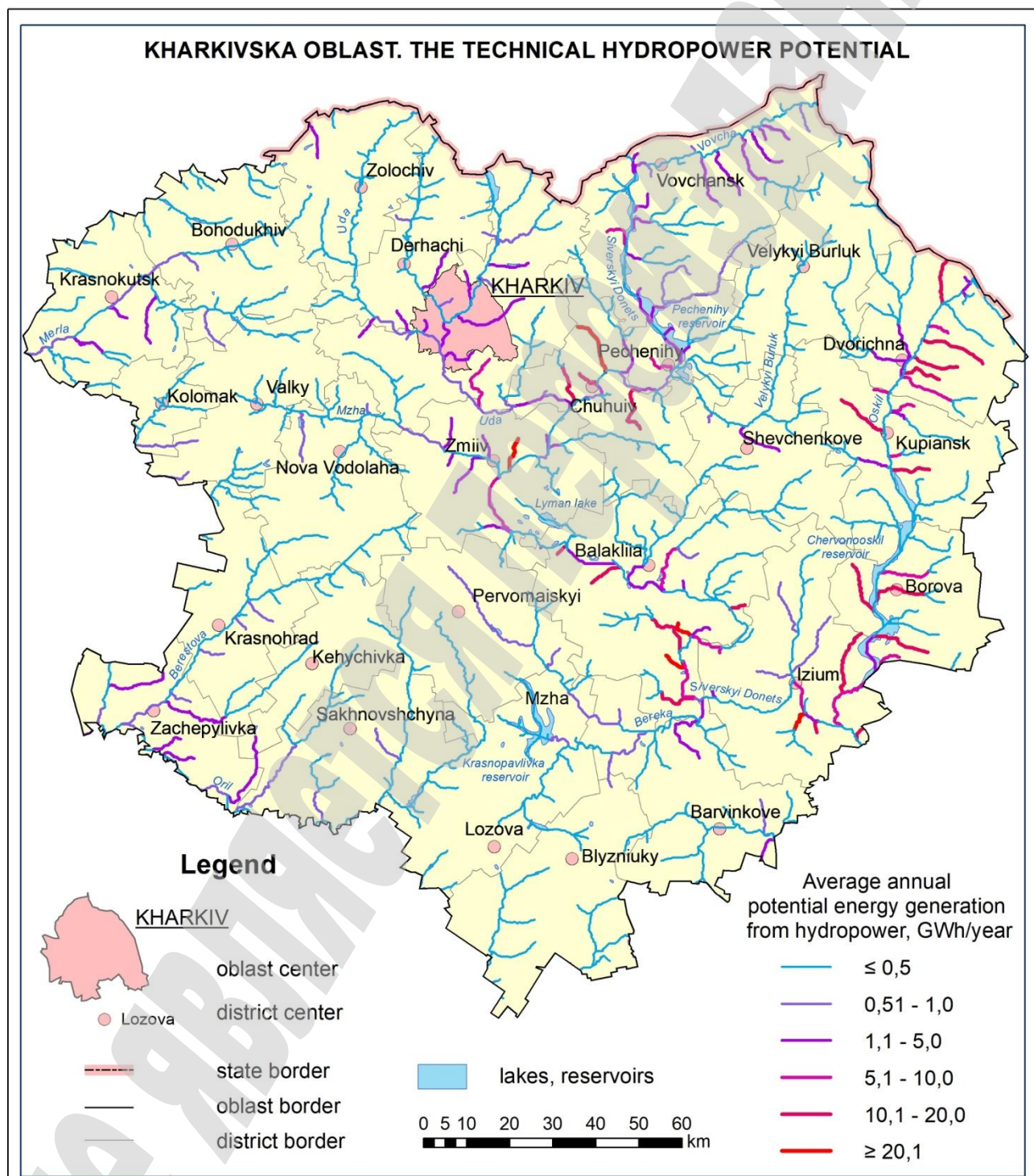


Рис. 5. Технічний енергетичний потенціал річок Харківської області

За обсягами технічного потенціалу перспективними для розташування створів ГЕС в межах території дослідження є:

- ділянки річки Сіверський Донець – північніше м. Балаклія та у південній частині Балаклійського району;
- річки Уда – західніше м. Чугуєва;
- річки Берестова – в районі Зачепилівки;
- річки Мож (Мжа) – на захід від м. Зміїв;
- річки Мерла – вище та нижче за течією від Краснокутська.

Достатнім гідроенергетичним потенціалом характеризується також р. Оскіл, але потенціал цієї річки майже повністю використовується Червоноо-скільською ГЕС. Перспективною є електрифікація греблі Печенізького водосховища, розташованого на р. Сіверський Донець у районі селища Печеніги.

Однак, основні потенційні ділянки розташування малих ГЕС зосереджені у центральній, найбільш густонаселеній частині області. З одного боку, близькість розташування ГЕС до споживача є позитивним моментом, а з іншого – населені пункти створюють додаткові обмеження при будівництві водосховищ. Крім того, реалізація проектів будівництва ГЕС на означених ділянках може обмежуватися наявністю об'єктів природно-заповідного фонду та геологічними умовами, що потребує додаткових досліджень на локальному рівні.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. До сильних сторін дослідження відносяться:

1. Наявна чітка державна політика, нормативно-правова база, що забезпечує стимулювання розвитку альтернативної енергетики (feed-in tariffs, механізми підключення об'єктів галузі до об'єднаної енергосистеми, податкові пільги для теплогенеруючих та когенераційних установок).

2. Усі національні стратегії, плани, дорожні карти, концепції розвитку, що стосуються паливно-енергетичного комплексу, передбачають збільшення частки використання відновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі.

3. Просторовий підхід, що передбачає аналіз розподілу енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії у поєднанні з іншими соціально-економічними факторами, дозволяє обрати оптимальні регіони розвитку окремих напрямків галузі. На етапі розробки стратегії розвитку певної території він допомагає визначити види ресурсів, які характеризуються найвищим потенціалом. Представлення результатів оцінки потенціалу відновлюваних джерел енергії у картографічному вигляді є найбільш наочним та доступним для сприйняття.

Weaknesses. До слабких сторін дослідження відносяться:

1. Недостатня кількість ресурсів та інвестицій для нарощування виробничих потужностей альтернативної енергетики в Україні.

2. Враховуючи політичний аспект та високу залежність енергетичного сектору держави від поставок природного газу, в останні два роки акценти національної політики дещо зміщені на політику нарощування вітчизняного газодобутку (Концепція розвитку газодобувної галузі України). При цьому розвитку альтернативної енергетики не приділяється достатньо уваги.

3. У цілому, інформаційне забезпечення альтернативної енергетики в Україні відстає від рівня зарубіжних країн. Комплексні дослідження потенціалу відновлюваних джерел енергії на регіональному та субрегіональному рівнях для всіх областей країни не проводилися.

Opportunities. До перспектив дослідження відносяться:

1. Набуття промислового значення нових видів ресурсів, створення нових технологій та обладнання може в перспективі забезпечити як розвиток паливно-енергетичного комплексу, так і супутніх виробництв.

2. Широкі можливості геоінформаційних технологій обумовлюють популярність та поширення різноманітних програмних додатків та спеціалізованих геоінформаційних систем, що дозволяють оперативно проводити оцінку, моделювання та візуалізацію енергетичних показників відновлюваних енергетичних ресурсів. Вони також враховують місцеві фактори, що впливають на можливість використання альтернативних енергетичних ресурсів.

3. Доцільним є створення в мережі Інтернет картографічних веб-сервісів, веб-атласів та веб-ГІС, у яких інформація про альтернативні енергетичні ресурси представлена у вигляді інтерактивних картографічних шарів даних. Такі ресурси сприяють популяризації альтернативної енергетики серед широких верств населення та залученню інвестицій у галузь.

Threats. До загроз дослідження відносяться:

1. Низькі темпи розвитку альтернативної енергетики, що може спричинити у певний час енергетичну кризу та підвищення залежності від імпорту енергоносіїв.

2. Без впровадження необхідних запобіжних заходів використання кожної з галузей альтернативної енергетики може мати негативні наслідки для довкілля. Так, шумове забруднення та загибель птахів є негативними сторонами розвитку вітроенергетики, зміна річкових екосистем і загибель іхтіофауни – малої гідроенергетики, деградація ґрунтів – геліоенергетики і т. д.

8. Висновки

1. Представлені карти вітрової, сонячної, геотермальної енергетики та малої гідроенергетики дають уявлення про потенціал розвитку альтернативної енергетики у Харківській області. Місцеві органи влади можуть застосовувати наведені картографічні дані при укладанні стратегій та планів соціально-економічного розвитку, а зацікавлені інвестори – при виборі району будівництва та виду енергетичного ресурсу. У перспективі доцільно провести аналогічні дослідження потенціалу відновлюваних джерел енергії для всіх областей України та створити єдиний електронний картографічний веб-сервіс, який би поєднував та надавав у відкритому доступі всю необхідну інформацію.

2. Визначено оптимальні райони будівництва об'єктів альтернативної енергетики на території Харківської області. Так, розташування:

– вітроелектростанцій рекомендується у Вовчанському, Харківському, Великобурлуцькому районах;

– сонячних електростанцій – у Близнюківському, Первомайському, Балаклійському, Ізюмському, Лозівському та Борівському районах;

– геотермальних електростанцій – на півдні Барвінківського і Близнюківського, південному сході Ізюмського, Борівського та Лозівського районів.

Перспективними для розташування створів малих гідроелектростанцій у межах території дослідження є ділянки річок Сіверський Донець, Уда, Берестова, Мож, Мерла.

3. Доведено, що застосування картографічного підходу дозволяє визначити оптимальні місця розташування об'єктів альтернативної енергетики з урахуванням цілої низки факторів. Розглянуто соціальні, технічні, економічні та екологічні фактори, які чинять вплив на вибір місця розташування енергетичних об'єктів, як-то:

- відстань до потенційного споживача;
- особливості підключення до об'єднаної електромережі;
- можливий вплив на навколишнє середовище та життєдіяльність людини.

Сформовано відповідні рекомендації щодо розміщення об'єктів вітрової, сонячної, геотермальної енергетики та малої гідроенергетики на регіональному рівні.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. URL: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf>

2. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 902-2014-р від 01.10.2014. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-p>

3. Про електроенергетику: Закон України № 575/97-ВР від 11.06.2017. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575/97-вр>

4. Про альтернативні джерела енергії: Закон України № 555-IV. від 11.06.2017. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15>

5. Trypolska G. An assessment of the optimal level of feed-in tariffs in Ukraine // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2014. Vol. 7. P. 178–186. doi: <http://doi.org/10.1016/j.seta.2014.06.002>

6. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва для суб'єктів господарювання: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 1122 від 28.09.2018. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=34882>

7. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: розпорядження Кабінету Міністрів України № 605-р від 18.08.2017. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>

8. Агапова О. Л. Картографування для потреб альтернативної енергетики в Україні: дис. ... канд. геогр. наук.: 11.00.12. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. 230 с.

9. Kurbatova T., Sotnyk I., Khlyar H. Economical mechanisms for renewable energy stimulation in Ukraine // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 31. P. 486–491. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.004>

10. Assessment Usage Energetic Potential From Renewable Sources / Folvarčný A. et. al. // 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering. Venice, 2012. P. 479–484. doi: <http://doi.org/10.1109/eeeic.2012.6221425>
11. Ioelovich M. Energetic Potential of Plant Biomass and Its Use // International Journal of Renewable and Sustainable Energy. 2013. Vol. 2, Issue 2. P. 26–29. doi: <http://doi.org/10.11648/j.ijrse.20130202.11>
12. Omer A. M. Renewable energy technologies and sustainable development // African Journal of Engineering Research. 2013. Vol. 1, Issue 4. P. 102–116.
13. Rosen M. Energy Sustainability: A Pragmatic Approach and Illustrations // Sustainability. 2009. Vol. 1, Issue 1. P. 55–80. doi: <http://doi.org/10.3390/su1010055>
14. Dincer I. Renewable energy and sustainable development: a crucial review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2000. Vol. 4, Issue 2. P. 157–175. doi: [http://doi.org/10.1016/s1364-0321\(99\)00011-8](http://doi.org/10.1016/s1364-0321(99)00011-8)
15. Vera I., Langlois L. Energy indicators for sustainable development // Energy. 2007. Vol. 32, Issue 6. P. 875–882. doi: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2006.08.006>
16. Lund H. Renewable energy strategies for sustainable development // Energy. 2007. Vol. 32, Issue 6. P. 912–919. doi: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.017>
17. GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues / Resch B. et. al. // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2014. Vol. 3, Issue 2. P. 662–692. doi: <http://doi.org/10.3390/ijgi3020662>
18. Адаменко Я. О. Обґрунтування найкращих технологій використання вітрової енергії, доступних для впровадження у Карпатському регіоні // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2016. Вип. 1. С. 149–157.
19. Импульсный инфразвуковой сигнал, производимый ветроэнергетической установкой. Принципы оценки / Афанасьева Н. А. и т. д. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 6/10 (72). С. 13–19. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30979>
20. Evaluation of Potential Hydropower Sites Throughout the United States / Carroll G. et. al. // 2004 ESRI User Conference. San Diego, 2004. 12 p. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.595.9958&rep=rep1&type=pdf>
21. Ruedas F. B., Camacho C. A., Rios-Marcuello S. Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy Resource. Chapter 4. INTECH Open Access Publisher, 2011. P. 97–114. doi: <http://doi.org/10.5772/20669>
22. Величко С. А. Природно-ресурсне забезпечення гібридних геліо-вітроенергетичних систем (в межах рівнинної території України): дис. ... канд. геогр. наук.: 11.00.11. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2006. 296 с.
23. Stefula D. M. NASA Collaboration Benefits International Priorities of Energy Management. 2007. URL: https://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_RETscreen.html
24. Thermo GIS GEOELEC. URL: <http://www.thermogis.nl/>
25. A Protocol for Estimating and Mapping the Global EGS Potential / Beardsmore G. et. al. // Geothermal Resources Council Transactions. 2010. Vol. 34. P. 301–312.

26. Агапова О. Л. Картографічне моделювання гідроенергетичного потенціалу малих річок Харківської області з використанням ГІС-технологій // Проблеми безперервної географічної освіти та картографії. 2016. Вип. 23. С. 3–10.

27. Разработка методологического обеспечения процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем / Баденко Н. В. и т. д. // Инженерно-строительный журнал. 2013. Вып. 6. С. 62–76.

28. Нефедова Л. В. Разработка блока ресурсов малой гидроэнергетики при подготовке ГИС «Возобновляемые источники энергии России» // Физические проблемы экологии (экологическая физика). 2012. Вып. 18. С. 247–260.

29. Молодан Я. Є. Конструктивно-географічний підхід до аналізу просторових закономірностей розміщення об'єктів вітроенергетики // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2013. Вип. 8 (1054). С. 138–144.

30. Останчук О. Н., Стеценко В. Ю., Пятыйкин Г. Г. Использование петрогеотермальной энергии Земли // Проблеми екології. 2008. № 1. С. 35–42.

31. Яцик А. В., Бишовець Л. В., Богатов Є. О. Малі річки України: Довідник. К.: Урожай, 1991. 296 с.

32. Мороз А. В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України: дис. ... канд. техн. наук.: 05.14.08. К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2015. 227 с.