

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-57-17>

УДК: 004.77

Фокін Андрій Ігорович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0004-3761-1064>

Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна

МЕТОД ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ЛАНДШАФТУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ОБ'ЄКТІВ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Фокін А.І. Метод дистанційного зондування потенціалу ландшафту для побудови об'єктів малої гідроенергетики на основі геопросторових даних. У статті досліджується стратегічне використання геопросторових даних у контексті розвитку малої гідроенергетики, зосереджуючись на інтеграції методів дистанційного зондування та запитів SPARQL. Зазначається, що геопросторові дані, що включають супутникові зображення, цифрові моделі рельєфу (ЦМР) і гідрологічні карти, відіграють ключову роль у визначенні оптимального розташування малих гідроелектростанцій уздовж річкових коридорів. Ці набори даних дають суттєве уявлення про характеристики рельєфу, морфологію річок, моделі землекористування та гідрологічну динаміку, полегшуючи точний вибір місця та оцінку ресурсів. Було наголошено, що методи дистанційного зондування дозволяють отримувати детальну просторову інформацію з широкої географічної області, пропонуючи цінні вхідні дані для оцінки потенційних об'єктів гідроенергетики. Супутникові зображення в поєднанні з ЦМР дозволяють точно відображати коливання висоти, межі вододілів і річкові мережі. Ці просторові дані допомагають визначити території зі сприятливими гідравлічними умовами та достатнім потоком води, що має вирішальне значення для оцінки здійсненності та енергетичного потенціалу проектів малої гідроенергетики. Паралельно запити SPARQL використовуються для отримання структурованих даних із наборів даних RDF (Resource Description Framework), що містять гідрологічну та географічну інформацію. Можливості семантичних запитів SPARQL дозволяють отримувати відповідні точки даних, такі як швидкість течії річок, дренажні зони та близькість до існуючої інфраструктури. Цей семантичний підхід підтримує процеси прийняття рішень, надаючи розуміння критеріїв придатності місця, отриманих як з даних дистанційного зондування, так і з гідрологічних вимірювань.

Ключові слова: геопросторові дані, дистанційне зондування, мала гідроенергетика, запити SPARQL, придатність місця, енергетичний потенціал.

Fokin A. A method of remote sensing of landscape potential for the construction of small hydropower facilities based on geospatial data Abstract. The paper explores the strategic use of geospatial data in the context of small hydropower development, focusing on the integration of remote sensing techniques and SPARQL queries. Geospatial data, including satellite images, digital terrain models (DRMs) and hydrological maps, are said to play a key role in determining the optimal location of small hydropower plants along river corridors. These data sets provide essential insights into topographic features, river morphology, land use patterns and hydrological dynamics, facilitating accurate site selection and resource assessment. It was emphasized that remote sensing techniques allow obtaining detailed spatial information over a wide geographic area, offering valuable input for evaluating potential hydropower facilities. Satellite images in combination with DEM allow accurate mapping of elevation fluctuations, watershed boundaries, and river networks. This spatial data helps identify areas with favorable hydraulic conditions and sufficient water flow, which is critical for assessing the feasibility and energy potential of small hydropower projects. In parallel, SPARQL queries are used to retrieve structured data from Resource Description Framework (RDF) datasets containing hydrological and geographic information. SPARQL's semantic query capabilities allow you to retrieve relevant data points such as river flow rates, drainage areas, and proximity to existing infrastructure. This semantic approach supports decision-making processes by providing an understanding of site suitability criteria derived from both remote sensing data and hydrological measurements.

Key words: geospatial data, remote sensing, small hydropower, SPARQL queries, site suitability, energy potential.

Постановка наукової проблеми. Гідроелектроенергія використовується протягом багатьох років і є одним із популярних і найбільших джерел відновлюваної енергії. Спосіб використання гідроелектроенергії в основному пов'язаний з енергією, що накопичується за дамбами. Однак озера, створені за дамбами, часто викликають зміну клімату, а іноді й соціальні наслідки для жителів прилеглих територій, але існує інший спосіб використання цієї енергії, тобто використання малих гідроелектростанцій, які використовуються для виробництва енергії течією річки.

Малі гідроелектростанції є основним глобальним потенціалом виробництва електроенергії з незначними екологічними проблемами. Ці гідроелектростанції розташовані на руслі річки, що тече з гірських висот до виходу з вододілу, який виробляє електроенергію, стримуючи стік річок. Оскільки малі гідроелектростанції постачають електроенергію з природних джерел, вони не забруднюють і не завдають шкоди навколишньому середовищу.

Сьогодні сучасне програмне забезпечення, такі як технології з використанням принципів дистанційного зондування та географічних інформаційних систем, використовується для пошуку територій поблизу річок, які мають більший потенціал, ніж інші частини вододілу, що збільшує потужність виробництва електроенергії шляхом розробки електроенергетичних проектів, оскільки

це важко робити використовуючи традиційні методи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науково-дослідницькому просторі сьогодення з'являються роботи, присвячені винаходу та аналізу методології по розробці методів та програмних засобів для ідентифікації моделей відновлювальної енергії у маломаштабних гідроенергетичних системах.

У роботі [1] досліджується гідроенергетичний потенціал вододілу Кхьяв-Чай в провінції Ардебіль, Іран, з використанням інструментів Географічної інформаційної системи (ГІС) для оцінки території. Використовуючи програмне забезпечення QGIS, дослідники моделюють потокові мережі та окреслюють межі вододілів. Такі методи, як відношення дренажу до площі і USDA-NRCS Curve Number (CN), використовуються для оцінки характеристик потоку, необхідних для визначення відповідних місць для малих гідроелектростанцій. Криві тривалості потоку і рейтингові криві від ступеня витoku використовуються для оцінки мінливості річкового потоку та встановлення взаємозв'язків, важливих для планування виробництва енергії. Дослідження висвітлює застосування ГІС у розвитку інфраструктури відновлюваної енергетики в гірських регіонах.

Робота [2] була сфокусована проведені дослідження, направлене на перевірку можливого впливу маломаштабних гідроелектростанцій на навколишнє середовище та життєздатність виробництва, задля визначення місць, які найбільше підходять для встановлення гідроелектростанцій. Було розроблено процес для визначення потенційних місць для встановлення гідроелектростанцій за допомогою геотехнологій, враховуючи морфометричний аналіз вододілу, отриманий за допомогою сценаріїв python, PLpgSQL і R. Цей процес дозволив генерувати множинні регресійні моделі для оцінок стоку, затоплених територій і оцінок гідроенергетичного потенціалу регіону. З 3899 проаналізованих точок 3477 точок продемонстрували потенціал для експлуатації річкових гідроелектростанцій (виробництво до 3 МВт), а 48 точок показали потенціал для малих гідроелектростанцій (МГЕС; виробництво від 3 МВт до 30 МВт). Обмежувальні фактори оцінювалися за допомогою інструменту геообробки перетину, де точки, які перетиналися з факторами, що виключають, такими як елементи навколишнього середовища чи інфраструктури, були виключені з аналізу. Крім того, було встановлено коефіцієнт ефективності для МГЕС шляхом співвіднесення потенційних і затоплених площ, демонстрації найкращих точок для впровадження МГЕС та врахування потенційного впливу водосховища.

Крім того, варто зазначити праці наступних науковців: Гузович З., Барбарич М., Медич З., Дегіулі Н. [3], Дхаубанжар С., Лутц А., Смоленарс Ст, Ханал С., Джаміль М., Біманс Х., Людвіг Ф., Шреста А., Іммерзил В.В. [4], Кобан Х., Саухац А. [5], Попа Ф., Попа Би., Молдовяну А., Тіка Е. [6], Чжан Ю., Ма Х., Чжао С. [7], Айік А., Іджумба Н., Кабірі К., Гоффін П. [8], Куаранта Е., Мунтян С. [9], Агарвал С.С., Кансал М.Л. [10], Коельо К., Коста М., Феррас Л. [11], Боларинва М., Адейємі А., Касім О. [12], Сакувогі А., Камара Е., Баррі С. [13], Ван К., Чжо С., Лі П., Чен Н., Ван Ст, Чен З. [14], Куморо Ю., Сусіловаті Ю., Ірасарі П., Хендріаван Нур Ст [15], Сібубеа Р., Пратна Р., Хапсарі А., Крісті Ю. [16], Секач Т., Яна С., Пал Д. [17] та інших.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Однак беручи до уваги результати аналізу останніх досліджень та публікацій, можна стверджувати, що питання розробки методів та програмних засобів для ідентифікації моделей відновлювальної енергії у маломаштабних гідроенергетичних системах, все ще залишається недостатньо дослідженим та потребує подальшого опрацювання. незважаючи на наявність значної кількості досліджень у сфері малої гідроенергетики, деякі аспекти залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, основною проблемою є розробка ефективних методологій та програмних засобів для ідентифікації локацій з потенціалом для встановлення малих гідроелектростанцій з мінімальним впливом на навколишнє середовище. Традиційні підходи часто не враховують усі параметри ландшафту, морфометрії річок, та екологічні особливості конкретної місцевості, що може призводити до неповного використання потенціалу гідроенергетики. Хоча геоінформаційні системи і дистанційне зондування вже застосовуються для аналізу річкових басейнів, ці методи потребують подальшого розвитку з точки зору автоматизації процесів обробки великих масивів геопросторових даних та точнішої інтеграції моделей оцінки екологічних та соціальних ризиків.

Також існує потреба у створенні більш точних алгоритмів прогнозування гідроенергетичного потенціалу малих річок з урахуванням довгострокових кліматичних змін. Поточні методи часто не враховують зміну об'єму річкового стоку протягом десятиліть під впливом змін клімату, що може суттєво вплинути на продуктивність гідроенергетичних об'єктів.

Окрім цього, недостатньо дослідженою є проблема інтеграції даних з різних джерел, таких як супутникові зображення, картографічні матеріали, кліматичні моделі та результати польових досліджень. Зокрема, відсутня універсальна система, яка б забезпечувала точне моделювання та прогнозування можливого впливу встановлення малої гідроелектростанції на навколишнє середовище, включаючи гідрологічні зміни, зміну рослинного покриву та можливі соціальні наслідки.

Ще однією важливою невирішеною частиною проблеми є питання розробки програмного забезпечення, яке б дозволило здійснювати інтеграцію енергетичних розрахунків з аналізом екологічних обмежень в режимі реального часу. Існуючі інструменти, такі як QGIS та інші ГІС-програми, ефективно використовуються для картографічного моделювання, але вони не завжди забезпечують необхідний рівень точності при моделюванні складних систем взаємодії річкових процесів та антропогенних чинників. Впровадження таких систем могло б суттєво підвищити ефективність планування та експлуатації малих гідроелектростанцій з урахуванням екологічних і соціальних параметрів.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методів та програмних засобів для ідентифікації моделей відновлювальної енергії у маломаштабних гідроенергетичних системах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективне використання геопросторових даних у сфері гідроенергетики передбачає стратегічне поєднання індексування даних, методів просторових запитів та оптимізації алгоритмів. Основні етапи цього процесу включають:

- представлення даних: геопросторові дані, що охоплюють точки, лінії, полігони або растрові сітки, мають бути відформатовані для ефективного зберігання та пошуку. Це гарантує, що даними, пов'язаними з малими гідроелектростанціями, стратегічно розташованими вздовж річкових потоків, можна ефективно керувати та мати доступ до них;

- індексування: структури просторового індексування часто використовуються для прискорення просторових запитів. Ці індекси впорядковують геометричні об'єкти в наборі даних, полегшуючи ефективний пошук на основі просторових зв'язків. Цей підхід підтримує ідентифікацію та управління оптимальними місцями для малих гідроелектростанцій;

- просторові запити: геопросторові запити охоплюють такі операції, як тестування точки в полігоні, пошук найближчих сусідів, запити діапазону та просторові об'єднання. Ці запити життєво важливі для оцінки придатності місць уздовж річкових шляхів для встановлення малих гідроелектростанцій.

Представлення геопросторових даних у контексті малих гідроелектростанцій зазвичай досягається за допомогою інтелектуального аналізу даних. Інтелектуальний аналіз геопросторових даних передбачає виявлення прихованих шаблонів у наборах даних, які мають просторово-часовий аспект. Простір гіпотез складається з простору ознак, який визначає ідентичність і значимість окремих геооб'єктів та їхніх зв'язків один з одним, і просторово-часового компонента, який визначає розташування, протяжність і близькість цих геооб'єктів. Цей підхід має вирішальне значення для визначення оптимальних місць уздовж річкових шляхів для встановлення малих гідроелектростанцій.

З методологічної точки зору можна виділити два основні підходи до інтелектуального аналізу геопросторових даних, зокрема в контексті визначення оптимальних місць розташування малих гідроелектростанцій: контрольована і неконтрольована абдукція знань.

Контрольована абдукція знань вимагає наявності фундаментальних знань, таких як ієрархія понять, які включають компоненти річкових об'єктів та їхні рівні абстракції, які вже відомі. Порядок обробки, незалежно від того, чи проводиться спочатку просторова абдукція, а потім абдукція на основі ознак чи навпаки, не впливає на ефективність обчислення.

Неконтрольована абдукція знань має важливе значення для визначення оптимальних місць без наявності гіпотез, та фундаментальних знань. Тому завдання викрадення знань полягає в тому, щоб вивести гіпотезу зі спостережень, яка найкраще пояснює результати, знаходячи найкращу можливу причину наслідку.

Метод дистанційного зондування для оцінки ландшафтного потенціалу при будівництві об'єктів малої гідроенергетики зосереджений на використанні геопросторових даних, зокрема отриманих із цифрових моделей рельєфу (DEM). Дані DEM, оброблені за допомогою інструментів ГІС, таких як QGIS, дозволяють детально відображати топографічні об'єкти, річкові мережі та суббасейни. Ці топографічні дані допомагають визначити основні маршрути течії та дренажні

мережі водозбору, що є важливим для оцінки потенційної енергії, яку може генерувати гідроелектростанція.

Одним із фундаментальних аспектів цього методу є розрахунок дебіту (стоку) річки. На територіях без прямих гідрологічних вимірювань швидкість течії можна оцінити, використовуючи співвідношення між площею дренажу та стоком у замірених місцях. Для невимірюваного вододілу A_u стік Q_u може бути розрахованим за допомогою:

$$Q_u = C \cdot A_u^\beta$$

де C – коефіцієнт, отриманий на основі вимірюваних площ, а β – емпірично визначений показник, що представляє зв'язок між площею та стоком.

У сценаріях, де доступні дві гідрометричні станції, можна використати альтернативну формулу для розрахунку витрати для ділянки річки між цими двома станціями. Припускається, що станція вгорі за течією розташована на S_1 , а станція вниз за течією на S_2 з дренажними зонами A_1 і A_2 та відповідними стоками Q_1 і Q_2 . Стік в проміжній точці вздовж річки S_x може бути розрахований за допомогою формули логарифмічної інтерполяції:

$$Q_x = Q_1 \cdot \left(\frac{A_x}{A_1}\right)^{\log(Q_2/Q_1)/\log(A_2/A_1)}$$

де A_x – площа дренажу в проміжній точці. Таким чином, точніше оцінюється динаміка стоку, особливо на незамірених ділянках річки.

Наступним кроком збору даних задля планування гідроелектростанції є визначення гідравлічного напору потоку та стокового потоку, які є необхідними для постачання гідроелектроенергії, яка отримується в кожній точці річки за допомогою цифрової карти рельєфу, приклад якої показано на рис. 1. Найважливішим фактором для гідравлічних напорів є рельєф вододілу та положення водозбору та турбіни.

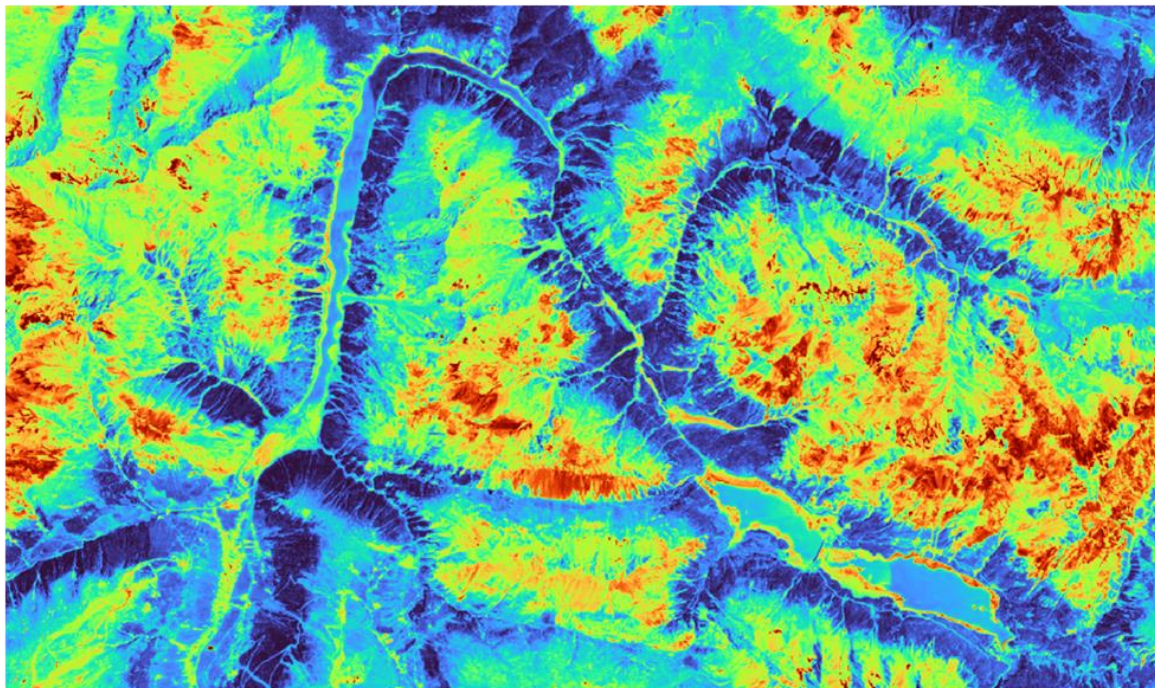


Рис. 1. Цифрова карта рельєфу, отримана завдяки програмному забезпеченню QGIS

Згідно з картою цифрової моделі рельєфу, скрізь, де різниця у висоті між двома точками є великою, величина гідравлічного напору є високою, отже, згідно з формулою Бернуллі, потенційна енергія перетворюється на кінетичну енергію. Точки записуються вздовж річки за допомогою GPS на визначеній відстані. Ці точки можна імпортувати в середовище ГІС за допомогою програмного забезпечення Map Source для створення шару точок. Висота кожної точки отримується за допомогою цифрової моделі рельєфу і інструменту просторового аналізу QGIS.

Використовуючи отримані дані з'являється можливість обчислення гідроенергетичного потенціалу:

$$p = \eta \rho g H Q$$

де p – гідроенергія, вироблена у ватах, η – ефективність турбіни та генератора, що становить від 1 до 100 у відсотках, ρ – щільність води, яка становить 1 кг/л, g – прискорення сили тяжіння = 9,81 м/с², Q – стік в м³/с і H – це гідравлічний напір, який є різницею між рівнем води вище за течією і рівнем води за течією від тягової труби.

Як правило, запити в області оцінки генераційного потенціалу малих гідроелектростанцій реалізуються за допомогою SPARQL. Основний принцип SPARQL полягає в порівнянні графіків із запиту із збереженими графіками. Більшість запитів SPARQL складаються з одного або кількох потрібних шаблонів, які разом називаються базовими шаблонами графіків. Потрійний шаблон структурований як стандартний потрібний, за винятком того, що підмет, предикат або об'єкт можна замінити змінними. Ці шаблони зіставляються з існуючими потрібними шаблонами для отримання відповідних ресурсів.

Після аналізу даних річкового стоку та визначення потенційних місць наступним кроком є використання цих спеціалізованих запитів для уточнення та перевірки процесу вибору. Наприклад, перевірка відстані між потенційними ділянками та існуючою інфраструктурою може оптимізувати доступність і зменшити витрати на будівництво. Перевірка того, що один багатокутник містить інший, може допомогти у визначенні відповідних місць розташування резервуарів без перекриття охоронюваних територій. Подібним чином визначення того, чи річковий шлях перетинає або торкається інших ліній (наприклад, доріг або ліній електропередач), допомагає при плануванні інтеграції нових гідроелектростанцій з існуючою мережею.

Типовий запит SPARQL (табл. 1) складається з двох основних частин.

Таблиця 1. Типовий запит SPARQL

```
PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX ex: <http://example.org/ontology/>
PREFIX unit: <http://example.org/unit/>
PREFIX hyd: <http://example.org/hydro/>

# Query to retrieve hydrological and hydraulic data
SELECT ?stationA ?stationB ?Q_a ?Q_b ?A_a ?A_b ?x_1 ?x_2 ?x_3
WHERE {
# Assuming stations and their properties are defined in the ontology
?stationA a hyd:HydrometricStation ;
hyd:specificDischarge ?Q_a ;
hyd:drainageArea ?A_a .

?stationB a hyd:HydrometricStation ;
hyd:specificDischarge ?Q_b ;
hyd:drainageArea ?A_b .

# Assuming the divisions and flows are linked to the stations
?division hyd:fromStation ?stationA ;
hyd:toStation ?stationB ;
hyd:upstreamFlow ?x_1 ;
hyd:downstreamFlow ?x_2 .

?divisionB hyd:fromStation ?stationB ;
hyd:toStation ?divisionC ;
hyd:upstreamFlow ?x_2 ;
hyd:downstreamFlow ?x_3 .

# Additional filters or conditions as per specific dataset
FILTER(?x_1 > ?x_2 && ?x_2 < ?x_3)
}
```

Розділ SELECT визначає змінні, які мають бути включені в результати запиту, тоді як розділ

WHERE містить потрібні шаблони, які використовуються для зіставлення даних у наборі даних RDF. Цей конкретний запит потребує двох збігів. Спочатку він шукає набори даних, які задовольняють перший потрібний шаблон. Згодом він визначає збіги для другого потрібного шаблону на основі початкових результатів. Коли запит виконується, він отримує дані, які відповідають заданим шаблонам і умовам, визначеним у реченні WHERE, що включає:

- ідентифікацію гідрометричних станцій (?stationA і ?stationB) і отримання їх властивостей, таких як питомий стік (?Q_a, ?Q_b) і площа водовідведення (?A_a, ?A_b);
- пошук розділів потоку (?division, ?divisionB) між станціями та фіксацію таких деталей, як потік у верхній течії (?x_1, ?x_2) і нижній течії (?x_2, ?x_3).

Отримані дані можна використовувати для моделювання гідрологічних процесів, імітації моделей течії та аналізу впливу різних факторів на потік води в річковому басейні з візуалізацією їх у вигляді карт, діаграм або звітів для ефективної передачі результатів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У підсумку, використання традиційних методів для розрахунку водного потенціалу річки є трудомістким і дорогим, а також не виключає допущення ймовірних помилок при визначенні потенційних місць. З цієї причини доречно використовувати програмне забезпечення на основі ГІС для розрахунку загального потенціалу для визначення відповідних місць для розрахунку потенціалу електростанції. Цей метод займає менше часу і дає кращі результати в порівнянні з традиційними методами. Його реалізація через використання програмного забезпечення QGIS виявляється ефективним рішенням, оскільки воно дає змогу аналізувати різні географічні умови річки та суббасейну на основі карти цифрової моделі рельєфу, моделюючи потоки, визначаючи основний річковий маршрут та окреслюючи дренажну мережу вододілу. Інтеграція методів дистанційного зондування у поєднанні із просторовими запитамі SPARQL представляє ефективний підхід до використання геопросторових даних для розвитку малої гідроенергетики. Методи дистанційного зондування, включаючи супутникові зображення та цифрові моделі рельєфу, забезпечують важливі вхідні дані для оцінки характеристик рельєфу, морфології річок і моделей землекористування.

Технологія SPARQL полегшує структурований запит до наборів даних RDF, що містять гідрологічну та географічну інформацію. Використовуючи можливості створення запитів SPARQL на основі графіків, можна ефективно отримувати й аналізувати відповідні точки даних, такі як швидкість течії річок, дренажні зони та профілі місцевості. Цей процес допомагає оцінити гідрологічний потенціал конкретних місць і перевірити критерії придатності місця, отримані з даних дистанційного зондування. Крім того, досягається спрощення етапів оцінки та планування проектів малої гідроенергетики, оскільки запропонований комбінований метод дає змогу приймати обґрунтовані рішення, поєднуючи просторово-деталізовані зображення з можливостями семантичних запитів.

Перспективи подальших досліджень у межах статті Фокіна А. І. полягають у подальшому вдосконаленні методів інтеграції геопросторових даних та семантичних технологій для розвитку малої гідроенергетики. Один із напрямів досліджень може включати розширення можливостей дистанційного зондування для отримання ще більш детальної інформації про ландшафт, зокрема впровадження нових методів аналізу супутникових зображень для підвищення точності визначення гідроенергетичного потенціалу регіону. Також перспективним є розвиток цифрових моделей рельєфу, зокрема вдосконалення алгоритмів, які дозволять точніше прогнозувати вплив гідроенергетичних об'єктів на екосистеми та соціальне середовище. Застосування запитів SPARQL у поєднанні з геопросторовими даними відкриває нові можливості для автоматизації та пришвидшення процесу збору інформації, тому важливим аспектом подальших досліджень є вдосконалення семантичного пошуку в системах управління геоданими. У майбутньому можлива інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу великої кількості даних і вдосконалення критеріїв вибору оптимальних локацій для малих гідроелектростанцій. Дослідження можуть бути спрямовані на розробку нових моделей прогнозування на основі аналізу змін клімату та гідрологічних умов для забезпечення стабільного функціонування гідроенергетичних об'єктів у довгостроковій перспективі. Іншим перспективним напрямом є дослідження методів поєднання отриманих результатів з дистанційного зондування з даними про соціальну інфраструктуру, що дозволить не лише враховувати технічні параметри локацій для малих гідроелектростанцій, а й оптимізувати їх розташування з огляду на економічну ефективність і мінімізацію соціальних ризиків. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на аналіз можливостей використання

низьковартісних сенсорних систем для локальних вимірювань параметрів водних ресурсів, що допоможе покращити оперативність збору даних і знизити витрати на попередні дослідження.

Список бібліографічного опису

1. Tian Y., Zhang F., Yuan Z., Che Z., Zafetti N. Assessment power generation potential of small hydropower plants using GIS software. *Energy Reports*. 2020. №6. P. 1393-1404. DOI:10.1016/j.egy.2020.05.023.
2. Wegner N., Mercante E., Mendes I., Ganascini D., Correa M., Maggi M., Vilas Boas M., Wrublack S., Siqueira J. Hydro energy potential considering environmental variables and water availability in Paraná Hydrographic Basin 3. *Journal of Hydrology*. 2020. 580:124183. DOI:10.1016/j.jhydrol.2019.124183.
3. Guzović Z., Barbarić M., Medić Z., Degiuli N. New Software for the Techno–Economic Analysis of Small Hydro Power Plants. *Water*. 2023. №15. 1651 p. DOI:10.3390/w15091651.
4. Dhaubanjhar S., Lutz A., Smolenaars W., Khanal S., Jamil M., Biemans H., Ludwig F., Shrestha A., Immerzeel W.W. Quantification of run-of-river hydropower potential in the Upper Indus basin under climate change. *Frontiers in Water*. 2023. №5. DOI:10.3389/frwa.2023.1256249.
5. Coban H., Sauhats A. Optimization tool for small hydropower plant resource planning and development: A case study. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*. 2022. №8. DOI:10.28979/jarnas.1083208.
6. Popa F., Popa B., Moldoveanu A., Tica E. Evaluation of an Existing Small Hydropower Plant With Vapidro-Aste Software. 2017. DOI:10.5593/sgem2017/42/S17.033.
7. Zhang Y., Ma H., Zhao S. Assessment of hydropower sustainability: Review and modeling. *J. Clean. Prod.* 2021. 321 p. 128898.
8. Ayik A., Ijumba N., Kabiri C., Goffin P. Preliminary assessment of small hydropower potential using the Soil and Water Assessment Tool model: A case study of Central Equatoria State, South Sudan. *Energy Rep.* 2023. №9. P. 2229–2246.
9. Quaranta E., Muntean S. Wasted and excess energy in the hydropower sector: A European assessment of tailrace hydrokinetic potential, degassing-methane capture and waste-heat recovery. *Appl. Energy*. 2023. 329p. 120213.
10. Agarwal S.S., Kansal M.L. Risk based initial cost assessment while planning a hydropower project. *Energy Strategy Rev.* 2020. №31. 100517.
11. Coelho C., Costa M., Ferrás L. The Influence of Neural Networks on Hydropower Plant Management in Agriculture: Addressing Challenges and Exploring Untapped Opportunities. 2023. DOI:10.48550/arXiv.2311.13293.
12. Bolarinwa M., Adeyemi A., Kassim O. Technoeconomic Analysis of Prototype Hydropower Plant Development in Nigeria. *European Journal of Engineering and Technology Research*. 2023. №8. P. 29-37. DOI:10.24018/ejeng.2023.8.3.2972.
13. Sakouvogui A., Camara E., Barry S. Assessment of the Hydroenergy Potential of the Gueeni Village Waterfall on the Kokoulo River in Pita, Guinea. *International Journal of Research and Review*. 2024. №11. P. 154-161. DOI:10.52403/ijrr.20240117.
14. Wang C., Zhuo X., Li P., Chen N., Wang W., Chen Z. An Ontology-Based Framework for Integrating Remote Sensing Imagery, Image Products, and In Situ Observations. *Journal of Sensors*. 2020. P. 1-12. DOI:10.1155/2020/6912820.
15. Kumoro Y., Susilowati Y., Irasari P., Hendriawan Nur W. Geological aspect analysis for micro hydro power plant site selection based on remote sensing data. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2022. №12. 2300. DOI:10.11591/ijece.v12i3.pp2300-2312.
16. Sibuea R., Pratna R., Hapsari A., Kristi Y. Satellite Remote Sensing Using Earth Observing System in Environmental Monitoring for Hydropower & Floating Photovoltaic Reservoir (Case Study: Algae Blooming on Cirata Reservoir, West Java-Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. 1009. 012001. DOI:10.1088/1755-1315/1009/1/012001.
17. Sekac T., Jana S., Pal D. Identifying potential sites for hydropower plant development in Busu catchment: Papua New Guinea. *Spatial Information Research*. 2017. №25. DOI:10.1007/s41324-017-0145-z.

References

1. Tian, Y., Zhang, F., Yuan, Z., Che, Z., & Zafetti, N. (2020). Assessment power generation potential of small hydropower plants using GIS software. *Energy Reports*, 6, 1393-1404. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.05.023>
2. Wegner, N., Mercante, E., Mendes, I., Ganascini, D., Correa, M., Maggi, M., Vilas Boas, M., Wrublack, S., & Siqueira, J. (2020). Hydro energy potential considering environmental variables and water availability in Paraná Hydrographic Basin 3. *Journal of Hydrology*, 580, 124183. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124183>
3. Guzović, Z., Barbarić, M., Medić, Z., & Degiuli, N. (2023). New software for the techno–economic analysis of small hydro power plants. *Water*, 15, 1651. <https://doi.org/10.3390/w15091651>
4. Dhaubanjhar, S., Lutz, A., Smolenaars, W., Khanal, S., Jamil, M., Biemans, H., Ludwig, F., Shrestha, A., & Immerzeel, W. W. (2023). Quantification of run-of-river hydropower potential in the Upper Indus basin under climate change. *Frontiers in Water*, 5. <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1256249>
5. Coban, H., & Sauhats, A. (2022). Optimization tool for small hydropower plant resource planning and development: A case study. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1083208>
6. Popa, F., Popa, B., Moldoveanu, A., & Tica, E. (2017). Evaluation of an existing small hydropower plant with Vapidro-Aste software. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/42/S17.033>
7. Zhang, Y., Ma, H., & Zhao, S. (2021). Assessment of hydropower sustainability: Review and modeling. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128898.
8. Ayik, A., Ijumba, N., Kabiri, C., & Goffin, P. (2023). Preliminary assessment of small hydropower potential using the Soil and Water Assessment Tool model: A case study of Central Equatoria State, South Sudan. *Energy Reports*, 9, 2229-2246.

9. Quaranta, E., & Muntean, S. (2023). Wasted and excess energy in the hydropower sector: A European assessment of tailrace hydrokinetic potential, degassing-methane capture and waste-heat recovery. *Applied Energy*, 329, 120213.
10. Agarwal, S. S., & Kansal, M. L. (2020). Risk based initial cost assessment while planning a hydropower project. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100517.
11. Coelho, C., Costa, M., & Ferrás, L. (2023). The influence of neural networks on hydropower plant management in agriculture: Addressing challenges and exploring untapped opportunities. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.13293>
12. Bolarinwa, M., Adeyemi, A., & Kassim, O. (2023). Technoeconomic analysis of prototype hydropower plant development in Nigeria. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 8, 29-37. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2023.8.3.2972>
13. Sakouvogui, A., Camara, E., & Barry, S. (2024). Assessment of the hydroenergy potential of the Gueeni Village Waterfall on the Kokoulo River in Pita, Guinea. *International Journal of Research and Review*, 11, 154-161. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20240117>
14. Wang, C., Zhuo, X., Li, P., Chen, N., Wang, W., & Chen, Z. (2020). An ontology-based framework for integrating remote sensing imagery, image products, and in situ observations. *Journal of Sensors*, 2020, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/6912820>
15. Kumoro, Y., Susilowati, Y., Irasari, P., & Hendriawan, W. N. (2022). Geological aspect analysis for micro hydro power plant site selection based on remote sensing data. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12, 2300. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp2300-2312>
16. Sibuea, R., Pratna, R., Hapsari, A., & Kristi, Y. (2022). Satellite remote sensing using Earth Observing System in environmental monitoring for hydropower & floating photovoltaic reservoir (Case study: Algae blooming on Cirata Reservoir, West Java-Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1009, 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1009/1/012001>
17. Sekac, T., Jana, S., & Pal, D. (2017). Identifying potential sites for hydropower plant development in Busu catchment: Papua New Guinea. *Spatial Information Research*, 25. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0145-z>