

УДК 621.548

DOI <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.3.17>

Віталій Зацерковний

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геоінформатики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
vitalii.zatserkovnyi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5187-6125>

Олексій Бондаренко

аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка
oleksii.bondarenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0215-5607>

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АЛЬТЕРНАТИВНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Анотація. Розвиток сучасної світової економіки невід’ємно пов’язаний зі зростанням потреб в енергії та відповідно зі зростанням темпів її виробництва, тому проблема забезпечення енергією для багатьох країн світу вже сьогодні стає першочерговою. Це спричинено багатьма такими чинниками: загальним збільшенням світового товаровиробництва, розвитком транспорту та телекомунікацій, розробкою віддалених родовищ корисних копалин, утилізацією відходів, зростанням споживання енергії у побуті (опалення, освітлення, живлення побутової техніки), технічним переозброєнням армій, промисловості, сільського господарства тощо. Запаси викопних паливних ресурсів, які використовуються для генерування енергії, є вичерпними, і з кожним роком їх стає все менше. Унаслідок цього виникає потреба їх заміни на альтернативні джерела шляхом використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Доцільність використання таких видів джерел визначається також їх перевагою в екологічному плані шляхом зменшення забруднення навколишнього середовища, тому дослідження відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, є важливим науково-прикладним завданням.

Ключові слова: геоінформаційні системи (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), картографування, геоінформаційне моделювання, відновлювана енергетика, карта.

Zatserkovnyi Vitalii, Bondarenko Oleksii. APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN ALTERNATIVE ENERGY

Abstract. The development of the modern world economy is inextricably linked to the growth of energy needs and, accordingly, to the growth of its production rates. Therefore, the problem of providing energy for many countries of the world is becoming the number one problem today. This is caused by many factors: the general increase in world production, the development of transport and telecommunications, the development of remote mineral deposits, waste disposal, the growth of energy consumption in everyday life (heating, lighting, powering household appliances), the technical rearmament of armies, industry, agriculture, etc. Stocks of fossil fuel resources, which are used to generate energy, are exhaustive and every year they are getting smaller. As a result, there is a problem of replacing them with alternative sources, through the use of non-traditional and renewable energy sources (RES). The expediency of using these types of sources is also determined by their advantage in the environmental issue, by reducing environmental pollution. Therefore, the study of renewable energy sources in general, and solar energy in particular, is an important scientific and applied task.

The GIS database for the needs of non-conventional and renewable energy sources is filled with data from various information sources and includes sets of spatial and attributive data, which in turn form thematic cartographic layers, on the basis of which, in turn, individual maps of non-conventional and renewable energy sources of various types are compiled functional orientation and cover their various directions. The work described the location, natural zone, soil cover of the study area, and also graphically displayed the natural potential of solar energy of Chernihiv district of Chernihiv region by conducting geospatial analysis and building interpolation.

Key words: geoinformation systems (GIS), geoinformation technologies (GIT), mapping, geoinformation modeling, renewable energy, map.

Актуальність теми дослідження. Стрімке зростання населення Землі, поява нових інженерних та комунікаційно-виробничих технологій і сервісів спричинюють зростання енергоспоживання, попри те, що вони стають все більш енергоефективними та заощадливими. Вра-

ховуючи темпи зростання людської чисельності Землі, можна впевнено зробити висновок, що при постійному збільшенні населення планети кількісні та якісні характеристики енергетичних ресурсів будуть все більше обмежуватися й уже найближчим часом їх буде недостатньо для задоволення всіх потреб людства. Отже, проблема вичерпності природних ресурсів із кожним роком стає все більш актуальною.

Україна споживає у своєму загальному енергетичному балансі понад 60% імпортованих енергоресурсів і є однією з найбільш енергозалежних країн Європи. Причина цього криється не тільки у відсутності енергоресурсів, а й у неефективному їх використанні, що загрожує як національним інтересам, так і національній безпеці країни. Отже, актуальною проблемою, яка постала перед Україною наразі, є енергетична проблема, вирішення якої можливе за рахунок впровадження відновлювальних (альтернативних) джерел енергії.

Мета дослідження – вивчення застосування геоінформаційних технологій (ГІТ) під час прийняття рішень стосовно розміщення потенційних об'єктів відновлювальних джерел енергії на прикладі геліоенергетики.

Методи та матеріали дослідження. Теоретичним підґрунтям роботи слугує системний підхід, аналіз та синтез для визначення основних видів альтернативних джерел енергії; абстрактно-логічні методи для теоретичного узагальнення та формування висновків стосовно вихідної інформації; картографічні методи для створення картографічних матеріалів. Використані матеріали з відкритих джерел.

Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Швидкий розвиток промисловості, сільського господарства, підвищення рівня життя людини та урбанізація зумовлюють потребу в більшій кількості енергії [5]. За підрахунками вчених, очікується, що до 2040 р. потреба в енергопостачанні зросте на 1,2%. А досягти цього тільки традиційними викопними джерелами палива вже неможливо [4].

Крім того, викопне паливо як джерело основної енергії у світі, спричиняє безпрецедентне забруднення навколишнього природного середовища через викиди парникових газів в атмосферу (NO_x , SO_2 , CO_2), ртуті, поліциклічних вуглеводних та низки інших летючих речовин, що викликають глобальне потепління, призводять до кліматичних змін, негативно впливають на здоров'я людей. Особливо це актуально для української економіки, яка за даними експертів Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) є однією з найбільш енергоємних у світі: на виробництво одиниці ВВП витрачається в 3–5 разів більше енергії, ніж у країнах Східної Європи [2].

Враховуючи наведене, можна констатувати, що викопне паливо створює серйозну загрозу життю та навколишньому середовищу на Землі. Крім того, з кожним роком цього палива стає все менше, воно дорожчає, все складніше його добувати, тому виникає потреба вжиття необхідних заходів. Зокрема, необхідно використовувати різні відновлювальні (альтернативні) джерела енергії (водні й сонячні, вітрові, біомаси, геотермальні, водневі тощо).

Основні переваги використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в Україні:

- поступова відмова від імпорту традиційних енергоносіїв;
- здобуття енергетичної незалежності як на рівні держави, так і на рівні громади;
- зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

В Україні тенденцію розвитку та поширення відновлювальних джерел енергії передбачено чинними та розроблюваними директивними документами щодо розвитку енергетики.

Застосування технологій ГІС та ДЗЗ дає змогу не тільки інтегрувати й у зручній формі візуалізувати результати проведення вишукувальних робіт з оцінки ресурсного потенціалу ВДЕ, а й ефективно розв'язувати задачі просторової оптимізації розміщення джерел відновлювальної енергії на певних територіях, ухвалювати стратегічні рішення, спрощувати та здешевлювати процеси реалізації проєктів у галузі відновлювальної енергетики.

Крім того, ГІС надають користувачу такі переваги:

- отримання даних у зручній (заданій) формі, у тому числі у вигляді електронних карт, діаграм, таблиць, графіків;
- проведення вибірки, перетворення та аналізу великих масивів даних;
- інструментарій розрахунку та візуалізації результатів у картографічному вигляді;
- використання інструментів, що дають змогу на основі вихідних даних (фізико-географічних, екологічних та соціально-економічних) виявляти території, які можуть бути придатними для використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Проекти з розробки відновлюваних джерел енергії, що використовують ГІТ, широко поширені в усьому світі. Успішний досвід використання ГІТ у галузі відновлюваної енергетики вже представлений у працях зарубіжних фахівців-енергетиків (США, Канада, Нідерланди, Німеччина тощо).

Картографічне забезпечення відновлювальної енергетики має низку особливостей, не притаманних традиційним (усталеним) напрямом тематичного картографування, як-от: просторово-часова темпоральність об'єктів картографування як їх онтологічна сутність; стохастичність окремих видів відновлюваних енергетичних ресурсів (ВЕР); нестача у натурних спостереженнях значної частки вихідних характеристик об'єктів картографування й потреба їх розрахунку із застосуванням математичних і математико-картографічних методів, а також аналізу ГІС [3].

Сучасний розвиток ГІТ іде шляхом реалізації складних алгоритмів просторового аналізу на основі геоданих, розробки автоматизованих алгоритмів математико-картографічного моделювання та вирішення прикладних аналітичних задач [1].

Ця тенденція значною мірою проявляється у картографуванні для потреб нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії (НВДЕ). Необхідність розв'язання різнопланових задач, пов'язаних як із геообробкою первинних даних про НВДЕ (зокрема, проведення інтерполяції показників геліо-, вітро-, геотермальних ресурсів, моделювання річкової мережі та параметрів річкового стоку тощо), так і з подальшим проведенням комплексного просторового аналізу умов та факторів території для ухвалення управлінських, стратегічних та оперативних рішень у сфері НВДЕ, робить ГІС незамінним інструментом створення картографічних моделей різної складності у процесі картографічного забезпечення галузі.

В Україні практичні розробки з картографування НВДЕ представлені як у працях низки організацій (Інституту відновлюваної енергетики НАН України, Інституту географії НАН України, Інституту геофізики НАН України), так і в дослідженнях окремих науковців.

Картографічні твори для потреб НВДЕ мають важливе практичне значення, характеризуються широкими можливостями використання в різних сферах людської діяльності та здатні виконувати різні функції.

ГІС для потреб відновлювальних джерел енергетики наповнюється даними з різних інформаційних джерел та включає набори просторових та атрибутивних даних, які формують тематичні картографічні шари, на основі яких укладаються окремі карти НВДЕ різної функціональної спрямованості – інвентаризаційні, оцінювальні, рекомендаційні, прогнозні, що відображають різні аспекти (ресурси, об'єкти, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі) та охоплюють різні напрямки НВДЕ (вітроенергетику, геліоенергетику, біоенергетику, гідроенергетику та геотермальну енергетику).

Таким чином, основним завданням геоінформаційного моделювання для потреб НВДЕ є забезпечення просторово-координованою інформацією про ресурсний потенціал, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі, що реалізується шляхом розробки картографічних творів різного типу (окремі карти, серії карт, атласи, ГІС, вебатласи та веб-ГІС), територіального охоплення (від карт світу до карт окремих енергетичних об'єктів) та функціонального призначення [2].

Об'єктом дослідження цієї роботи є територія Чернігівського району Чернігівської області (рис. 1). Ця територія належить до зони Лівобережного Полісся, що характеризується низовин-

ним рельєфом, широкими заболоченими річковими долинами, високим рівнем підґрунтових вод, помірно континентальним кліматом із досить теплим і вологим літом та порівняно м'якою хмарною зимою.

Середні температури найбільш холодного місяця – січня – змінюються від $-4,5$ – 5°C до -7 – 8°C . Середні температури найтеплішого місяця – липня – коливаються від $+17$ до $+19^{\circ}\text{C}$. Тривалість періоду з середньодобовими температурами вище 0°C – 240–260 днів.

Веgetаційний період триває від другої декади квітня до третьої декади жовтня. Середні дати весняних приморозків на ґрунті – 5–15 травня, а найпізніше вони бувають у першій половині червня. Осінні приморозки починаються в кінці вересня – на початку жовтня.

Територія дослідження характеризується достатньою зволоженістю. Більшість опадів припадає на теплий період року (квітень – жовтень). Максимальна кількість – у червні та липні, коли бувають рясні дощі, а в окремі дні зливи.

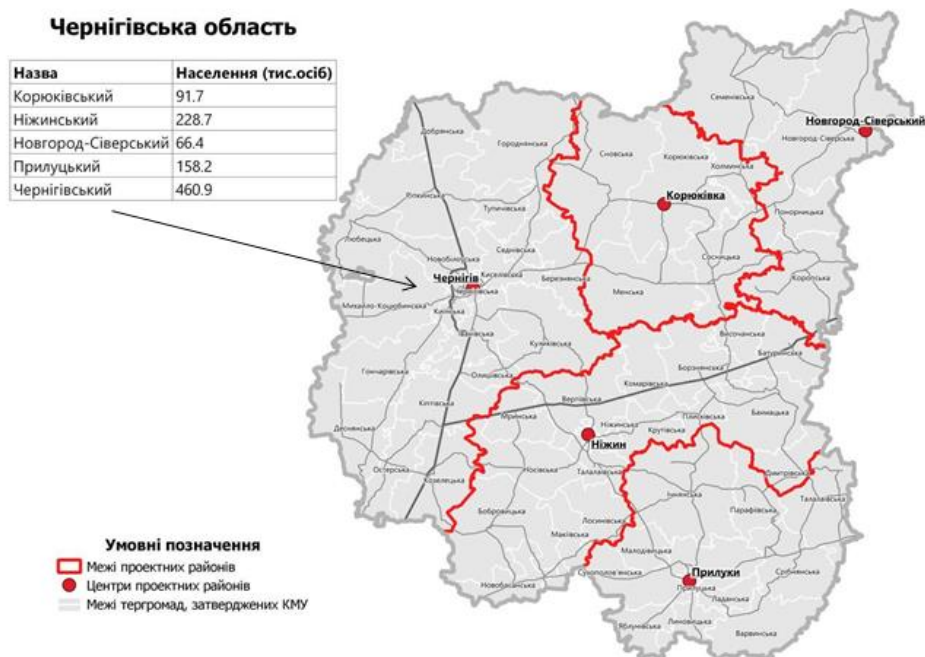


Рис. 1. Місце розташування території дослідження

Джерело: Build Portal: Головний будівельний портал України

Сталий сніговий покрив найчастіше встановлюється у другій декаді грудня й тримається 90–100 днів. Середня глибина промерзання ґрунту дорівнює 40–50 см, що залежить не тільки від температури та товщини снігового покриву, а й від характеру ґрунту.

Зволоженість території визначається не тільки кількістю опадів. Значною мірою вона залежить від величини випаровування. Оскільки кількість опадів перевищує природне випаровування, то територія дослідження має позитивний баланс вологи. Проте тут також наявні періодичні ґрунтові посухи, зумовлені властивостями піщаних ґрунтів, які погано затримують вологу й не нагромаджують її. Саме тому меліоративні роботи на території дослідження спрямовані не лише на осушення, а й на зволоження.

Загалом кліматичні умови цієї території сприятливі для господарської діяльності людини, зокрема для сільського господарства. Тут наявна річкова сітка, багато боліт, великі запаси підземних вод.

ґрунти Лівобережного Полісся сформувалися переважно на безкарбонатних піщаних і супіщаних відкладах легкого механічного складу в умовах значного зволоження під мішаними лісами з густим трав'янистим покривом. У таких умовах з'явилися дерново-підзолисті ґрунти

різного механічного складу, ступеня оглеєності та підзолистості, а також болотні ґрунти. На лесовидних відкладах зустрічаються сірі, ясно- та темно-сірі лісові ґрунти.

На території дослідження поширеними є такі ґрунти: ясно-сірі та сірі легкосуглинкові опідзолені, лучні глейові легкосуглинкові, ясно-сірі та сірі опідзолені глейові легкосуглинкові на лесових породах.

У зв'язку з геологічною будовою, рельєфом, кліматичними умовами та значною лісистістю територія поблизу села визначається значною заболоченістю. Болота, які особливо поширені в заплавах Десни та її притоках, вкриті трав'яною рослинністю й належать до низовинного типу.

Для стабільного водозабезпечення, яке має сезонне коливання, побудовані штучні водоймища (ставки, копанки), які використовуються переважно для риборозведення, водогосподарських потреб, а також як протиерозійні та протипожежні водойми.

Дані щодо кількості сонячної радіації були отримані з системи NASA SSE (Surface Meteorology and Solar Energy) (рис. 2). На сьогодні вказане джерело є дуже використовуваним серед користувачів, тому що отримані дані мають глобальне територіальне охоплення й зачіпають тривалий часовий проміжок.

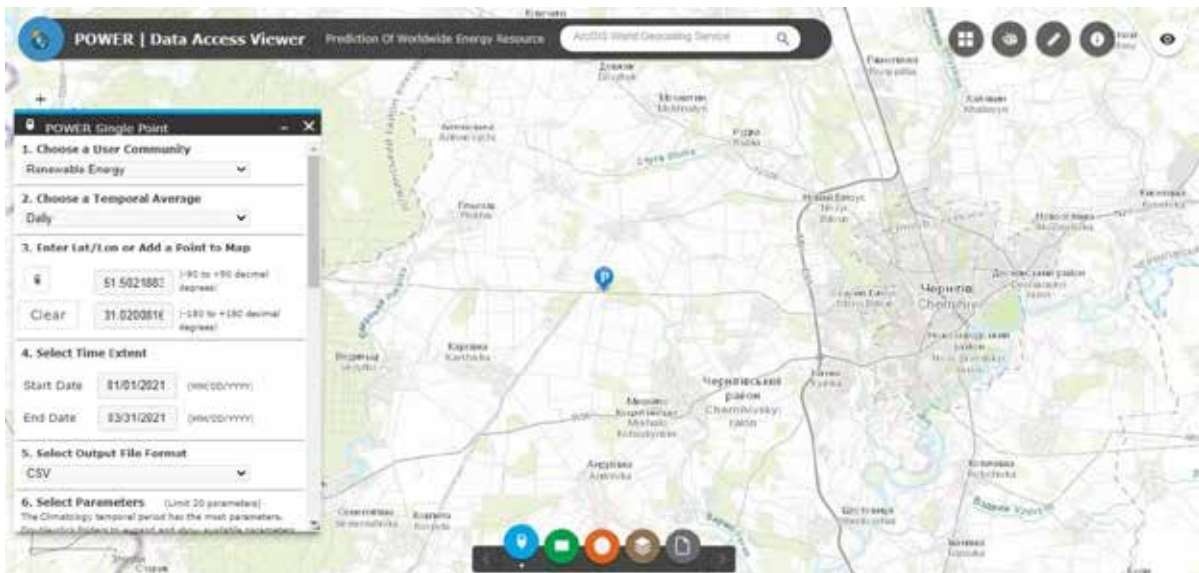


Рис. 2. Система NASA SSE

Джерело: The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set

Проект містить інформацію про поширення сонячного випромінювання в атмосфері з урахуванням стану хмарності, альbedo земної поверхні тощо. Ресурс міститься у відкритому доступі.

Дані були завантажені у табличному вигляді та імпортовані в атрибутивну таблицю.

Вихідними даними сонячної радіації слугували значення 70 точок, що покривають усю територію Чернігівського району Чернігівської області (рис. 3).

Для побудови картосхеми, що відображатиме кількість сонячної енергії, яка припадає на поверхню, необхідно скористатися методом інтерполяції інструменту Spatial Analyst, застосовуючи програмне забезпечення ArcMap 10.5.

Передусім буде використано геостатистичний метод інтерполяції – кригінг (рис. 4).

Геостатистичні методи ґрунтуються на статистичних моделях, що включають аналіз автокореляції (статистичних відносин між вимірними точками). У результаті цього геостатистичні методи не тільки мають можливість створювати поверхню прогнозованих значень, а також надають деякі вимірювання достовірності або точності прогнозованих значень.

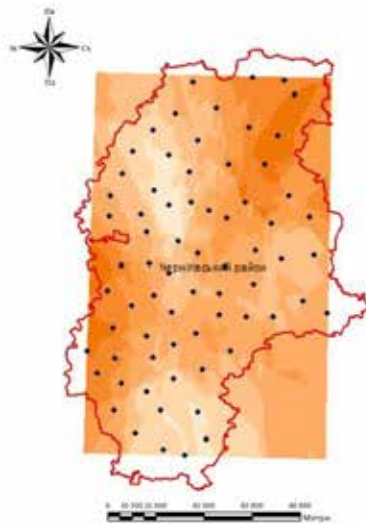


Умовні позначення:


 Межі території досліджень


 Розподіл точок

Рис. 3. Поверхневий розподіл точок сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню



Умовні позначення:

 Межі території досліджень

 Розподіл точок

Значення сонячної радіації, кВт/м²

	4,12 – 4,54		5,80 – 6,20
	4,55 – 4,95		6,21 – 6,62
	4,96 – 5,37		6,63 – 7,03
	5,38 – 5,79		

Рис. 4. Природний потенціал сонячної енергії території Чернігівського району Чернігівської області методом кригінгу. Середньомісячна сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню (кВт/м²/день)

Детерміновані методи інтерполяції присвоюють значення місцю розташування на основі вимірних значень, що потрапляють в околиці інтерпольованої точки, й на заданих математичних формулах, які визначають згладженість результуючої поверхні. Результати застосування детермінованого методу інтерполяції – природної околиці – наведені на рис. 5. Таким чином, за допомогою просторового аналізу можна виявити потенціал розміщення об’єктів відновлювальних джерел енергії. Отже, отримані картосхеми можна використовувати для прийняття управлінських рішень стосовно розміщення об’єктів відновлювальних джерел енергії.

Так, можна стверджувати, що на північному сході Чернігівського району, де розташовані села Петрушин, Черниш, Седнів, Клочків, Снов’янка, доцільно проводити більш поглиблені дослідження, адже ця територія характеризується високим значенням рівня сонячної радіації, тому на ній можна розмістити певні сонячні електростанції, що забезпечать населені пункти електроенергією.

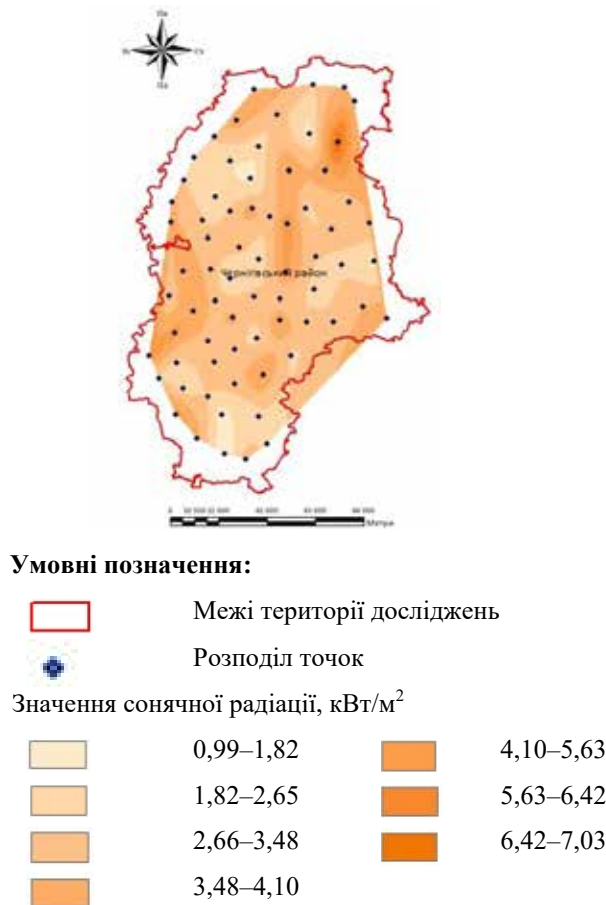


Рис. 5. Природний потенціал сонячної енергії території Чернігівського району Чернігівської області методом природної околиці. Середньомісячна сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню (кВт/м²/день)

За допомогою ГІТ можна також досліджувати й інші альтернативні джерела енергії (вітрові, гідроресурси). Побудова атласів потенціалу певного виду альтернативного джерела є тривіальною задачею для користувача ГІС.

Слід зазначити, що для більш обґрунтованого вибору території, придатної для розміщення певного обладнання, слід проводити оцінку попередньо обраних критеріїв, якими найчастіше є ухил та експозиція схилів земної поверхні, близькість до ліній електропередач (ЛЕП), підприємств, населених пунктів, дорожньої мережі, адже дуже круті схили не придатні для установки сонячних електростанцій.

Навколо ЛЕП, промислових підприємств та сільськогосподарських формувань, дорожньої мережі необхідно будувати буферні зони. Для аналізу цих критеріїв доречно застосовувати методи системного та геосистемного аналізу просторових даних.

Висновки. За результатами проведеного дослідження було визначено місце та роль геоінформаційних технологій у сфері застосування НВДЕ. Для розвитку альтернативної енергетики в Україні є джерела, технічні й технологічні напрацювання, підготовка відповідних кваліфікованих кадрів у системі вищої освіти. Справа залишається за наданням галузі ефективної державної підтримки, що дасть змогу залучити необхідні енергетичні інвестиції.

База даних ГІС для потреб НВДЕ наповнюється даними з різних інформаційних джерел та включає набори просторових та атрибутивних даних, які формують тематичні картографічні шари, на основі яких укладаються окремі карти НВДЕ різної функціональної спрямованості, що охоплюють різні напрями НВДЕ.

У роботі було описано місце розташування, природну зону, ґрунтовий покрив території дослідження, а також графічно відображено природний потенціал сонячної енергії Чернігівського району Чернігівської області шляхом проведення геопросторового аналізу та побудови інтерполяції.

Новизна дослідження полягає в комплексному підході до використання спеціальних алгоритмів та аналізу хмарних індикаторів на основі великого обсягу даних.

Список використаних джерел:

1. Бурачек В.Г., Желєзняк О.О., Зацерковний В.І. Геоінформаційний аналіз просторових даних. Ніжин : ТОВ Вид-во «Аспект Поліграф», 2011. 492 с.
2. Зацерковний В.І., Оберемок Н.В., Пузик А.А. Геоінформаційне моделювання в задачах відновлювальної енергетики. *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». 2018. № 9 (1285). С. 118–127.
3. Сінна О.І. Ландшафтно-екологічне картографування на основі геоінформаційних технологій (на прикладі Харківської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.12. Київ : Інститут географії НАН України, 2014. 265 с.
4. Yang Recent developments in pretreatment technologies on lignocellulosic biomass: effect of key parameters, technological improvements, and challenges / S.K. Bhatia, S.S. Jagtap, A.A. Bedekar, R.K. Bhatia, A.K. Patel, D. Pant, J.R. Banu, C.V. Rao, Y.-G. Kim, Y.-H. *Bioresource Technology*. 2020, 300. 48 s. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122724>.
5. Wind energy potential for the electricity production-Knjaževac Municipality case study (Serbia) / I. Potić, T. Joksimović, U. Milinčić, D. Kićović, M. Milinčić. *Energy Strategy Reviews*. 2021. 33. 13 s. DOI: 10.1016/j.esr.2020.100589.

References:

1. Burachek, V. G., Zheleznyak, O. O., & Zatserkovny, V. I. (2011). Geoinformational analysis of spatial data. Nizhyn: Aspect Polygraph Publishing House, 492. [In Ukrainian].
2. Zatserkovny, V. I., Oberemok, N. V., & Puzyk, A. A. (2018). Geoinformation modeling in the tasks of renewable energy. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, 9(1285), 118–127. [In Ukrainian].
3. Sinna, O. I. (2014). Landscape and ecological mapping based on geoinformation technologies (on the example of the Kharkiv region): dissertation. to obtain a scholarly stupa. Ph.D. geogr. sciences: 11.00.12. K.: Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, 265. [In Ukrainian].
4. Bhatia, S. K., Jagtap, S. S., Bedekar, A. A., Bhatia, R. K., Patel, A. K., Pant, D., Banu, J. R., Rao, C. V., Kim, Y.-G., & Yang, Y.-H. (2020). Recent developments in pretreatment technologies on lignocellulosic biomass: effect of key parameters, technological improvements, and challenges. *Bioresource Technology*, 300, 48. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122724>.
5. Potić I., Joksimović T., Milinčić U., Kićović D., Milinčić M. (2021). Wind energy potential for the electricity production-Knjaževac Municipality case study (Serbia). *Energy Strategy Reviews*, 33, 13. 10.1016/j.esr.2020.100589 [In Serbian].

Стаття надійшла до редколегії
15.03.2024 р.