

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КЕРЕУШ ДАР'Я ІВАНІВНА

УДК 349.41:[528.46:717.14

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ
РЕСУРСІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ**

193 - Геодезія та землеустрій

19 «Архітектура та будівництво»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ / Д.І. Кереуш /

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Перович Лев Миколайович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

ЛЬВІВ - 2019

АНОТАЦІЯ

Кереуш Д.І. Методологія ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики на основі дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 - Геодезія та землеустрій (19 «Архітектура та будівництво»). – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розробленню та обґрунтуванню методології ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики на основі даних дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій. За допомогою застосування даної методології були знайдені найбільш придатні місця для розташування наземних промислових сонячних фотоелектричних електростанцій на території Заставнівського району Чернівецької області.

У розділі 1 «Аналіз використання земельних ресурсів України в альтернативній енергетиці» розглянуто та проаналізовано сучасний стан використання земельних ресурсів, динаміку розвитку альтернативних джерел енергії в паливно-енергетичному комплексі держави та правовий режим земель альтернативної енергетики. Встановлено, що на території України є біля 10 % земель, які можуть бути потенційно придатними для розташування на них об'єктів альтернативної енергетики, а саме наземних сонячних фотоелектричних електростанцій. Визначено, що державне стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії у вигляді «зеленого» тарифу, надбавки за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва та аукціонної ціни, позитивно впливає на розвиток альтернативних джерел енергії, що особливо чітко відображається на динаміці розвитку сонячної енергетики протягом 2016 – 2018 років. Встановлено, що в Україні сприятливі кліматичні умови для розвитку сонячної енергетики - річна сума глобальної сонячної радіації у країні (1 070 - 1 750 кВт год на один кв.

метр і вище) більша, ніж у Німеччині – світового лідера у галузі сонячної енергетики.

У розділі 2 «Розроблення методології ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики» розроблено методологію для знаходження та аналізу земельних ресурсів для подальшого їх використання для потреб паливно-енергетичного комплексу держави, а саме для об'єктів сонячної енергетики - наземних промислових сонячних електростанцій потужністю від 500 кВт і вище, які виробляють електроенергію за допомогою фотоелектричних панелей. Створено технологію вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних електростанцій. Запропоновано застосування програмного забезпечення FOSS, даних дистанційного зондування Землі та джерел даних, які є у вільному доступі, що дозволить на безоплатній основі всім зацікавленим інвесторам, підприємцям, органам виконавчої влади використати дану методологію та створити власну карту-схему придатності земель для СЕС. Вдосконалено та обґрунтовано методику вибору критеріїв та вимог щодо розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій. Запропоновано застосування методу множинного коефіцієнта рангової кореляції для визначення узгодженості експертних суджень щодо оцінки критеріїв вибору, та методу аналізу ієрархій для присвоєння ваги кожному критерію оцінки, і, таким чином, визначення їх відносної важливості у остаточному рішенні.

У розділі 3 «Експериментальні дослідження (на прикладі Заставнівського району Чернівецької області)» виконано апробацію теоретичних досліджень щодо вибору земельних ділянок для сонячної енергетики на території «пілотного» Заставнівського району Чернівецької області. Визначено критерії оцінки та виключення, що враховуються для оптимального розміщення наземної сонячної електростанції саме для даної території. Встановлено узгодженість експертних суджень, та кожному з критеріїв оцінки визначено надійну вагу у прийнятті остаточного рішення. Виконано процедуру впорядкованого зваженого усереднення для отримання початкової карти-схеми

придатності земель для наземних СЕС, та процедуру контрольованої класифікації супутникового зображення для створення маски непридатних земель для розташування СЕС. Створено результуючу карту-схему придатності земель з визначеними оптимальними місцями розташування сонячних електростанцій, що відображає 58 земельних ділянок загальною площею 7,56 кв.км (755,74 га), які придатні для розташування наземних фотоелектричних сонячних електростанцій. Визначено ефективність трансформації земельних ділянок у землі сонячної енергетики та річну продуктивність наземних сонячних електростанцій розташованих на обраних земельних ділянках.

Ключові слова: ефективне використання земельних ресурсів, сонячні електростанції, дистанційне зондування Землі, ГІС-технології, FOSS, критерії впливу та вимоги до вибору земельної ділянки, метод множинного коефіцієнта рангової кореляції, метод аналізу ієрархій, ефективність трансформації угідь.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія у виданні іншої держави

1. Kereush, D., Perovych, L. (2019). Technology of optimal site selection for Solar PV power plants. *Monography* - LAP Lambert Academic Publishing – P.80, ISBN 978-613-9-45145-6.

Статті у науковому періодичному виданні іншої держави, яке включено до міжнародних наукометричних баз

2. Kereush, D., Perovych, I. (2017). Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *International Scientific Journal “Geomatics, Landmanagement and Landscape”* (Index Copernicus), Volume 4, pp. 39–54, ISSN 2300-1496, <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2017.4.39>.

3. Kereush, D., Perovych, I. (2015). Transformation of agricultural lands. *International Scientific Journal "Geomatics, Landmanagement and Landscape"* (Index Copernicus), Volume 1, pp.45-54, ISSN 2300-1496, DOI: 10.15576/GLL/2015.1.45.
4. Perovych, I., Kazanivska, O., and Kereush, D. (2015). The accuracy of determining of the zones of restricted use of territories along the transmission lines taking into account the magnetic field influence. *International Scientific Journal "Baltic Surveying"* (Agris, CABI CAB Abstracts), Volume 1, pp.40-44, ISSN 2255 – 999X.

Статті у науковому періодичному виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз

5. Kereush, D., Perovych, L. (2017). Technology of optimal site selection for solar photovoltaic power plants using GIS and Remote Sensing techniques. *Interdepartmental scientific and technical review "Geodesy, Cartography and Aerial Photography"* (Index Copernicus), Volume 86, pp. 73-79, ISSN: 2415-3001 online, <https://doi.org/10.23939/istcgcap2017.02>.

Статті у наукових фахових виданнях України

6. Перович, І., Кереуш, Д. (2015). Кадастрове зонування територій у контексті нової адміністративно-територіальної реформи. *Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК «Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва»*, Випуск II (30), Видавництво Львівської політехніки, с.47-52.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації, а саме матеріали та тези міжнародних і вітчизняних науково-технічних та наукових конференцій

7. Кереуш, Д. (2018). Вимоги та критерії для визначення місця розташування об'єктів сонячної енергетики. *Матеріали ІХ*

Міжнародної науково – практичної конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні», 4-6 жовтня 2018 р., - Ужгород / ДВНЗ "Ужгород. нац. ун-т", ДП "Закарпатський геодезичний центр", Нац. природ. парк "Синевир"; Ужгород : РІК-У, 2018, с.214-219. – ISBN 978-617-7692-04-0.

8. Перович, Л., Кереуш, Д. (2017). Concept of Optimal Site Selection for Solar Photovoltaic Power Plants using GIS and Remote Sensing Techniques. *Матеріали Восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку, - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017, с.128-131. – 1 електр. опт. диск (CD-ROM), ISBN 978-966-941-083-2.*

ANNOTATION

Kereush D.I. Methodology for the efficient use of land resources for the purpose of developing the solar industry on the basis of Remote Sensing and GIS-technologies. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) on specialty 193 - Geodesy and Land Management (19 «Architecture and Construction»). – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2019.

This dissertation is devoted to the development and the substantiation of a methodology for the efficient use of land resources for the purpose of developing the solar industry on the basis of Remote Sensing data and GIS-technologies. With the help of this methodology, the most suitable places for the location of ground-mounted industrial solar photovoltaic power plants were found on the territory of Zastavna district in the Chernivtsi region.

In section 1 "Analysis of the use of Ukraine's land resources in the renewable energy industry", the current state of the use of land resources, the dynamics of renewable energy sources development in the fuel and energy complex of Ukraine and the legal regime of land of renewable energy industry are reviewed and analyzed. It is established that on the territory of Ukraine there is about 10% of land that may be potentially suitable for placing solar photovoltaic power plants. It is determined that state incentives for the production of electric energy from renewable energy sources in the form of a "green" tariff, an allowance for compliance with the level of use of Ukrainian production equipment and auction prices have a positive effect on the development of renewable energy sources, which is particularly reflected in the dynamics of solar energy development in years 2016 - 2018. It is established that in Ukraine there are favorable meteorological conditions for the development of solar energy - the annual amount of global solar radiation in the country (1 070 - 1 750 kWh per square meter and above) is higher than in Germany - the world's leader in the field of solar energy.

In section 2 "Development of a methodology for the efficient use of land resources for the purpose of developing the solar industry" a methodology for finding and analyzing land resources for their further use for the needs of the country's fuel and energy complex, namely for solar energy facilities - ground-mounted industrial solar photovoltaic power plants with a capacity of 500 kW and higher is developed. A technology of selection of the land plots for optimal location of ground-mounted solar power plants is created. It is proposed to apply FOSS (Free and Open Source Software), Remote Sensing data and data sources which are freely available, in order to allow all interested investors, entrepreneurs, authorities to follow this technology and create their own Land Suitability Map for solar power plants for free. The method for selecting the criteria and requirements for the optimal site selection of ground-mounted solar photovoltaic power plants has been improved and substantiated. Application of the method of multiple coefficient of rank correlation for determination of the consistency of expert judgments with respect to the selection of evaluation criteria, and the method of Analytical Hierarchy Process for assigning

the weights to each evaluation criteria to determine their relative importance in the final decision, are proposed.

In section 3 “Experimental studies (on the example of Zastavna district in the Chernivtsi region)” an approbation of theoretical studies on selection of land plots for solar industry on the territory of the "pilot" Zastavna district in the Chernivtsi region was performed. The evaluation and exclusion criteria, which are taken into account for the optimal site selection for solar power plants, are determined for this territory. The consistency of expert judgments is established, and the reliable weight for each evaluation criteria is determined. The procedure of Ordered Weighted Averaging is performed to obtain an initial Land Suitability Map for ground-mounted solar power plants, and a procedure of supervised satellite image classification was applied to create a mask of unsuitable lands for solar power plants. The final Land Suitability Map with optimal locations for solar power plants is created. It represents 58 land plots with a total area of 7.56 sq.km (755.74 hectares), which are suitable for the placement of ground-mounted solar photovoltaic power plants. The efficiency of transformation of land plots into the category of lands of the solar energy industry and the annual performance of solar power plants located on selected land plots are determined.

Key words: efficient use of land resources, solar power plants, Remote Sensing, GIS technologies, FOSS, criteria and requirements for site selection, method of multiple coefficient of rank correlation, Analytical Hierarchy Process, efficiency of transformation of lands.

THE RESEARCHER LIST OF PUBLICATIONS WHICH CONTAIN THE MAIN SCIENTIFIC RESULTS OF THIS DISSERTATION

Monography in scientific editions of other countries

1. Kereush, D., Perovych, L. (2019). Technology of optimal site selection for Solar PV power plants. *Monography* - LAP Lambert Academic Publishing – P.80, ISBN 978-613-9-45145-6.

Publications in scientific editions of other countries, which are included in international science-computer databases

2. Kereush, D., Perovych, I. (2017). Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *International Scientific Journal "Geomatics, Landmanagement and Landscape"* (Index Copernicus), Volume 4, pp. 39–54, ISSN 2300-1496, <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2017.4.39>.
3. Kereush, D., Perovych, I. (2015). Transformation of agricultural lands. *International Scientific Journal "Geomatics, Landmanagement and Landscape"* (Index Copernicus), Volume 1, pp.45-54, ISSN 2300-1496, DOI: 10.15576/GLL/2015.1.45.
4. Perovych, I., Kazanivska, O., and Kereush, D. (2015). The accuracy of determining of the zones of restricted use of territories along the transmission lines taking into account the magnetic field influence. *International Scientific Journal "Baltic Surveying"* (Agris, CABI CAB Abstracts), Volume 1, pp.40-44, ISSN 2255 – 999X.

Publications in scientific editions of Ukraine, which are included in international science-computer databases

5. Kereush, D., Perovych, L. (2017). Technology of optimal site selection for solar photovoltaic power plants using GIS and Remote Sensing techniques. *Interdepartmental scientific and technical review "Geodesy, Cartography and Aerial Photography"* (Index Copernicus), Volume 86, pp. 73-79, ISSN: 2415-3001 online, <https://doi.org/10.23939/istcgcap2017.02>.

Publications in scientific professional editions of Ukraine

6. Perovych I., Kereush D. (2015): «Cadastral zoning of territories in the context of new administrative and territorial reform», Perovych I., Kereush

D. - Modern achievements of geodesic science and industry. – Issue II (30), 2015, Lviv, pp.47-52

Publications that testify to the approbation of the dissertation materials, namely the materials and abstracts of international and national scientific and technical conferences

7. Kereush, D. (2018). Criteria and requirements for determining the location of solar power plants. *Proceedings of the IX international scientific-practical conference «New technologies in Geodesy, Land Management, Forest Management and Nature Management*, - Uzhhorod, 4-6 October 2018, pp.214-219. – ISBN 978-617-7692-04-0.
8. Perovych, L., Kereush, D. (2017). Concept of Optimal Site Selection for Solar Photovoltaic Power Plants using GIS and Remote Sensing Techniques, – *Proceedings of the 8th international scientific-technical conference «Environmental monitoring, photogrammetry, geoinformatics - modern technologies and development perspectives»*, - Lviv – Shidnytsya, 2017, pp.128-131. – 1 CD-ROM, ISBN 978-966-941-083-2.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	13
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ В АЛЬТЕРНАТИВНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ.....	25
1.1. Сучасний стан використання земельних ресурсів	25
1.2. Відновлювані джерела енергії в енергетичному комплексі України	33
1.3. Правовий режим земель альтернативної енергетики.....	44
Висновки до першого розділу.....	47
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	50
2.1. Технологія вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних фотоелектричних електростанцій	53
2.2. Аналіз факторів впливу на вибір оптимального розташування об'єктів сонячної енергетики.....	55
2.2.1. Визначення критеріїв впливу та вимог до вибору ділянки для розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій.....	55
2.2.2. Узгодженість експертних суджень щодо оцінки критеріїв впливу.....	62
2.2.3. Застосування методу аналізу ієрархій для визначення ваг критеріїв....	64
2.3. Методи ДЗЗ та ГІС-технології в процедурі вибору земельних ділянок.....	68
2.3.1. Обґрунтування використання бази даних PostgreSQL з відкритим вихідним кодом та з розширенням PostGIS	69
2.3.2. Аналіз основного набору інструментів програмного забезпечення QGIS для опрацювання даних дослідження.....	70
2.3.3. Класифікація супутникових знімків у програмному забезпеченні MultiSpec	75
Висновки до другого розділу	79

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЗАСТАВНІВСЬКОГО РАЙОНУ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ)	81
3.1. База вихідних даних	82
3.1.1. Характеристика «пілотного» району	82
3.1.2. Збір вихідних даних	85
3.1.3. Створення бази даних	100
3.2. Опрацювання вхідної інформації засобами ГІС-технологій	101
3.2.1. Критерії оцінки	101
3.2.2. Критерії виключення	115
3.2.3. Карта-схема придатності земель для розташування сонячних електростанцій	125
3.3. Ефективність використання земельних ресурсів для сонячної енергетики..	128
3.3.1. Визначення найбільш придатних земельних ділянок для розміщення наземних сонячних електростанцій	129
3.3.2. Ефективність трансформації обраних земельних ділянок у землі сонячної енергетики	135
3.3.3. Оцінка продуктивності сонячних електростанцій на обраних земельних ділянках	143
Висновки до третього розділу	147
ВИСНОВКИ	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	152
Додаток А	169
Додаток Б	170

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДЗЗ	–	дистанційне зондування Землі
ГІС	–	геоінформаційні системи
СЕС	–	сонячна електростанція
ГЕС	–	гідроелектростанція
ВЕС	–	вітрова електростанція
ВДЕ	–	відновлювані джерела енергії
ГК ТЕС	–	генеруючі компанії теплових електростанцій
ТЕЦ	–	теплоелектроцентраль
АЕС	–	атомна електростанція
ОЕС	–	Об'єднана енергетична система
FOSS	–	Free and Open-Source Software (програмне забезпечення, що розповсюджується за вільними ліцензійними угодами і з загальнодоступними (відкритими) вихідними кодами)
НКРЕКП	–	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг
FAO	–	Продовольча та сільськогосподарська організація ООН
ООН	–	Організація Об'єднаних Націй
ДЗК	–	Державний земельний кадастр
Держгеокадастр	–	Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру
ЕСУ	–	Енергетична стратегія України
СКБД	–	система керування базами даних
ПСГР	–	природно-сільськогосподарський район

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Україна в достатній мірі залежить від імпортованих джерел енергії: газу, поставок ядерного палива. Для зміцнення енергетичної безпеки країни важливо зробити вибір: продовжувати фінансувати зовнішні енергоносії або все ж розвивати використання власних джерел енергії, з одночасним зростанням вкладу саме "зеленої" електроенергії в енергетичну незалежність України.

Державне стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії у вигляді «зеленого» тарифу, надбавки за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва та аукціонної ціни, позитивно впливає на розвиток ВДЕ. Особливо чітко це відображається на динаміці розвитку сонячної енергетики протягом 2016 – 2018 років, яка показує приріст встановлених потужностей СЕС на 36%.

За умови подальшого здешевлення ВДЕ, їх економічно обґрунтований потенціал буде зростати. При цьому розширення використання альтернативної енергетики безпосередньо у споживача не підпадає під обмеження енергосистеми і формує перспективу динамічного розвитку на місцевому рівні.

Зважаючи на те, що в Україні високими темпами розвивається сонячна енергетика, виникає проблема розробки технології використання земель різних категорій для потреб сонячної енергетики.

За даними Держгеокадастру (Статистичний щорічник «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016-2017») інформація щодо типу землекористування є доступною для земель площею 60,357 млн га, з яких 70,8% є сільськогосподарськими землями, 17,6 % – землі лісового фонду, 4,2% – забудовані землі, 4% – землі водного фонду та 3,34 % - інші землі, до яких належать сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом, відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом, які можуть бути потенційно придатними для розташування на них наземних сонячних електростанцій. Станом на 2018 рік у результаті відсутності проведення

належної охорони земель, комплексності в проведенні меліорації земель, забруднення ґрунтів хімікатами, антропогенного впливу на структуру ґрунтів, та насамперед, унаслідок вітрової, водної, яружної ерозії ґрунтів в Україні зростає кількість деградованих та непродуктивних орних земель (перевищує 20% ріллі), які теж, за певних умов трансформації угідь (включаючи відновлення їх родючості), можуть використовуватися для цілей сонячної енергетики.

Знаходження придатних земельних ресурсів для оптимального розміщення наземних сонячних електростанцій важливе для мінімізації ризиків та негативних впливів проектів, а також для максимізації корисних аспектів. Зокрема, оптимальне розміщення може максимізувати вироблення електроенергії при мінімізації витрат, впливів на навколишнє середовище та соціальної опозиції. Визначення придатних земель також може прискорити отримання дозволу розробникам використовувати запропоновані земельні ділянки для потреб сонячної енергетики, які можуть бути попередньо перевірені регуляторами.

Більш того, шляхом використання інноваційних підходів можливо визначити оптимальне розміщення сонячних електростанцій не тільки з метою мінімізації впливу на навколишнє середовище, а й забезпечивши при цьому додаткові переваги. Наприклад, у штаті Гуджарат (Індія), зрошувальний канал був вкритий 11 мегаватами сонячних панелей, які, крім вироблення електроенергії, також допомагають зменшити випаровування з каналу (Hernandez, R. R. et al., 2015; Elkind, E., Strittholt, J., 2016). У долині Сан-Хоакін у Каліфорнії заплановано будівництво сонячної електростанції потужністю у 2,4 ГВт на колишніх сільськогосподарських землях, забруднених сіллю (Hernandez, R. R. et al., 2015). Цей проект має широку підтримку з боку зацікавлених сторін, оскільки він має мінімальний вплив на землекористування і вивільняє воду для інших сусідніх господарств. Управління з охорони довкілля США розробило програму RE-Powering America's Land, яка стимулює розташовувати проекти з відновлюваної енергетики на деградованих землях, таких як території колишніх промислових або комерційних об'єктів, де майбутнє використання земель

постраждало від реального або передбачуваного забруднення навколишнього середовища (Niblick, B. and Landis, A. E., 2016; US Environmental Protection Agency, “RE-Powering America’s Land”).

Дослідженню питання щодо раціонального, економічно доцільного, екологічно безпечного використання земельних ресурсів приділяється значна увага в працях І.К. Бистрякова, В.В. Горлачука, Д.С. Добряка, С.С. Кохан, А.Я. Сохнича, М.Г. Ступеня, Н.М. Ступеня, М.С. Богіра, М.С. Маланчук, Ш.І. Ібатулліна, Ю.Л. Ковалю, А.Г. Мартина, А.М. Третяка та інших вчених. Маланчук М.С. (Malanchuk, M., Malashevskyi, M., Palamar, A., Bugaienko, O., Tarnopolsky, E., 2018) досліджує особливості використання і розпорядження земельними ресурсами під час здійснення землеустрою. У працях (Горлачук, В.В., Рудий, Р.М., 2017; Горлачук, В.В., В’юн, В.Г., Сохнич, А.Я., 2002; Сохнич, А.Я., Кульбака, В.М., 2016; Ступень, М.Г., 2017 б) наголошується на виникненні гострої потреби переходу до науково і економічно обґрунтованого управління земельними ресурсами. Третяк А.М. (Третяк, А.М., Калганова, І.Г., 2016) досліджує поняття та доцільність інноваційної діяльності у сфері землеустрою як діяльності по капіталізації інтелектуального потенціалу в процесі здійснення землеустрою територій адміністративно-територіальних утворень та суб’єктів землеустрою, що полягає в проведенні комплексу узгоджених заходів (управлінського, організаційного, екологічного, соціально-економічного, наукового, інформаційного, інфраструктурного плану) по кількісному та якісному розширенню потенціалу земельних та інших природних ресурсів з метою його реалізації в економіці природокористування та нерухомості, соціумі та отриманні нових практично значущих результатів і ефектів в оптимально короткі терміни.

Для цього пропонується застосування нових підходів і технологій за умови активного впровадження ГІС-технологій у практику управління земельними ресурсами та використання ринкових інструментів розвитку земельних відносин (Ступень, М.Г., 2017 а; Богіра, М.С., 2018; Stupen, N., Stupen, M., Stupen, O., 2018; Сохнич, А., Сохнич, С., 2013). У працях Кохан С.С. (Kokhan, S.,

Moskalenko, A., & Drozdovskyi, O., 2018; Кохан, С.С., Москаленко, А.А., 2015; Кохан, С.С., Востоков, А.Б., 2018) досліджуються питання використання ГІС-технологій, даних дистанційного зондування Землі, а також систем просторових баз даних для кількісного та якісного аналізу придатності земель, отримання та аналізу просторово-часових і кількісних характеристик динаміки природних об'єктів з метою їх прогнозої оцінки. Бурштинська Х.В. (Burshtynska, Kh., Zayac, I., Tretyak, S., Halochkin, M., 2017; Бурштинська, Х.В., Третьак, С.К., Шевчук, В. М., 2017; Бурштинська, Х., Денис, Ю., Мадяр, Ю., Поліщук Б., 2016), використовуючи матеріали дистанційного зондування Землі, досліджує просторово-часові характеристики динаміки природних об'єктів, а саме моніторинг гідрологічних процесів на базі побудови цифрових моделей рельєфу, а також класифікацію лісів за космічними зображеннями високого розрізнення. Ступень Н.М. (Stupen, N., Stupen, M., Stupen, O., 2018) розглядає створення електронних сільськогосподарських карт на основі ГІС-технологій та дистанційного зондування Землі.

При виконанні дисертаційного дослідження автором враховано досвід провідних закордонних науковців, що досліджували проблему знаходження земельних ресурсів для потреб сонячної енергетики.

Географічні інформаційні системи (ГІС) є ключовим інструментом для аналізу багатьох географічних критеріїв з метою визначення оптимального розміщення енергетичних проєктів, включаючи СЕС (Charabi, Y. and Gastili, A., 2011; Clifton, J. and Boruff, B.J., 2010; La Gennusa, M. et al., 2011; Ramirez-Rosado, I.J. et al., 2011), ВЕС (Hurtado, J.P. et al., 2004; Aydin, N. Y., E. Kentel, and S. Duzgun, 2010; Janke, J.R., 2010; Ouammi, A. et al., 2012), підприємств з отримання енергії з біомаси/біогазу (Ramachandra, T.V., Vamsee Krishna S., and Shruthi, B.V., 2005; Shi, X. et al., 2008; Zhang, F., Johnson, D.M., and Sutherland, J.V., 2011).

Однією із стратегій, заснованих на ГІС, які були розроблені для полегшення прийняття рішень при оцінці придатності земель, є застосування мультикритеріального аналізу (Torres-Sibille, A. et al., 2009). Метод аналітичної ієрархії (АНІ), впроваджений Saaty Т.А. (Saaty, Т.А., 1997), є гнучкою

методикою, використання якої було досліджено в літературі (Tegou, L. et al., 2010; Kontos, Th. et al., 2005; Georgiou, A. et al., 2012; Masera, O. et al., 2006). Huang J.P. et al. використовували ELECTRE, АНР, TOPSIS для проведення аналізу енергетичної системи. У 1997 році Georgoroulou E. та інші (Georgoroulou, E. et al., 1997) вивчали переваги та недоліки впровадження відновлюваної енергії на грецьких островах за допомогою методу ELECTRE III. Haralambopoulos D. та Polatidis H. (Haralambopoulos, D., Polatidis, H., 1995) застосували PROMETHEE II для дослідження та оцінки експлуатації геотермального джерела енергії на острові Хіос (Греція).

На півдні Іспанії, в Андалусії, Terrados J. та інші (Terrados, J. et al., 2009) розробили комбінацію методологій (включаючи мультикритеріальний аналіз) для планування земельних ресурсів для відновлюваної енергії.

З огляду на науковий та економічний аспекти тема дисертаційного дослідження є безперечно актуальною і може бути використана широким колом спеціалістів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри кадастру територій: «Розроблення теоретичних основ побудови кадастрових систем в Україні». Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи «Розроблення теоретичних основ побудови кадастрових систем в Україні» (державний реєстраційний номер 011921100068).

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематики науково-дослідних робіт кафедри кадастру територій Національного університету «Львівська політехніка», базуючись на законодавчих та нормативних положеннях Земельного кодексу України (із змінами внесеними Законом України №2666-VIII від 20.12.2018), Податкового кодексу України (із змінами внесеними Законом України № 2725-VIII від 16.05.2019), Митного кодексу (із змінами внесеними Законом України № 2725-VIII від 16.05.2019), Закону України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів» (№2480-VI, редакція від 01.01.2019), Закону України

“Про альтернативні джерела енергії” (№555-IV, редакція від 22.05.2019), Закону України «Про ринок електричної енергії» (№ 2019-VIII, редакція від 22.05.2019), Закону України “Про електроенергетику” (№575/97-ВР, редакція від 01.01.2019), Розпорядження Кабінету Міністрів України Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” (№ 605-р від 18.08.2017), Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Правил охорони електричних мереж» (№ 209-97-п, редакція від 22.03.2017), Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного стандарту №2 "Оцінка нерухомого майна"» (№1442-2004-п, редакція від 15.04.2015), Постанови Кабінету Міністрів України «Про проведення загальнонаціональної (всеукраїнської) нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення» (№ 105 від 7 лютого 2018), Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Методики нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення» (№831-2016-п, редакція від 27.02.2018).

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є розроблення та обґрунтування методології ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики на основі даних дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій.

Реалізація мети роботи передбачала виконання таких завдань:

- проаналізувати сучасний стан використання земельних ресурсів України;
- дослідити стан використання альтернативних джерел енергії в енергетичному комплексі України;
- здійснити аналіз правового режиму земель альтернативної енергетики;
- розробити технологію вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних промислових сонячних фотоелектричних електростанцій;
- визначити критерії впливу та вимоги до вибору земельної ділянки для розміщення наземних сонячних фотоелектричних електростанцій;

- визначити узгодженість експертних суджень щодо оцінки критеріїв впливу;
- дослідити можливості використання програмного забезпечення FOSS (Free and Open-Source Software) з метою широкого застосування розробленої технології у виробництві на безоплатній основі;
- виконати експериментальні дослідження щодо реалізації теоретичних розробок з метою отримання карти-схеми придатних земель для розташування наземних промислових фотоелектричних сонячних електростанцій;
- визначити ефективність трансформації земельних ділянок у землі сонячної енергетики.

Об'єктом досліджень є земельні ресурси України.

Предметом досліджень є технології, методи та моделі для ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики.

Методи досліджень. У ході виконання дисертаційної роботи використано такі методи: *метод аналізу та порівняльно-аналітичний метод* – при вивченні наукового доробку вчених, що стосується застосування геоінформаційних технологій для визначення придатності земель для альтернативної енергетики, вимог до вибору земельних ресурсів для розміщення об'єктів сонячної енергетики, інформації щодо стану земельних ресурсів України та стану використання альтернативних джерел енергії в енергетичному комплексі України; *метод геоінформаційного аналізу* – у процесі опрацювання геопросторових даних про об'єкт дослідження; використання програмного забезпечення FOSS (Free and Open-Source Software), що розповсюджується за вільними ліцензійними угодами і з загальнодоступними (відкритими) вихідними кодами: база даних PostgreSQL Open Source Database з розширенням PostGIS, програмні забезпечення QGIS та MultiSpec; *метод експертних оцінок, зокрема метод множинного коефіцієнта рангової кореляції* – для визначення узгодженості експертних суджень щодо вибору земельних ділянок; *метод*

аналізу ієрархій – для визначення окремих ваг критеріїв впливу у остаточному рішенні; *методи математичної обробки даних* – для визначення ефективності трансформації земельних ділянок різних типів категорій у землі сонячної енергетики; *абстрактно–логічний метод*– для обґрунтування висновків.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

- розроблено комплексну методологію вибору земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики, а саме для наземних промислових сонячних електростанцій потужністю від 500 кВт і вище, які виробляють електроенергію за допомогою фотоелектричних панелей.

Удосконалено:

- методику вибору критеріїв впливу та вимог щодо розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій;
- використання виключно геоінформаційного програмного забезпечення FOSS (Free and Open-Source Software) та джерел даних, які є у вільному доступі, для опрацювання бази вхідних даних та вибору земельних ресурсів для потреб сонячної енергетики;
- визначення ефективності трансформації земельних ділянок різних категорій у землі сонячної енергетики.

Набули подальшого розвитку:

- процедура підготовки даних до виконання впорядкованого зваженого усереднення в програмному середовищі QGIS;
- використання даних дистанційного зондування Землі для аналізу земельних ресурсів для потреб сонячної енергетики України.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що методологія та результати досліджень можуть бути використані:

органами виконавчої влади та місцевого самоврядування при розробленні програм ефективного та раціонального використання земельних ресурсів, стратегій розвитку територій, стратегій розвитку альтернативних джерел енергії; забезпеченні комплексного соціально-економічного розвитку територій;

інвесторами, приватними підприємствами, що займаються розробкою проектів сонячної енергетики, науково-дослідними, проектними організаціями, приватними особами для оцінки наявності земельних ресурсів для сонячної енергетики та визначення їх ефективності використання.

Отримані результати теоретичних і практичних напрацювань можуть бути використані фахівцями широкого кола спеціальностей, зокрема: кадастру, геоінформаційних технологій, картографії, географії та інших, при викладанні таких навчальних дисциплін як «Організація територій», «Геоматика та дистанційні методи в дослідженні територій», «Новітні технології в кадастрі та землеустрої», «Раціональне використання та охорона земель» для студентів Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка» та інших вищих навчальних закладів.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковано у співавторстві у працях: (1) – розроблено методологію ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики та проведено її апробацію шляхом виконання експериментальних досліджень; (2) – удосконалено методику вибору критеріїв впливу та вимог щодо розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій; (3) – досліджено трансформацію земель різних категорій; (4) – досліджено вплив електричного і магнітного полів ліній електропередачі при визначенні охоронних та санітарно-захисних зон вздовж електричних мереж; (5) – розроблено методологію ефективного використання земельних ресурсів для пошуку земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних електростанцій та досліджено можливості використання програмного забезпечення FOSS (Free and Open-Source Software) та джерел даних, які є у

вільному доступі; (б) – досліджено міжнародний досвід адміністрування земельними ресурсами.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати наукових досліджень доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях та форумах: ІХ Міжнародній науково – практичній конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні» (м.Ужгород, 4-6 жовтня 2018), Восьмій міжнародній науково-технічній конференції «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку» (Львів - Східниця, 14-16 вересня 2017), Міжнародній науково-практичній конференції «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації», Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (м.Івано-Франківськ, 23 березня 2017), а також на наукових семінарах кафедри кадастру територій (2017-2019 рр.).

Основні положення та результати наукових досліджень доповідались під час стажування (5 місяців: 01.12.2017 – 01.05.2018) в Інституті Енергетики, Транспорту та Клімату Спільного наукового центру Єврокомісії - Institute of Energy, Transport and Climate, Joint Research Centre, European Commission (Нідерланди) (Додаток А).

Публікації. За результатами досліджень за темою дисертації опубліковано 8 наукових праць. Одна англomовна монографія опублікована у виданні іншої держави. Три статті опубліковані у наукових періодичних виданнях інших держав, які включені до міжнародних наукометричних баз, дві з них занесені до наукометричної бази Index Copernicus. Одна стаття опублікована у науковому періодичному виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз. Одна стаття опублікована у науковому фаховому виданні України. Дві публікації надруковано у збірниках тез наукових конференцій.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертаційна робота обсягом 173 сторінки складається зі вступу, 3 розділів, висновків та списку використаних джерел. Робота містить 53 рисунка, 32

таблиці, 1 графік та 2 додатка. Список використаних джерел містить 144 найменування.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ В АЛЬТЕРНАТИВНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

1.1. Сучасний стан використання земельних ресурсів

На сучасному етапі розвитку продуктивних сил земельні ресурси вирізняються багатоаспектним характером експлуатації. Вони, разом з іншими природними ресурсами, є компонентом навколишнього середовища, є засобом виробництва і джерелом задоволення потреб людини.

З часу проведення земельної реформи в Україні змінилися склад та структура земельного фонду.

За даними Держгеокадастру станом на грудень 2017 всього у Державному земельному кадастрі (ДЗК) зареєстровано 34 млн га земель (56,3% від загальної території України). Середній розмір земельної ділянки в Україні становить 1,8 га (Статистичний щорічник «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016-2017»).

Для аналізу земельного фонду України використано статистичні форми звітності 6-зем та 2-зем, сформовані станом на 1 січня 2016 року. Наразі більш оновлена інформація відсутня, оскільки форми 2-зем та 6-зем після 2016 року не адмініструються. Згідно зі статистичною формою 6-зем за 2015 рік, інформація щодо землекористування (рис.1.1) є доступною для 60,357 млн га, з яких 42,724 млн га (70,80%) є сільськогосподарськими землями, з них рілля – 32,537 млн га; 10,632 млн га (17,61%) – землі лісового фонду; 2,558 млн га (4,23%) – забудовані землі, з них під житловою забудовою 491 528,66 га, під землі промисловості – 222 874,90 га; 2,426 млн га (4,02%) – землі водного фонду; 980 192,36 га (1,63%) – відкриті заболочені землі; 13 259,63 га (0,03%) – сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом; 1, 022 млн га (1,68%) – відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом.

Суттєвою є частка сухих відкритих земель з особливим рослинним покривом, відкритих земель без рослинного покриву або з незначним рослинним

покривом можуть бути потенційно придатними для розташування на них об'єктів альтернативної енергетики, а саме наземних сонячних електростанцій.

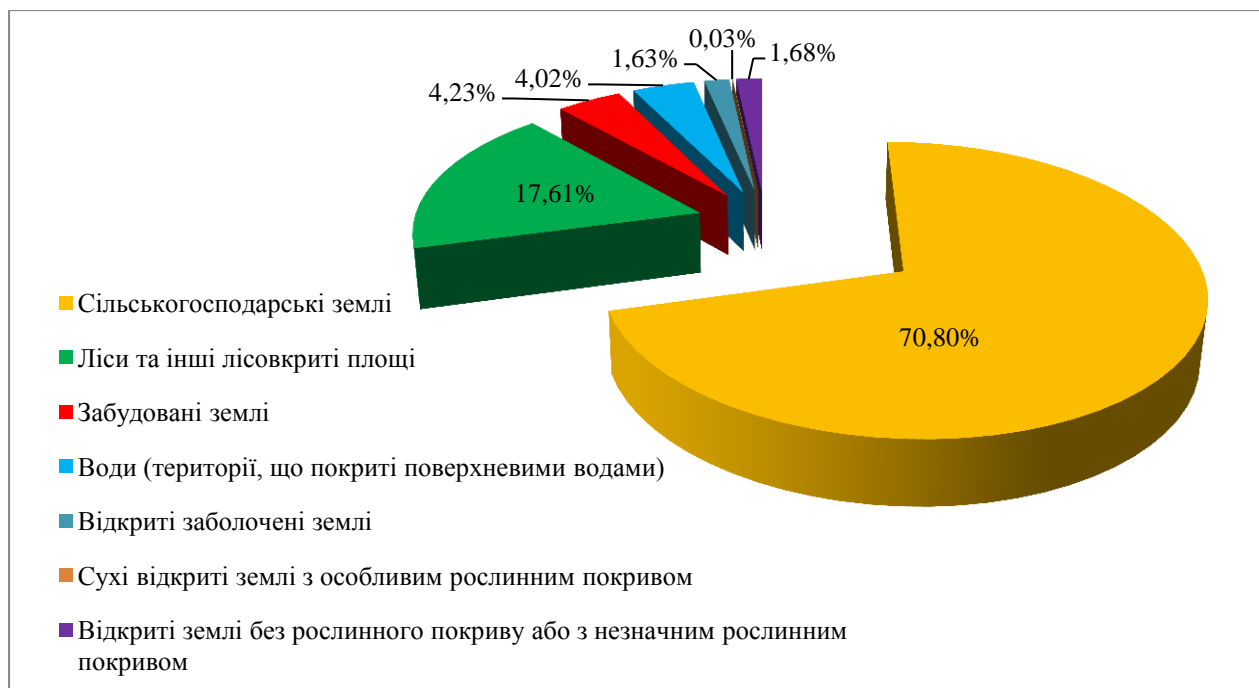
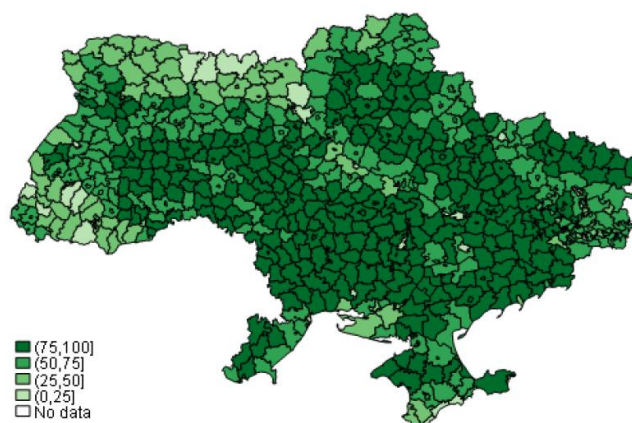
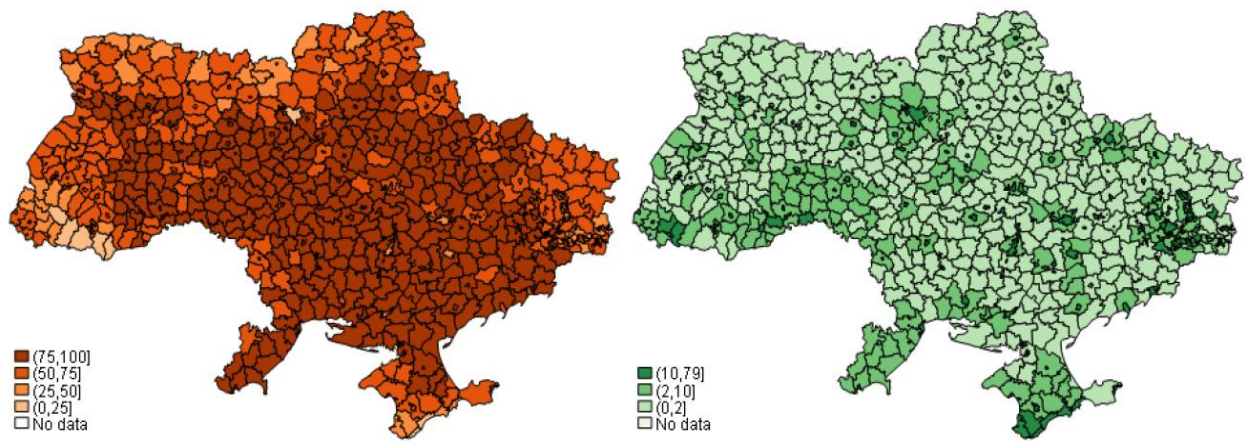


Рис. 1.1. Площа земель України за цільовим призначенням [Джерело: Проект «Підтримка реформ у сільському господарстві та земельних відносинах в Україні», Моніторинг: База даних 2016-2017]

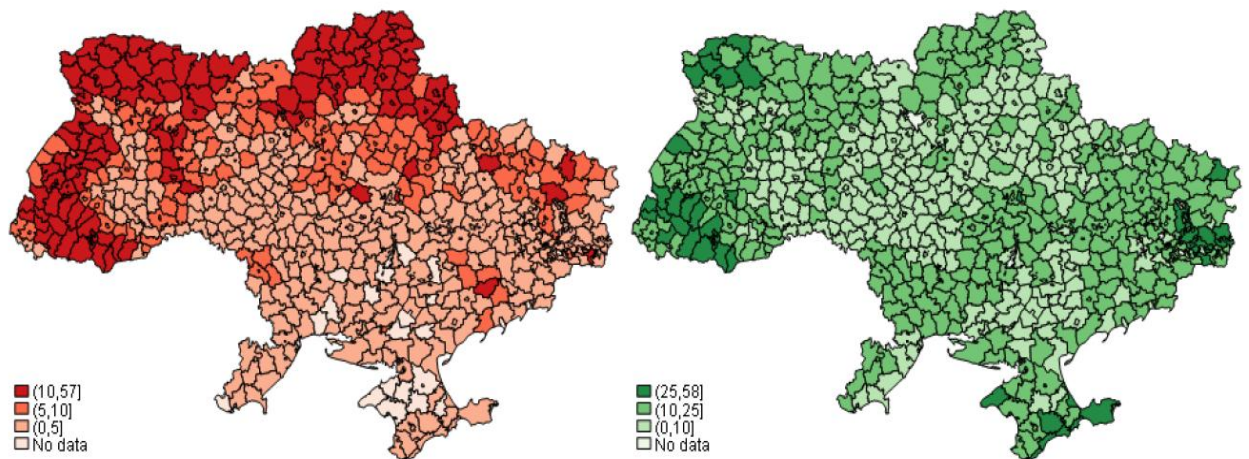
Частки земель відповідного цільового призначення по районах України станом на 1 січня 2016 року наведено на рис.1.2 (а, б, в, г, г, д). Дані отримані із Статистичного щорічника «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016-2017».



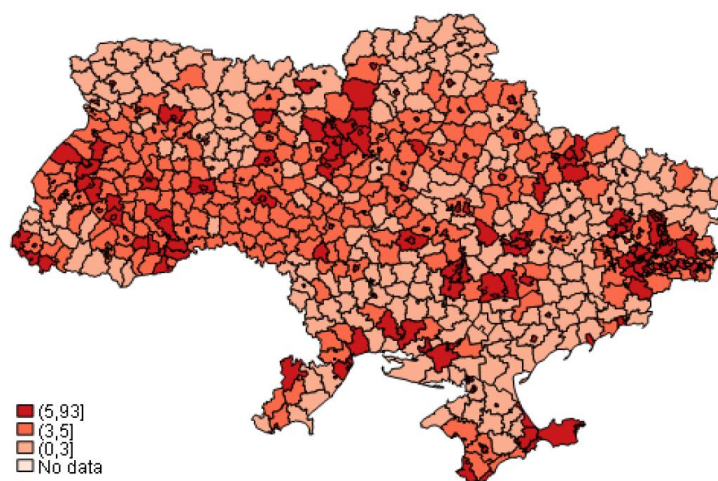
а. Частка сільськогосподарських земель, %



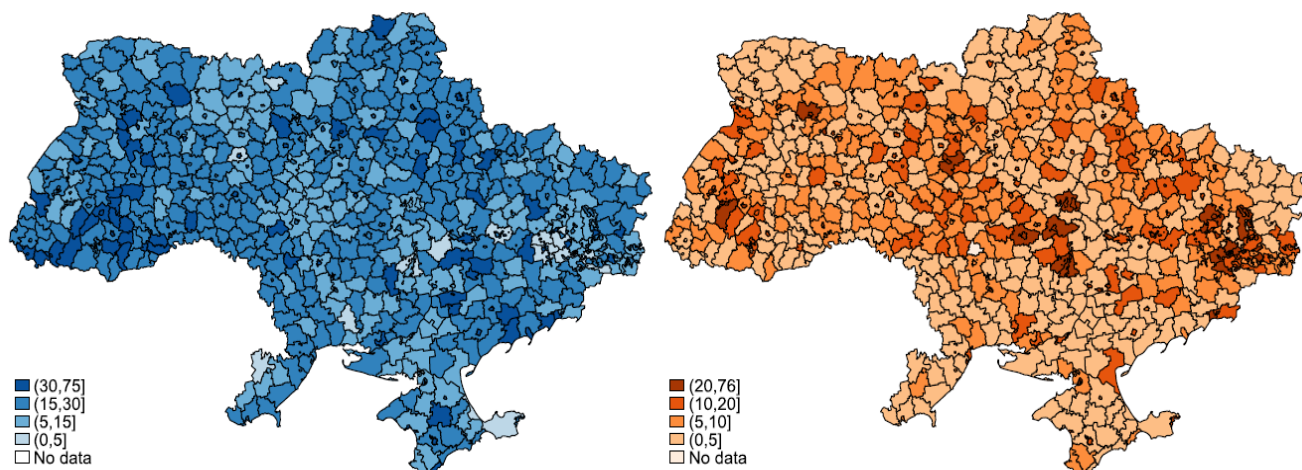
б. Частка ріллі (ліворуч) та багаторічних насаджень (праворуч) у структурі сільськогосподарських земель, %



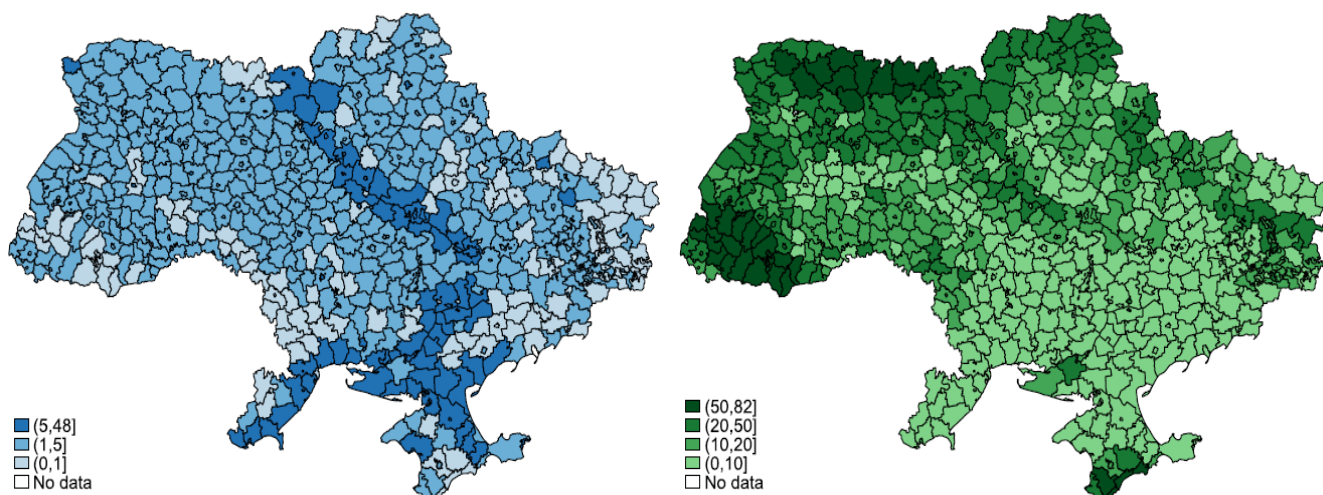
в. Частка сіножатей (ліворуч) та пасовищ (праворуч) у структурі сільськогосподарських земель, %



г. Частка забудованих земель, %



г. Частка земель під житлову забудову (ліворуч) та земель промисловості (праворуч) у структурі забудованих земель, %



д. Частка земель водного фонду (ліворуч) та лісового фонду (праворуч), %

Рис. 1.2. Частки земель відповідного цільового призначення по районах України станом на 1 січня 2016 [Джерело: Статистичний щорічник «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016-2017»]

Розподіл земель за цільовим призначенням у містах та у сільській місцевості наведено на рис. 1.3. Сільськогосподарські землі є найбільшою категорією у сільській місцевості – 71,9 % територій, у містах – 33,1%. Другою за площею категорією у сільській місцевості є ліси (17,5 %), у містах – забудована територія (35,3%).

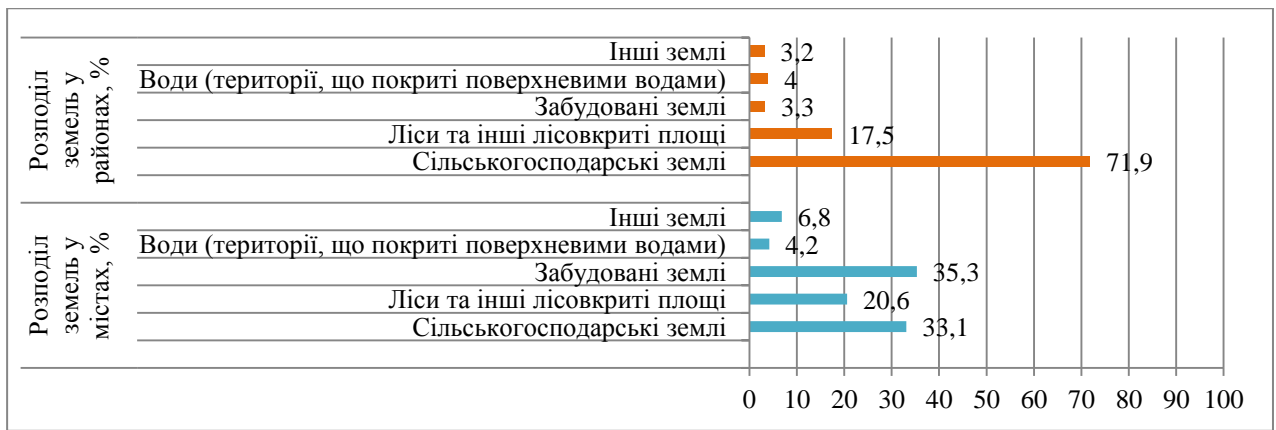
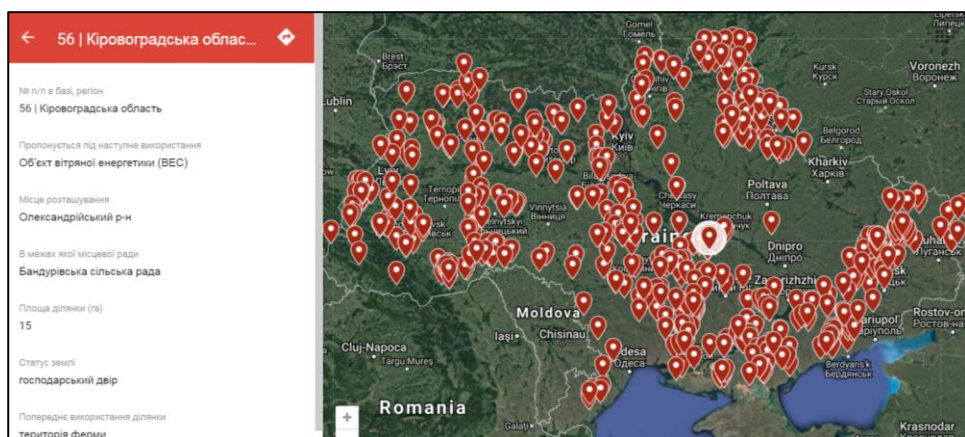
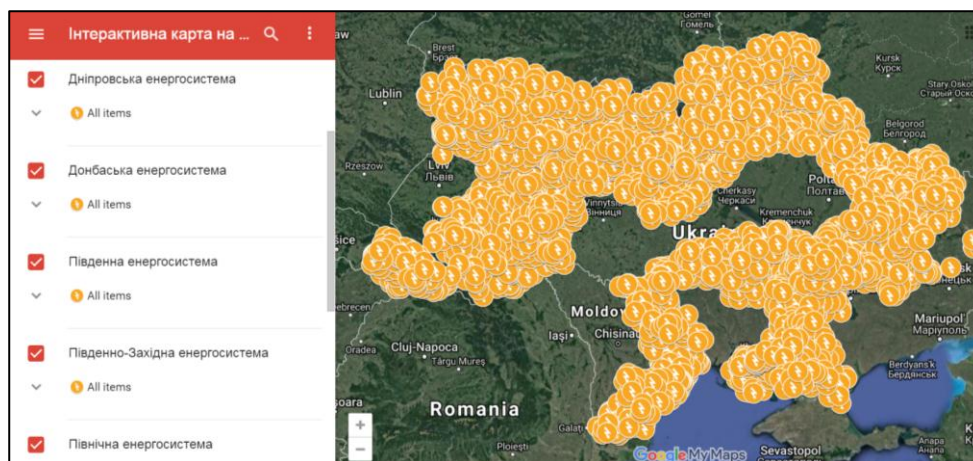


Рис. 1.3. Розподіл земель за цільовим призначенням у містах та у сільській місцевості [Джерело: Статистичний щорічник «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016-2017»]

Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України разом з Інститутом відновлюваної енергетики НАН України розробило проект Дорожньої карти розвитку відновлюваної енергетики України на період до 2020 року, який включає Інтерактивну мапу щодо земельного розподілу в регіонах для будівництва об'єктів сонячної та вітряної енергетики, їх під'єднання до електромереж та ТП (Дорожня карта, 2016). На мапі позначено 648 земельних ділянок у 21 області України, які пропонуються для розміщення об'єктів альтернативної енергетики згідно з пропозиціями місцевих органів влади станом на березень 2016 року (рис.1.4 а), а також електричні підстанції розподільчих мереж напругою від 27,5 кВ до 150 кВ (рис. 1.4 б). У Дорожній карті зазначено, що у більшості випадків місця розташування земельних ділянок на мапі позначено приблизно (в межах місцевої ради).



а. Земельні ділянки, що пропонуються для розміщення об'єктів альтернативної енергетики



б. Електричні підстанції розподільчих мереж

Рис. 1.4. Інтерактивна мапа щодо земельного розподілу в регіонах для будівництва об'єктів сонячної та вітряної енергетики [Джерело: Дорожня карта розвитку сонячної енергетики на період до 2020 року, 2016]

Таблиця 1. 1

Кількість земельних ділянок, що пропонуються для розміщення об'єктів альтернативної енергетики, за областями

Область	Кількість земельних ділянок
Вінницька область	11
Волинська область	11
Дніпропетровська область	13
Донецька область	59
Житомирська область	29
Закарпатська область	4
Запорізька область	59
Івано-Франківська область	17
Київська область	24
Кіровоградська область	64
Луганська область	25

Область	Кількість земельних ділянок
Львівська область	33
Львівська область	33
Миколаївська область	49
Одеська область	10
Рівненська область	22
Сумська область	63
Херсонська область	56
Хмельницька область	23
Черкаська область	25
Чернівецька область	25
Чернігівська область	26

Із загальної кількості - 648 земельних ділянок - належать наразі до: земель запасу – 279 земельних ділянок; земель промисловості, транспорту, зв'язку,

енергетики, оборони – 111; земель водного фонду – 7; земель лісового фонду – 1; земель житлової забудови – 5; решта (245) немає даних.

Діяльність, пов'язана з використанням земельних ресурсів, є особливо важливою для економічних відносин, проте призвела до цілої низки екологічних і економічних проблем, найважливішими серед яких є неефективне землекористування, погіршення стану ґрунтів, деградація, прояви водної та вітрової ерозії, відсутність реальної вартості земель тощо.

За даними Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO), площа деградованих та непродуктивних орних земель в Україні перевищує 20% (6,5 млн га) ріллі (Укрінформ, 2018 а).

У травні 2018 року Координаційна рада з питань боротьби з деградацією земель та опустелюванням зазначила, що залежно від ступеню деградаційних процесів збитки тільки від недоотримання сільськогосподарської продукції обчислюються на більш як 20 млрд гривень на рік. Крім того, від вітрової ерозії страждають 6 млн гектарів землі, від пилових бурь - близько 20 млн гектарів, ще 10 млн гектарів - від водної ерозії (Укрінформ, 2018 б).

Сучасний екологічний стан ґрунтів погіршується також через засолення, осолонцювання, підвищення кислотності ґрунтів, підтоплення зрошувальних, переосушених і перезволожених земель.

Унаслідок відсутності комплексності в проведенні меліорації земель, їх експлуатації 43,2 % території з осушувальною мережею мають підвищену кислотність, 7,6 % – засолені, 10,7 % – перезволожені, 12,8 % – заболочені, 18,4% – схильні до вітрової і 4 % – до водної ерозії (Волощук М., 2017).

Деградують і втрачають родючість зрошувані землі: 14 % від загальної площі поливних земель піддається іригаційній ерозії, 5 % – перезволожені, 7,7% – мають ґрунти з підвищеною кислотністю, близько 30 % – солонцюваті та засолені (Довкілля для Європи: Національна доповідь України про гармонізацію життєдіяльності суспільства у навколишньому природному середовищі, 2003)

Доволі великі площі еродованих ґрунтів поширені на орних землях у Вінницькій, Луганській, Донецькій, Одеській, Чернівецькій і Тернопільській

областях, де середньорічний змив ґрунтів становить 24,5–27,8 т/га. У складі орних земель площа слабозмитих ґрунтів за останні 30 років на території України зросла на 30 %, а середньо- і сильнозмитих ґрунтів – на 25 %, у тому числі в Степу – на 14,1 %, Лісостепу – на 18,2 %, Поліссі – на 30,5 %. Щороку площі еродованих земель збільшуються на 70–80 тис. га (Балюк, С.А., Тімченко, Д.О., Гічка, М.М., Куценко, М.В., 2008).

За інтенсивністю розвитку яружної ерозії виокремлено три зони. До зони найінтенсивнішого розвитку належать Придніпровська височина, Придністров'я, Донецький кряж та південно-західні відроги Середньоросійської височини. Особливо інтенсивно ці процеси відбуваються в межах смуги, що прилягає до долини Дніпра, а також виділяється Канівський район Черкаської області, де густина яружної мережі становить 1,8 км/км², басейн Сіверського Дінця та Дністра. До зони середньої інтенсивності належать Волино-Подільська, Приазовська височини та гірські райони Карпат і Криму. Зона зі слабким розвитком яружної ерозії охоплює Поліську низовину, Придністровську рівнину, Причорноморську низовину, рівнинну частину Степового Криму та Закарпатську низовину (Волощук М., 2017).

На думку автора тимчасове виведення деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених орних земель із сільськогосподарського використання і проведення на них робіт щодо відновлення їхньої родючості з одночасним спорудженням на таких землях об'єктів альтернативної енергетики, призведе до часткового відновлення родючості земель та забезпечить отримання економічного прибутку з їх використання.

Проблемам ефективного управління землекористуванням присвячено праці відомих вітчизняних вчених. Зокрема, в працях (Горлачук, В.В., В'юн, В.Г., Сохнич, А.Я., 2002; Горлачук, В.В., та ін. 2006) висвітлюються теоретико-методичні засади та методологічні положення управління землекористуванням. Третяк А.М. (Третяк, А.М., 2008; Третяк, А.М., Калганова, І. Г., 2016) досліджує пріоритетні напрямки розвитку земельних відносин, які базуються на регулюванні відносин власності; економічну сутність поняття інновацій та

інноваційної діяльності у сфері землеустрою. У працях (Сохнич, А.Я., Сохнич, С., 2013; Сохнич, А.Я., Кульбака, В.М., 2016) розглядаються питання застосування ГІС в управлінні земельними ресурсами, роль земельних ресурсів у формуванні ринкової економіки. (Ступень, М.Г., 2017 б; Ступень, М.Г., 2013) досліджує еколого-економічні аспекти використання земельних ресурсів та формування сталого землекористування в населених пунктах. Праці Дорош О.С. (Дорош, О.С., 2013; Дорош, О.С., Фоменко, В.А., Мельник, Д.М., 2018) висвітлюють методологічні засади формування інституціонального середовища територіального планування землекористування, роль землеустрою у плануванні розвитку системи землекористувань у межах територіальних громад.

Земля є обмеженим природним ресурсом, тому суспільство повинно розумно та ощадливо розпоряджатися своїм національним багатством. Особлива увага повинна приділятися обґрунтуванню пропозицій щодо раціонального використання та охорони земель, вдосконалення умов і механізмів ефективного землекористування - максимально залучати до господарського обігу всіх земель і здійснювати їх ефективне використання.

1.2. Відновлювані джерела енергії в енергетичному комплексі України

Україна залежить від імпорتنих джерел енергії: газу, поставок ядерного палива. Для зміцнення енергетичної безпеки країни важливо зробити вибір: продовжувати фінансувати зовнішні енергоносії або все ж розвивати використання власних джерел енергії, з одночасним зростанням вкладу саме "зеленої" електроенергії в енергетичну незалежність України.

Країні варто змінювати енергетичні вектори на інвестування і розвиток відновлюваних (альтернативних) джерел енергії (ВДЕ), визнаний світовою тенденцією ще й тому, що це сприятиме нормалізації клімату, збільшить внесок в науку і технології шляхом створення потенціалу українських промислових потужностей з виробництва обладнання для ВДЕ, що даватиме мультиплікативний ефект взаємного стимулювання сектора ВДЕ та виробників обладнання і проектантів.

Закон України «Про альтернативні джерела енергії» (№555-IV, редакція від 22.05.2019) визначає *альтернативні джерела енергії* як відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Причини, внаслідок яких уже сьогодні стає можливим хоч епізодично, але все ж бути ВДЕ не допоміжним, а основним джерелом енергозабезпечення:

- 1) подолання енергетичної залежності від імпорتنих джерел енергії;
- 2) стрімке здешевлення обладнання, по-перше за рахунок науково-технологічного його удосконалення, по-друге, за рахунок налагодження масового і тому недорогого в перерахунку на одиницю продукції виробництва;
- 3) „інстинкт самозбереження” людства, який послідовно намагатиметься відвести нас подалі від загроз глобальних кліматичних, техногенних та воєнних катаклізмів, а це означає широкомасштабну переорієнтацію світової енергетики із вуглецевих та ядерних технологій на ВДЕ.

Реформування енергетичного сектору згідно Енергетична стратегія України (ЕСУ) на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» передбачає стале розширення використання всіх видів відновлюваної енергетики, яка стане одним з інструментів гарантування енергетичної безпеки держави. У коротко- та середньостроковому горизонті (до 2025 року) ЕСУ прогнозує зростання частки відновлюваної енергетики до рівня 12 % від загального первинного постачання енергії (ЗППЕ), що розраховується як сума виробництва (видобутку), імпорту, експорту, міжнародного бункерування суден та зміни запасів енергоресурсів у країні, та не менше 25 % – до 2035 року (включаючи всі гідрогенеруючі потужності та термальну енергію).

За умови подальшого здешевлення ВДЕ, їх економічно обґрунтований потенціал буде зростати. При цьому розширення використання альтернативної енергетики безпосередньо у споживача не підпадає під обмеження енергосистеми і формує перспективу динамічного розвитку на місцевому рівні. Державна політика має бути орієнтована на стимулювання первинної ініціативи приватних гравців ринку. Має стимулюватися також розвиток децентралізованої альтернативної енергетики (наприклад, наземні фотоелектричні системи), потенціал якої оцінюється у ~5 % споживання електроенергії населенням.

Для стимулювання розвитку альтернативної енергетики, використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в Україні у Податковому і Митному кодексах України містяться положення, якими передбачається:

- зниження податку на землю для підприємств відновлюваної енергетики;
- звільнення від оподаткування прибутку від основної діяльності компаній у сфері енергетики, які виробляють електроенергію з відновлюваних джерел;
- звільнення від обкладення податком на додану вартість операцій із ввезення на митну територію України устаткування, яке працює на відновлюваних джерелах енергії, обладнання і матеріалів для виробництва альтернативних видів палива або для виробництва енергії з відновлюваних джерел енергії, а також звільнення від сплати ввізного мита зазначеного устаткування, обладнання і матеріалів.

Крім того, відповідно до статті 71 Закону України «Про ринок електричної енергії» (№ 2019-VIII, редакція від 22.05.2019) електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії (частка яких становить не менш як 50 відсотків від встановленої потужності всіх задіяних на об'єкті джерел енергії), може бути продана її виробниками за двосторонніми договорами на ринку "на добу наперед", на внутрішньодобовому ринку та на балансуєчому ринку за цінами, що склалися на відповідних ринках, або за вигідним «зеленим» тарифом.

Державне стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії передбачає встановлення Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, **«зеленого» тарифу**, за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії; **надбавки до "зеленого" тарифу / до аукціонної ціни** за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва та **аукціонної ціни**, встановленої на підставі укладеного договору купівлі-продажу електричної енергії (з енергії вітру більше 5 МВт та з енергії сонячного випромінювання більше 1 МВт) між гарантованим покупцем та суб'єктом господарювання, який за результатами аукціону набув право на підтримку (стаття 9 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» №555-IV, редакція від 22.05.2019).

«Зелений» тариф встановлюється для кожного суб'єкта господарювання, який виробляє електричну енергію з альтернативних джерел енергії, за кожним видом альтернативної енергії та для кожного об'єкта електроенергетики або для кожної черги будівництва електростанції (пускового комплексу) до 1 січня 2030 року.

Розмір «зеленого» тарифу для суб'єктів господарювання встановлюється на рівні роздрібного тарифу для споживачів другого класу напруги станом на 1 січня 2009 року, помноженого на коефіцієнт "зеленого" тарифу для електричної енергії, виробленої з відповідного альтернативного джерела енергії (див. Додаток Б).

Фіксований мінімальний розмір «зеленого» тарифу для суб'єктів господарювання та приватних домогосподарств встановлюється шляхом перерахування в євро "зеленого" тарифу, розрахованого за правилами Закону України «Про альтернативні джерела енергії» (№555-IV, редакція від 22.05.2019), станом на 1 січня 2009 року за офіційним валютним курсом Національного банку України на зазначену дату.

Для введених в експлуатацію з 1 липня 2015 року по 31 грудня 2024 року об'єктів електроенергетики, які виробляють електроенергію з альтернативних

джерел енергії, до «зеленого» тарифу встановлюється *надбавка* за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва (таблиця 1.2) (Стаття 9² Закону України «Про альтернативні джерела енергії» №555-IV, редакція від 22.05.2019).

Надбавка за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва є фіксованою, у визначених відсотках, доплатою до «зеленого» тарифу / до аукціонної ціни пропорційною до рівня використання суб'єктом господарювання на відповідному об'єкті електроенергетики обладнання українського виробництва.

Ця надбавка встановлюється Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, за умови дотримання таких рівнів використання обладнання українського виробництва:

Таблиця 1. 2

Надбавка за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва

Розмір надбавки до "зеленого" тарифу, %	Рівень використання обладнання українського виробництва, %
5	30 - 49
10	>50

Підтримка виробників електричної енергії з альтернативних джерел енергії, які набули право на підтримку за результатами аукціону, здійснюється шляхом гарантування викупу всього обсягу електричної енергії, відпущеної такими виробниками, за *аукціонною ціною* з урахуванням надбавки до неї, на підставі укладеного договору купівлі-продажу електричної енергії між гарантованим покупцем та суб'єктом господарювання, який за результатами аукціону набув право на підтримку.

Аукціони запроваджуються з 1 липня 2019 року та проводяться до 31 грудня 2029 року. Аукціони з розподілу річних квот підтримки будуть проводитися двічі на рік, не пізніше 1 квітня та 1 жовтня відповідного року.

У рамках загальної або додаткової квоти Кабінетом Міністрів України можуть бути запропоновані земельні ділянки для будівництва об'єктів відновлюваної енергетики з визначеними технічними параметрами та технічними умовами на приєднання до електричної мережі.

У «Звіті про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг» зазначені ключові показники електроенергетичного сектору України за 2018 рік (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3

Ключові показники електроенергетичного сектору України за 2018 рік

*без Кримської ЕЕС та неконтрольованої території Донбаської ЕЕС

Виробництво: встановлена потужність *		МВт	%
	ГК ТЕС	21 842	43,7
	АЕС	13 835	27,7
	ГЕС	4 660,7	9,3
	ГАЕС	1 5095	3
	ТЕЦ	6 099,5	12,2
	ВЕС	532,8	1,1
	СЕС	1388,3	2,8
	Станції на біопаливі/біогазі	97,5	0,2
Передача: довжина мереж*		км	
	800 кВ	84	
	750 кВ	4 121	
	500-400 кВ	567	
	330 кВ	12 483	
	220 кВ	2 010	
	110 - 150 кВ	486	
	35 кВ	78	
	КЛ 110 – 0,4 кВ	3 747	

Передача: кількість підстанцій*		шт.	Потужність, МВА
	750 кВ	8	16 738
	500-400 кВ	1	799
	330 кВ	78	41 502
	220 кВ	14	4 424
	110 кВ	2	80
Передача: витрати в мережах		млн кВт•год	% від відпуску в мережу
		3 773	2,58
Розподіл: довжина мереж, км*		км	
	ПЛ 110 (150) кВ	35 432	
	ПЛ 35 кВ	60 812	
	ПЛ 6 (10) кВ	268 594	
	ПЛ 0,4 кВ	388 085	
	КЛ 110 (150) – 35 кВ	613	
	КЛ 6 (10) кВ	41 974	
	КЛ 0,4 кВ	31 200	
Розподіл: кількість підстанцій*		шт.	
	110 (150) кВ	1 414	
	35 кВ	6 528	
	ТП, РП 6 (10) кВ	196 668	
Розподіл: витрати в мережах		млн кВт•год	% від відпуску в мережу
		13 222,5	9,84

Згідно з Інформаційною довідкою про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України у грудні та за 2018 рік обсяг виробництва електричної енергії електростанціями, які входять до ОЕС України, за 2018 рік становить 159 350,5 млн. кВт•год (рис.1.5).

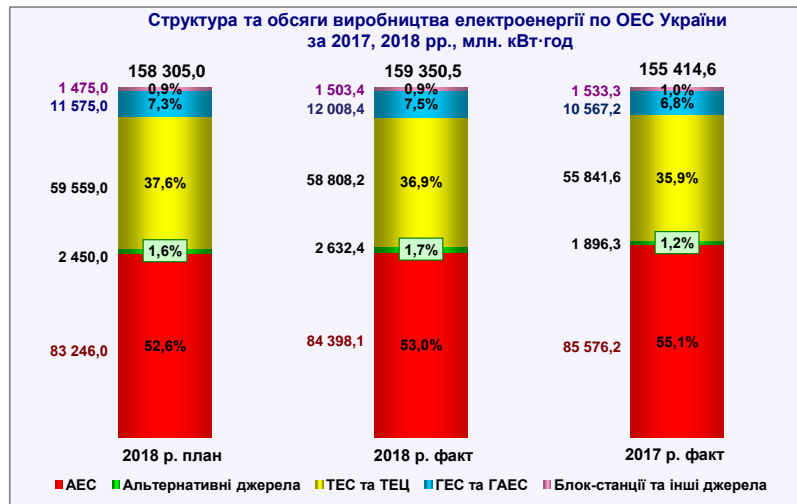


Рис. 1.5. Динаміка та структура виробництва електроенергії ОЕС України за 2017, 2018 роки [Джерело: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, лютий 2019]

За 2018 рік виробництво електроенергії альтернативними джерелами (ВЕС, СЕС, біомаса) порівняно з показником 2017 року збільшилось на 736,1 млн. кВт·год або на 38,8% та становило 2 632,4 млн. кВт·год.

Згідно *Інформаційної довідки про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за березень та 3 місяці 2019 року* обсяг виробництва електричної енергії електростанціями, які входять до ОЕС України, за 3 місяці 2019 року досяг 43 666,1 млн. кВт·год, що на 2,0% менше порівняно з відповідним періодом 2018 року (рис.1.6).

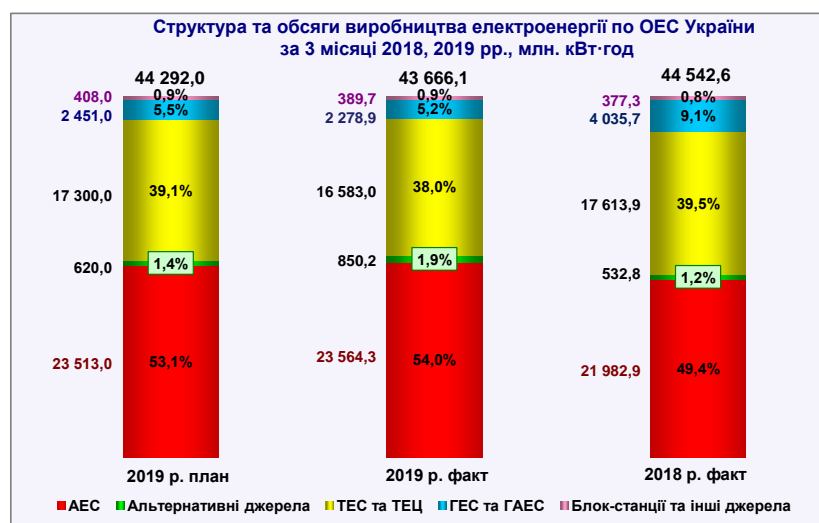


Рис. 1.6. Динаміка та структура виробництва електроенергії ОЕС України за березень та 3 місяці 2018, 2019 років [Джерело: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, травень 2019]

За 3 місяці 2019 року виробництво електроенергії альтернативними джерелами (ВЕС, СЕС, біомаса) порівняно з відповідним періодом 2018 року збільшилось на 317,4 млн. кВт·год або на 59,6% та становить 850,2 млн. кВт·год.

Зазначена вище динаміка виробництва електроенергії ОЕС України показує, що відсоток виробництва електроенергії з альтернативних джерел невинно зростає і, навіть, випереджає планові значення.

У 2018 році Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг встановила «зелений» тариф для 202 об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії.

Приріст встановленої потужності об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії, за підсумками 2018 року збільшився більше ніж у 2,8 разів у порівнянні з 2017 роком. За даними «Звіту про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг» загальна встановлена потужність об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії та яким встановлено «зелений» тариф, в порівнянні з 2017 роком збільшилась на 742,5 МВт (з яких ВЕС – 67,7 МВт, СЕС – 646,4 МВт, біомаса/біогаз – 24,4 МВт, мікро-, міні- та малі гідроелектростанції – 4 МВт) та становить 2 117,2 МВт (рис. 1.7).

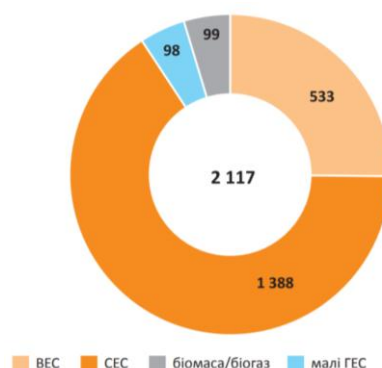


Рис. 1.7. Встановлена потужність виробників електричної енергії з ВДЕ за «зеленим» тарифом у 2018 році, МВт [Джерело: Звіт про результати діяльності

Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, 2019]

Загальна встановлена потужність генеруючих установок приватних домогосподарств зростає у 3 рази: з 51 МВт станом на кінець 2017 року до 157 МВт наприкінці 2018 року.

Будівництво та введення в експлуатацію у 2018 році нових об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії, дало змогу збільшити зайнятість у секторі на 896 робочих місць.

Станом на 01.01.2019 в секторі енергетики, пов'язаному з виробництвом електричної енергії з альтернативних джерел енергії, зайнято 3060 робітників. Найбільшими СЕС, введеними в експлуатацію у 2018 році, є ТОВ «Енергопарк «Яворів» потужністю 36,8 МВт, ТОВ «Нива Солар» – 21,8 МВт, ТОВ «Токмак Солар Енерджі» - 35,2 МВт (Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, 2019).

Відповідно до статистичних форм звітності НКРЕКП за 2018 рік Топ-50 найбільших об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з ВДЕ та яким встановлено «зелений» тариф, відпустили в ОРЕ 2,2 млрд кВт•год на загальну суму 10,5 млрд грн, що складає приблизно 80% від усієї електроенергії, виробленої з ВДЕ. Середньозважений «зелений» тариф для Топ-50 найбільших виробників склав 487 коп/кВт•год (без ПДВ). Фінансовий результат до оподаткування склав 3,4 млрд грн, у тому числі 471 млн грн податку на прибуток.

Динаміка встановленої потужності виробників з ВДЕ за «зеленим» тарифом за 2013 – 2018 роки (рис.1.8) вказує на повільний розвиток альтернативної енергетики у період з 2014 по 2017 роки, але станом на кінець 2018 року показує різке збільшення майже удвічі встановленої потужності виробників з ВДЕ. При цьому це відбулося за рахунок збільшення потужностей саме сонячних електростанцій.

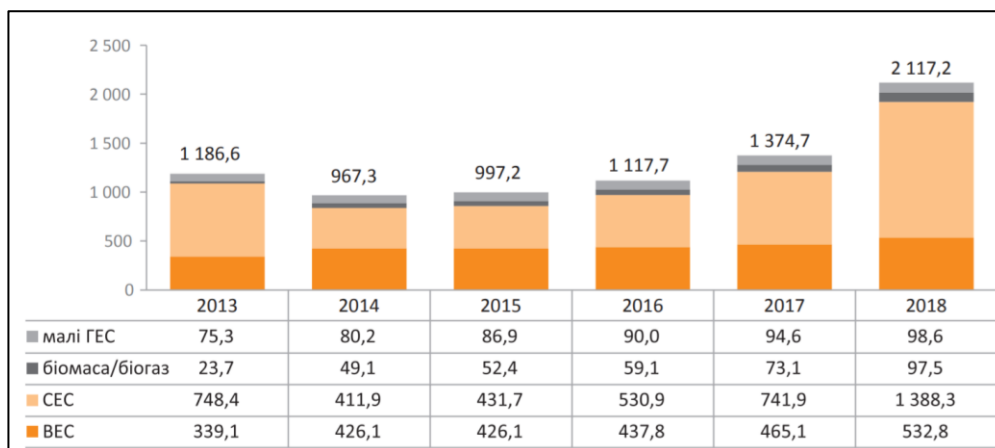


Рис. 1.8. Динаміка встановленої потужності виробників з ВДЕ за «зеленим» тарифом, МВт

[Джерело: Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, 2019]

Кількість суб'єктів господарювання та об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання збільшилася у період з 2013 по 2018 роки: кількість суб'єктів господарювання - у 3,3 разів, об'єктів електроенергетики у 4,3 разів (рис.1.9).

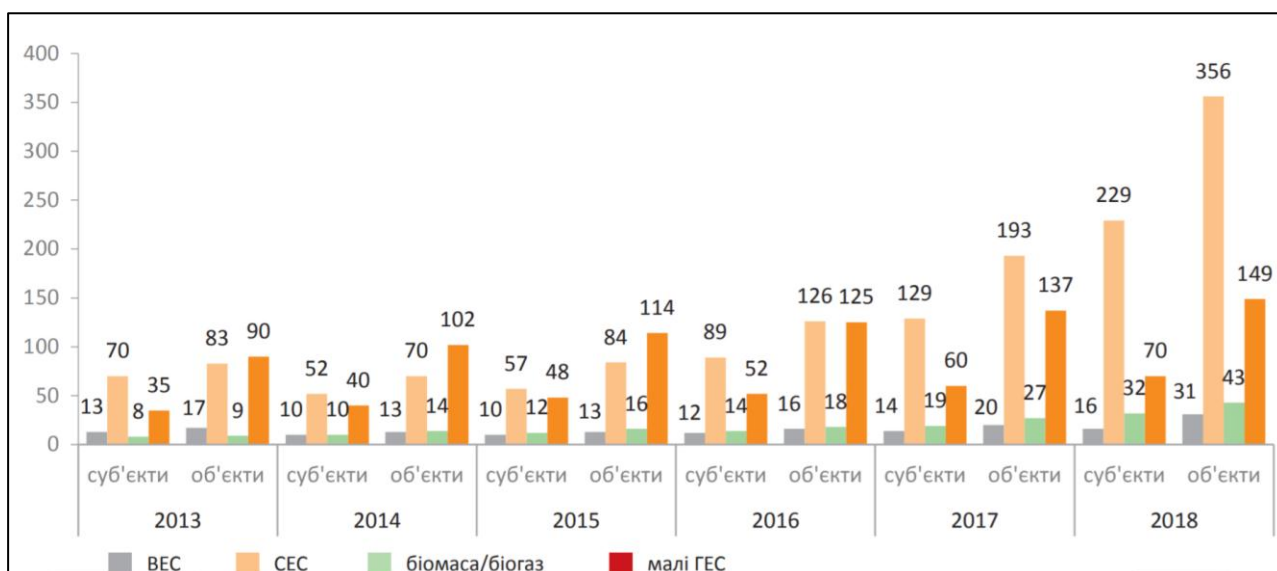


Рис. 1.9. Динаміка кількості суб'єктів господарювання та об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з ВДЕ
[Джерело: Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, 2019]

Серед відновлюваних джерел енергії, *сонячна енергія* швидко стає популярною, оскільки вона невичерпна, чиста, надійна, і відносно дешева. Крім того, вона стала більш ефективною, так як зросла ефективність перетворення енергії у фотоелектричних сонячних панелях (батареях). Слідуючи цим тенденціям, сонячна енергія стане ще доступнішою в найближчі роки і тому слід очікувати наплив значних інвестицій у цю галузь.

В Україні існують сприятливі умови для її розвитку. Річна сума глобальної сонячної радіації у країні більша, ніж у Німеччині – світового лідера у галузі сонячної енергетики, коливається в межах від 1 070 кВт год на один кв. метр в північній частині України до 1 750 кВт год на один кв. метр і вище у південній частині країни та в Автономній Республіці Крим (Дорожня карта розвитку сонячної енергетики на період до 2020 року, 2016).

Перетворення сонячної енергії в електричну слід здійснювати насамперед з використанням фотоелектричних панелей. Наявність значних запасів сировини, промислової та науково-технічної бази для їх виготовлення може задовольнити повністю потреби вітчизняних споживачів.

Виробничі можливості тільки таких гігантів мікроелектроніки, як виробничі об'єднання «КВАЗАР», «ІРВА» (м. Київ), «Гравітон» (м. Чернівці), «Хартрон» (м. Харків), «Гамма» і «Електроавтоматика» (м. Запоріжжя), «Дніпро» (м. Херсон), «Позитрон» (м. Івано-Франківськ) дозволяють провести повний технологічний цикл створення сонячних панелей. Україна має висококваліфікований науковий потенціал в цій галузі (Інститут фізики напівпровідників та Інститут електродинаміки НАНУ, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Національний технічний університет «КПІ»).

1.3. Правовий режим земель альтернативної енергетики

Згідно Закону України «Про альтернативні джерела енергії» (№555-IV, редакція від 22.05.2019) альтернативна енергетика – це сфера енергетики, що

забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії.

Об'єктом альтернативної енергетики є енергогенеруюче та інше обладнання, що виробляє енергію за рахунок використання альтернативних джерел енергії, частка яких становить не менш як 50 відсотків від встановленої потужності всіх задіяних на об'єкті джерел енергії.

Відповідно до Закону України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів» (№2480-VI, редакція від 01.01.2019) до земель енергогенеруючих підприємств альтернативної енергетики відносяться земельні ділянки, надані для розміщення, будівництва та експлуатації об'єктів з виробництва електричної та теплової енергії – малих гідроелектростанцій, вітроелектростанцій, електростанцій з використанням енергії сонця, геотермальних електростанцій, біоелектростанцій та електростанцій з використанням інших відновлюваних джерел отримання електроенергії.

До земель місцевої (локальної) електричної мережі відносяться земельні ділянки, надані для розміщення, будівництва, експлуатації та обслуговування об'єктів передачі електричної енергії від магістральної електричної мережі до споживачів електричної енергії: повітряні і кабельні лінії електропередачі, трансформаторні підстанції та розподільні пункти, струмопроводи, пристрої і споруди диспетчерсько-технологічного управління процесом електропередачі, повітряні або кабельні вводи до житлових або нежитлових споруд (Закон України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів» (№2480-VI, редакція від 01.01.2019).

Земельні ділянки державної та комунальної власності надаються у власність і користування (у тому числі в оренду) для потреб альтернативної енергетики за рішенням органів виконавчої влади або органів місцевого самоврядування відповідно до їх повноважень та в порядку, встановленому Земельним кодексом України.

Для будівництва, розміщення та експлуатації об'єктів виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії земельні ділянки всіх форм

власності, за договором з власником чи користувачем земельної ділянки, можуть використовуватися також шляхом встановлення постійних або строкових земельних сервітутів, суперфіцію для будівництва об'єкта електроенергетики для виробництва електричної енергії з ВДЕ, у тому числі відповідної черги будівництва (пускового комплексу) без зміни цільового призначення цих земельних ділянок.

Об'єкти передачі електроенергії можуть розміщуватися на земельних ділянках усіх категорій земель без зміни їх цільового призначення.

Відчуження земельних ділянок, що перебувають у власності громадян та юридичних осіб, для будівництва об'єктів енергетики може здійснюватися в порядку та на умовах, визначених Законом України "Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності" (№1559-VI, редакція від 25.03.2018).

Місця розташування енергогенеруючих підприємств і виробничих об'єктів енергетики у разі необхідності вилучення земельних ділянок державної чи комунальної власності або викупу земельних ділянок приватної власності до початку проведення проектних робіт погоджуються у встановленому порядку виключно з власниками і користувачами земельних ділянок та органами державної влади або органами місцевого самоврядування, до повноваження яких віднесено вилучення (викуп) цих земельних ділянок.

Розташування об'єктів магістральної, місцевої (локальної) електричних мереж погоджується лише з відповідними сільськими, селищними, міськими радами або місцевими державними адміністраціями, Кабінетом Міністрів України.

Конфігурація і розміри площ, що надаються для розміщення трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів, струмопроводів, пристроїв і споруд, що належать до електричних мереж, визначаються за проектами їх будівництва.

Вздовж повітряних і кабельних ліній електропередачі, трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів, споруд альтернативної енергетики для забезпечення нормальних умов їх експлуатації, запобігання ушкодженню, а також для зменшення їх негативного впливу на людей, суміжні землі, природні об'єкти та довкілля встановлюються *охоронні зони* у вигляді земельної ділянки і повітряного простору, обмежених вертикальними площинами, що віддалені по обидва боки ліній від крайніх проводів за умови невідхиленого їх положення на певній відстані залежно від напруги ліній електропередачі.

Для захисту населення від шкідливого впливу електричних полів, спричиненого певною їх напругою створюється *санітарно-захисна зона* у вигляді території, межі якої регламентуються по обидва боки ліній на певній відстані від проекції крайніх фазних проводів чи/або кабелів на землю в перпендикулярному до електролінії напрямку (Закон України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів» №2480-VI, редакція від 01.01.2019; Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Правил охорони електричних мереж (№ 209-97-п, редакція від 22.03.2017); Perovych, I., Kazanivska, O., and Kereush, D., 2015).

Висновки до першого розділу

Зважаючи на те, що в Україні високими темпами розвивається сонячна енергетика, виникає проблема розробки технології використання земель різних категорій для потреб сонячної енергетики.

1. Визначено, що на території України сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом (0,03%) та відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (1,68%) можуть бути потенційно придатними для розташування на них об'єктів альтернативної енергетики, а саме наземних сонячних електростанцій.

2. Тимчасове виведення деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених орних земель (20% ріллі України) із сільськогосподарського використання і проведення на них робіт щодо відновлення їхньої родючості з

одночасним спорудженням на таких землях об'єктів альтернативної енергетики, призведе до часткового відновлення родючості цих земель та забезпечить отримання економічного прибутку з їх використання.

3. З аналізу наукових праць вітчизняних вчених зроблено висновок, що проблема ефективного землекористування є дуже актуальною і, водночас, складною, та варто досліджувати і впроваджувати інноваційні методи у сферу землеустрою шляхом застосування новітніх геоінформаційних технологій в управлінні земельними ресурсами.

4. Визначено, що Інтерактивна мапа щодо земельного розподілу в регіонах для будівництва об'єктів сонячної та вітряної енергетики позначає 648 земельних ділянок у 21 області України, які пропонуються для розміщення об'єктів альтернативної енергетики станом на березень 2016 року.

5. Встановлено, що відсоток виробництва електроенергії з альтернативних джерел невідмінно зростає і, навіть, випереджає планові значення. За 2018 рік виробництво електроенергії альтернативними джерелами порівняно з показником 2017 року збільшилось на 38,8%. Приріст встановленої потужності об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії, за підсумками 2018 року збільшився більше ніж у 2,8 разів у порівнянні з 2017 роком. Це відбулося за рахунок збільшення потужностей саме сонячних електростанцій.

6. Встановлено, що в Україні існують сприятливі умови для розвитку сонячної енергетики - річна сума глобальної сонячної радіації коливається в межах від 1 070 кВт год на один метр квадратний до 1 750 кВт год на один метр квадратний і вище.

7. Визначено, що нормативно-правова база щодо правового режиму земель альтернативної енергетики сприяє розвитку відновлюваних джерел енергії, який зміцнить енергетичну безпеку держави та незалежність від імпортованих джерел енергії, збільшить внесок в науку і технології шляхом створення потенціалу українських промислових потужностей з виробництва обладнання

для ВДЕ, що даватиме мультиплікативний ефект взаємного стимулювання сектора ВДЕ та виробників обладнання.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

В дослідженні пропонується сконцентруватися на знаходженні та аналізі земельних ресурсів для подальшого їх використання для потреб паливно-енергетичного сектора держави, а саме для об'єктів сонячної енергетики – наземних промислових сонячних електростанцій (СЕС) потужністю від 500 кВт і вище, які виробляють електроенергію за допомогою фотоелектричних панелей.

Швидка і якісна оцінка земельних ресурсів шляхом комплексного аналізу наявних просторових даних, законодавчої бази допоможе прискорити процес пошуку придатних земель для наземних сонячних електростанцій, забезпечить планувальників достовірною інформацією про те, де потенційно очікувати нового розвитку сонячної енергетики.

Вибору придатних земель для сонячних електростанцій присвячена ціла низка, на жаль, тільки зарубіжних наукових праць на даний момент. Це більшою мірою зумовлено тим, що за кордоном вже давно затвердилася тенденція використання альтернативних джерел енергії, зокрема енергії Сонця, в той час коли в Україні вона лише набирає обертів - з кожним роком споруджується все більше невеликих сонячних електростанцій потужністю до 8 МВт, а також великих промислових СЕС потужністю 20 МВт і більше.

Праця Broesamle Н. (Broesamle Н., 1999) була однією з перших, в якій було використано ГІС моделювання для оцінки потенціалу сонячної електроенергії. Дослідження зосереджене на виборі місць розташування для сонячних теплових електростанцій в Північній Африці. Розроблена вченим система STEPS складається з основного модуля і п'яти пов'язаних підмодулів. Підмодулі використовуються для оцінки географічних, метеорологічних умов, завантаження бази даних інфраструктури країни, виконання економічного аналізу. Ця модель була першою, в якій використовувалися різні вхідні дані, які

згодом аналізувалися та в результаті отримувалися дані щодо оптимального вибору майданчика для СЕС. Географічні дані, які використовуються в цій моделі: тип використання земельної ділянки/дані щодо земельного покриву, цифрова модель рельєфу (ЦМР) та ухил поверхні. Система STEPS дозволяє користувачам виконувати оцінку сонячної радіації за допомогою метеорологічних даних, моделювати продуктивність електростанції і оцінити попередню вартість сонячної теплової електростанції, розрахувати витрати на інфраструктуру, які залежать від відстаней від доріг, ліній електропередач, а також наявність води для охолодження станції.

Aran Carrion, J., A. Espin Estrella, F. Aznar Dols, і A. Ramos Ridao (Aran Carrion, J. et al., 2008a) розробили систему підтримки прийняття рішень для вибору придатних земель для з'єднаних з мережею фотоелектричних електростанцій. Вони використали екологічні, кліматичні, природні критерії для створення системи підтримки прийняття рішень. Їх модель була заснована на мультикритеріальному аналізі.

Bravo J. D., Casals X. G., Pascua I. P. (Bravo, J. D. et al., 2007) виконали подібні дослідження в Іспанії; Fluri T. P. (Fluri, T. P., 2009) - для Південної Африки; Clifton J. і Boruff B. J. (Clifton, J., and Boruff, B. J., 2010) також використовували ГІС-інструментарій для оцінки областей потенційного розвитку СЕС в сільських районах Західної Австралії.

У дослідженні (Juan M. Sánchez-Lozano et al., 2013) поєднано ГІС (програмне забезпечення gvSIG) і методи мультикритеріального аналізу АНР і TOPSIS для отримання оцінки оптимального розміщення фотоелектричних сонячних електростанцій в районі міста Картахена, Іспанія.

Yassine Charabi, Adel Gastli та Al-Yahyai S. (Al-Yahyai, S., Charabi, Y., and Gastli, A., 2010) для оцінки придатності земель для промислових СЕС в Омані використали просторовий мультикритеріальний оціночний підхід (модуль FLOWA) та ГІС (програмне середовище ArcGIS).

Enrico Borgogno Mondino, Enrico Fabrizio, Roberto Chiabrando (Enrico Borgogno Mondino et al., 2015) розробили інструмент підтримки прийняття

рішень на основі кількісних показників для вибору земельних ділянок для великих наземних фотоелектричних установок у П'ємонті, Італія. У цьому дослідженні розглянуті як якісні критерії включення / виключення (наприклад, виключення територій національного значення), так і критерії кількісного визначення (наприклад, наявність потенціалу енергії Сонця). Агрегація кількісних критеріїв до кінцевого індикатора здійснюється за допомогою штучної нейронної мережі (ШНМ), «навченої» за значеннями, які притаманні земельним ділянкам, на яких розташовані вже існуючі фотоелектричні установки в регіоні.

Aran Carrion, J., A. Espin Estrella, F. Aznar Dols, M. Zamorano Toro, M. Rodriguez, і A. Ramos Ridao (Aran Carrion, J. et al., 2008b) описують систему підтримки прийняття рішень для навколишнього середовища (EDSS) для вибору оптимальних земельних ділянок для підключених до електромережі фотоелектричних електростанцій. Ця система поєднує мультикритеріальний аналіз і застосування ГІС-технологій, та враховує екологію, орографію, місце розташування та кліматичні фактори.

Madjid Tavana, Francisco J.Santos Arteaga, Somayeh Mohammadi, Moslem Alimohammad (Madjid Tavana et al., 2017) представили треступеневу систему нечіткої оцінки, призначену для врахування неточності, властивої оцінкам при визначенні найбільш придатного місця для розташування СЕС. Перший ступінь – це використання адаптивної системи нейро-нечітких висновків ANFIS і отримання когерентного набору апроксимацій для кожного потенційного розташування та критерію оцінки. Другий ступінь - метод АНР для визначення ваг різних критеріїв, та третій ступінь - визначення набору правил if-then, що поєднують різні критерії оцінки ANFIS та їх ваги в рамках FIS (система нечітких висновків). Ефективність запропонованої системи оцінювання продемонстрована шляхом її застосування для регіонів Керман і Язд (Іран).

Звідси можна зробити висновок, що поєднання ГІС - мультикритеріальний аналіз генерує відмінний інструмент аналізу, що дозволяє створювати обширну картографічну базу даних, яка пізніше буде використана для прийняття

ефективних рішень, наприклад, у знаходженні найбільш оптимального розміщення об'єктів енергетики.

2.1. Технологія вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних фотоелектричних електростанцій

Відповідно до головної мети даного дослідження створено технологію вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних електростанцій (рис. 2.1) (Kereush, D., Perovych, L., 2019; Kereush, D., Perovych, L., 2017).

Технологія реалізується як за допомогою платного програмного забезпечення, так і програмного забезпечення FOSS (Free and Open-Source Software), що розповсюджується за вільними ліцензійними угодами і з загальнодоступними (відкритими) вихідними кодами, які є безкоштовними.

Для того, щоб дозволити всім зацікавленим інвесторам, підприємцям, органам виконавчої влади використовувати дану технологію та створювати власну карту-схему придатності земель для СЕС безкоштовно, у дослідженні пропонується застосування програмного забезпечення FOSS та джерел даних, які є у вільному доступі.

Перший, найважливіший, етап – це аналіз та визначення критеріїв впливу та вимог до вибору земельної ділянки для розміщення наземних сонячних електростанцій.

Другий етап являє собою збір різних типів даних (векторних, растрових, непросторових даних) відповідно до вимог.

Третій етап - створення бази даних, яка включає всі необхідні та доступні дані. Ця геобаза даних повинна легко розширюватися з появою більшої кількості шарів інформації, як тільки вони будуть доступні.

Четверта, найбільша частина – це опрацювання даних. Вона поділяється на обробку критеріїв оцінки та критеріїв виключення. Обробка критеріїв оцінки здійснюється за допомогою QGIS - географічної інформаційної системи з відкритим вихідним кодом, з використанням методу мультикритеріального

аналізу (GIS-MCA) для створення початкової карти-схеми придатності земель на основі аналізу критеріїв оцінки. Критерії виключення обробляються за допомогою комбінованого застосування програмного забезпечення QGIS (аналіз даних, візуалізація) та MultiSpec (класифікація супутникових знімків) з метою створення маски земель, непридатних для розташування СЕС.

На п'ятому заключному етапі проводиться аналіз даних - отримані дані після попередніх етапів аналізуються, об'єднуються і, як результат, готується остаточне рішення щодо придатності земель для сонячних електростанцій.

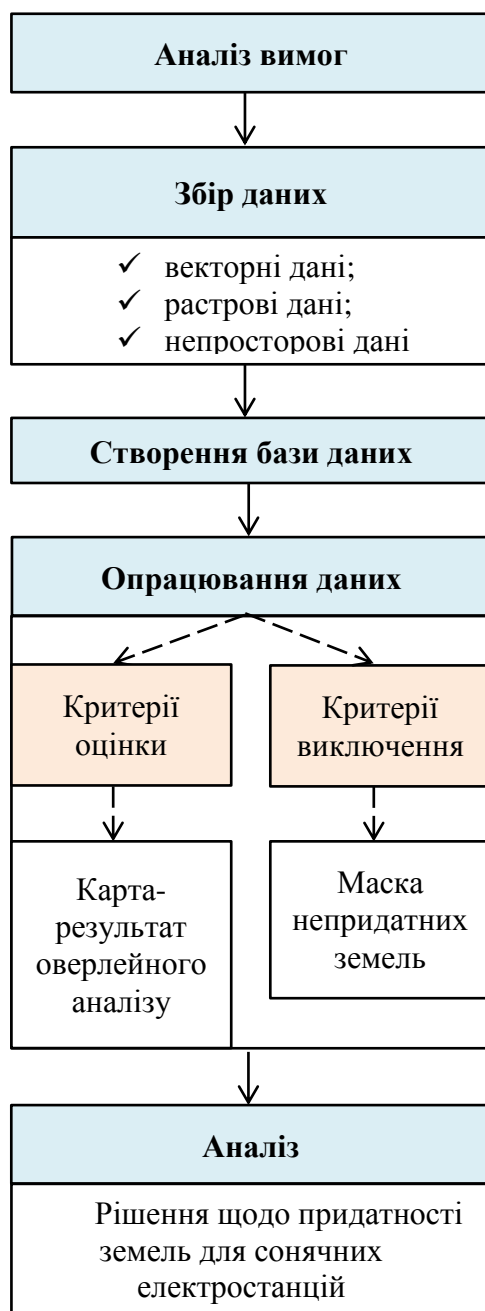


Рис. 2.1. Технологія вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних електростанцій [Джерело: дослідження автора]

2.2. Аналіз факторів впливу на вибір оптимального розташування об'єктів сонячної енергетики

Знаходження придатних земельних ресурсів для оптимального розміщення наземних сонячних електростанцій важливе для мінімізації ризиків та негативних впливів проєктів, а також для максимізації корисних аспектів. Зокрема, оптимальне розміщення може максимізувати вироблення електроенергії при мінімізації витрат, впливів на навколишнє середовище та соціальної опозиції.

2.2.1. Визначення критеріїв впливу та вимог до вибору ділянки для розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій

Наукові дослідження, що використовують геоінформаційні системи (ГІС) для аналізу розміщення сонячних електростанцій, враховують ряд критеріїв та вимог. До таких критеріїв відносяться фізичні вимоги до земельних ділянок, екологічні міркування, обмеження щодо землекористування, соціальні міркування та вимоги до енергетичної інфраструктури (J. Brewer et al., 2015). У дослідженнях, які застосовують мультикритеріальний аналіз щодо підтримки прийняття рішень, науковці відповідно до своєї компетенції, експертних висновків або власного судження класифікують конкретні критерії в декількох діапазонах.

Критерії, що пропонуються автором (Kereush, D., Perovych, I., 2017) для визначення місця розташування наземної сонячної фотоелектричної електростанції (СЕС) наведені у таблиці 2.1.

Критерії, що враховуються для оптимального розміщення наземної СЕС

#	Критерії	Вимоги
Критерії оцінки		
1	Достатня кількість сонячної радіації	мінімум 1100 кВтгод/м ² у рік
2	Ухил та експозиція схилів земної поверхні	<ul style="list-style-type: none"> • ухил <20⁰; • експозиція схилів = 110-200⁰ (Пд-Сх, Пд, частково Пд-Зх)
3	Близькість до ліній електропередач (ЛЕП)	ЛЕП з напругою ≥ 35 кВ у радіусі 600 м
4	Близькість до підприємств	< 3 500 м
5	Близькість до населених пунктів	< 2 500 м
6	Близькість до дорожньої мережі	< 500 м
7	Температура повітря у липні (Північна півкуля)	15-40 ⁰ С
8	Відсутність багатоповерхової забудови поряд (> 16 поверхів)	> 100 м
9	Близькість до житлових районів у містах	> 500 м
Критерії виключення		
10	Тип земної поверхні	<input type="checkbox"/> Вільна від лісів, водойм, будівель, заболочених земель, заплав; <input type="checkbox"/> Переважно низька і середня трав'яниста рослинність (але: не рілля), кущі, кам'яністі землі, виснажені та деградовані землі, закриті сміттєзвалища
11	Землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення, землі історико-культурного призначення	Національні та регіональні парки, райони культурної спадщини, палеонтологічні та археологічні пам'ятки
12	Землі оборони	Військові частини, установи, військово-навчальні заклади, підприємства і організації Збройних Сил України
13	Берегова лінія	> 1 000 м
14	Високігірні райони	Висота > 1 500 м

Більша кількість **сонячної радіації** - більше електроенергії, отриманої від фотоелектричного модуля. Щоб бути економічно життєздатними, фотоелектричні системи, як правило, потребують сонячного опромінення в кількості 1100 кВтгод / м² на рік (Stoms, D. M., 2013; Castillo, C. P. et al., 2016).

Що стосується *ухилу місцевості*, то в цілому рівнинна поверхня найбільш підходить для розташування сонячних об'єктів. У міру збільшення схилу, збільшується складність проектування, що часто призводить до пропорційного збільшення вартості системи. Установка фотоелектричних модулів на крутих схилах може привести до проблем, пов'язаних з ерозією і стійкістю фундаменту (Brewer, J. et al., 2015; Tahri, M. et al., 2015). Ці проблеми часто призводять до збільшення вартості системи.

В літературі існує велика різниця в значеннях ухилу, які вважаються придатними для сонячних електростанцій: різні дослідження обмежують ухили менше 3° (Aran, Carrion et al., 2008a; Uyan, M., 2013), 5° (Stoms, D. M., 2013), та 15-20° (Arnette, A. N. et al., 2011; Castillo, C. P. et al., 2016).

Ухил земної поверхні впливає як на умови оптимальної орієнтації і нахилу фотоелектричних модулів, так і на технічну складову встановлення всієї фотоелектричної електростанції. Вважається, що максимальний ухил, що робить установку технічно здійсненою, становить 20°. Якщо ухил невеликий, то тоді його *експозиція схилу* - положення земної поверхні (схилів долини, яру, гірського хребта тощо) по відношенню до сторін світу - не має значення, оскільки це може бути легко компенсовано опорними структурами для фотоелектричних панелей; але ж, на крутіших схилах, експозиція схилу є стримуючим фактором, і в такому разі сонячна електростанція повинна бути побудована тільки в південно-орієнтованій місцевості (для Північної півкулі), щоб отримати якомога більшу кількість сонячних променів для виробництва електроенергії.

Температура повітря безпосередньо впливає на продуктивність сонячної електростанції та на період її експлуатації. Електричні параметри будь-якого фотоелектричного модуля (панелі) визначаються в стандартних умовах тестування, а саме, при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/кв.м. і робочій температурі панелі 25°C. (Jraidi, M. et al., 2014). Оптимальна температура повітря для експлуатації сонячних панелей становить 15-40 °C.

В рамках загальної тенденції зниження виробленої потужності зі зростанням робочої температури, кожен тип сонячних модулів веде себе по-різному. Інформаційний аркуш будь-якого фотоелектричного модуля повинен вказувати його температурний коефіцієнт (табл. 2.2) (Centre of Sustainable Building & Construction Authority, Singapore, 2011).

Таблиця 2.2

Температурний коефіцієнт різних технологій фотоелектричних елементів

<i>Технологія</i>	<i>Температурний коефіцієнт [%/°C]</i>
Crystalline silicon	-0.4 to -0.5
CIGS	-0.32 to -0.36
CdTe	-0.25
a-Si	-0.21

Питання, пов'язані з *близькістю ділянки* для сонячної електростанції *до лінії електропередач*, розглядається як економічний фактор. Це знижує витрати на монтаж та створення нової інфраструктури. Чим ближче ділянка до існуючих ліній електропередач, тим менші будуть витрати на з'єднання з мережею, а також менші втрати, пов'язані з передачею електроенергії (Castillo, S. P. et al., 2016; Charabi, Y. et al., 2011). Сонячна електростанція з потужністю від 5 МВт до 15 МВт вимагає наявності неподалік високовольтних ліній електропередач з потужністю 35кВ, в той час як сонячна електростанція з потужністю понад 15 МВт вимагає спеціальних ліній електропередачі високої напруги понад 35 кВ.

У низці досліджень для розташування сонячних електростанцій земельні ділянки пропонується виділяти *ближче до районів з високим попитом на електроенергію* (тобто міст, сіл, підприємств), тому що це мінімізує відстань передачі електроенергії, і, як наслідок, мінімізує втрати, пов'язані з передачею електроенергії (Janke, J. R., 2010; Tahri, M. et al., 2015; Aran, Carrion et al., 2008a; Aran, Carrion et al., 2008b).

Оскільки будівництво доріг є дорогим, вибір місць, *розташованих ближче до доріг*, є дешевшим і може мінімізувати вплив на навколишнє

середовище, пов'язаний з будівництвом нових доріг (Janke, J. R., 2010; Charabi Y. et al., 2011). Існуюча дорожня мережа має бути придатною для транспортування матеріалів, необхідних для будівництва сонячної електростанції. Також, на потенційно придатній земельній ділянці повинні бути дороги близько 3 м в ширину для відповідного обслуговування станції. Фотоелектричні системи можуть бути інтегровані в інфраструктуру як шумові бар'єри вздовж доріг.

Багатоповерхові будівлі призводять до затінення сонячної електростанції в певний проміжок часу. Цей фактор безпосередньо впливає на їх продуктивність. Тому доцільно встановити СЕС подалі від даного типу будівель.

У той час як деякі дослідження вважають бажаним, щоб СЕС були **близькими до міських житлових районів** з високим попитом на електроенергію (Janke, J. R., 2010), інші вважають небажаним розташовувати сонячні електростанції надто близько до них. Основними причинами цієї занепокоєності є збільшення потенціалу несприйняття під назвою «не у моєму задньому дворі» (NIMBY) та можливість перешкоджання росту міст (Sanchez-Lozano, J. M. et al., 2013; Castillo, C. P. et al., 2016; Uyan, M., 2013).

Тип землекористування та доступність можуть стати проблемою як для фактичного майданчика для спорудження СЕС, так і уздовж основного маршруту ЛЕП до нього (Aran, Carrion et al., 2008б). Ці питання необхідно розглянути на початковому етапі, щоб уникнути будь-яких проблем на етапі експлуатації. Як правило, лінія електропередач перетинає земельні ділянки, які належать різним власникам – саме це може стати проблемою для придбання або оренди таких земельних ділянок. Це, в кінцевому рахунку, може призвести до деяких обмежень щодо доступу до обраних для сонячної енергетики земель уздовж обраного маршруту. Таким чином, важливо ретельно перевірити кадастрові документи, права власності та земельні угоди.

Щодо **типу земельної поверхні**, то придатна територія для встановлення наземної СЕС повинна бути вільною від лісів, водойм, будівель, боліт, заплав і,

бажано, мати низьку чи середню трав'янисту рослинність або чагарники, кам'янистий рельєф, деградовані землі (Aran, Carrion et al., 2008a; Aran, Carrion et al., 2008b; Charabi, Y. et al., 2011; Arnette, A. N. et al., 2011; Tahri, M. et al., 2015).

Сонячні електростанції не будуються на *територіях, що належать до національних та регіональних природних парків, районів культурної спадщини, або ж на територіях, де розташовані палеонтологічні та археологічні пам'ятки* (Arnette, A. N. et al., 2011; Castillo, C. P. et al., 2016; Charabi, Y. et al., 2011; Sanchez-Lozano, J. M. et al., 2013; Brewer, J. et al., 2015). Ретельне дослідження на наявність даних територій має бути проведене на ранніх етапах реалізації проекту.

Будівництво СЕС заборонено на *землях оборони*. Навколо військових частин та оборонних об'єктів можуть створюватися зони з особливим режимом використання земель з метою забезпечення функціонування цих військових частин та об'єктів, збереження озброєння, захисту населення, господарських об'єктів і довкілля від впливу аварійних ситуацій, стихійних лих і пожеж, що можуть виникнути на цих об'єктах (Закон України «Про використання земель оборони» №1345-IV, редакція від 06.05.2012). Перевірка на наявність таких земель на досліджуваній території є обов'язковою.

Відстань щонайменше 1 000 м *від берегової лінії* може врятувати від пошкоджень СЕС у разі стихійного лиха. Інша причина полягає в тому, що земельні ділянки у прибережних районах коштують дорожче, і тому можуть бути економічно нерентабельними для таких установок.

Крім того, *високогірні території* мають різкі перепади висот, тому і не є бажаними для спорудження великої наземної сонячної електростанції.

У таблиці 2.3 перераховані аналогічні критерії, що розглядаються різними дослідженнями.

Критерії розташування СЕС, що розглядаються у 11 дослідженнях

<i>Критерії</i>	<i>Кількість досліджень</i>	<i>Автори досліджень</i>
Ухил / експозиція схилів	10	Aran Carrion et al., 2008a Aran Carrion et al., 2008b Charabi Y. et al., 2011 Arnette A. N. et al., 2011 Tahri M. et al., 2015 Brewer J. et al., 2015 Uyan M., 2013 Stoms D. M., 2013 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Castillo C. P. et al., 2016
Достатня кількість сонячної радіації	10	Aran Carrion et al., 2008a Aran Carrion et al., 2008b Charabi Y. et al., 2011 Arnette A. N. et al., 2011 Tahri M. et al., 2015 Brewer J. et al., 2015 Uyan M., 2013 Stoms D. M., 2013 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Castillo C. P. et al., 2016
Тип землекористування та тип земної поверхні	10	Aran Carrion et al., 2008a Aran Carrion et al., 2008b Charabi Y. et al., 2011 Arnette A. N. et al., 2011 Tahri M. et al., 2015 Brewer J. et al., 2015 Uyan M., 2013 Stoms D. M., 2013 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Castillo C. P. et al., 2016
Близькість до дорожньої мережі	8	Tahri M. et al., 2015 Brewer J. et al., 2015 Uyan M., 2013 Castillo C. P. et al., 2016 Aran Carrion et al., 2008b Charabi Y. et al., 2011 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Janke J. R., 2010

Близькість до ліній електропередач (ЛЕП)	6	Brewer J. et al., 2015 Uyan M., 2013 Castillo C. P. et al., 2016 Charabi Y. et al., 2011 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Janke J. R., 2010
Землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення	6	Aran Carrion et al., 2008a Aran Carrion et al., 2008b Arnette A. N. et al., 2011 Castillo C. P. et al., 2016 Charabi Y. et al., 2011 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013
Землі історико-культурного призначення	5	Brewer J. et al., 2015 Aran Carrion et al., 2008a Aran Carrion et al., 2008b Charabi Y. et al., 2011 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013
Температура повітря	6	Jraidi M. et al., 2014 Aran Carrion et al., 2008a Aran Carrion et al., 2008b Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Tahri M. et al., 2015 Janke J. R., 2010
Віддаленість від міських житлових районів	4	Uyan M., 2013 Castillo C. P. et al., 2016 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Janke J. R., 2010
Об'єкти водного фонду	4	Castillo C. P. et al., 2016 Charabi Y. et al., 2011 Sanchez-Lozano J. M. et al., 2013 Aran Carrion et al., 2008b

2.2.2. Узгодженість експертних суджень щодо оцінки критеріїв впливу

У деяких випадках у зв'язку з відсутністю достовірної інформації про вплив різних природних факторів на господарську діяльність, пов'язану з використанням земельних ресурсів використовують метод експертних оцінок (Перович, І.Л., Винарчик, Л.В., 2013). Особливістю даного методу є відсутність чітко формалізованих доказів впливу того чи іншого фактора на кінцевий

результат прийняття рішень. Через неможливість отримання чіткої, повної та достовірної інформації в якості значення величини окремого фактору є не сама величина, а судження про її значення, висловлене окремою людиною (експертом) (Перович, І.Л., 2013).

При застосуванні даного методу формують групи експертів із провідних фахівців, встановлюють основні фактори на прийняття рішень, складають анкету та шкалу критеріїв оцінок.

На практиці вважається, що число факторів не повинно перевищувати 15, а для отримання об'єктивних результатів оцінки число експертів повинно в 2-3 рази перевищувати кількість факторів.

Важливе значення в методі експертних оцінок належить визначенню значущості як окремих чинників (факторів), так і суджень експертів.

З метою встановлення значущості окремих чинників та суджень експертів застосовують найчастіше метод рангової кореляції. Реалізація цього методу включає такі етапи: на першому етапі визначають систему рангів факторів та встановлюють їх значущість; на другому – ранги експертів та рівень узгодженості суджень експертів. Критерієм визначення узгодженості суджень експертів є коефіцієнт конкордації (Громова, Н.М., Громова, Н.И., 2007):

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i}, \quad (2.1)$$

де m – кількість експертів; n – кількість факторів.

Значення d_j представляє відхилення суми рангів окремого j фактору від середнього значення всіх факторів. Тобто

$$d_j = S_j - \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{n}, \quad (2.2)$$

де S_j – сума рангів j фактору.

Значення $\sum_{i=1}^m T_i$ знаходять за формулою

$$\sum_{i=1}^m T_i = \sum_{i=1}^e (t_e^3 - t_e), \quad (2.3)$$

де e – кількість груп зв'язаних (однакових) факторів; t_e – кількість зв'язаних рангів кожної групи.

В випадку відсутності зв'язаних факторів формула (2.3) приймає вигляд

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (2.4)$$

При значенні коефіцієнта висновки експертів:

- (0–0,2) – неузгоджені;
- (0,2–0,4) – слабо узгоджені;
- (0,4–0,6) – помітна узгодженість;
- (0,6–0,8) – хороша узгодженість;
- (0,8–0,9) – сильна узгодженість;
- (0,9–1,0) – дуже висока узгодженість.

Тільки після визначення рангів експертів і рівня узгодженості експертних суджень можна перейти до наступного етапу - визначення відносної важливості критеріїв, а також їх вагу.

2.2.3. Застосування методу аналізу ієрархій для визначення ваг критеріїв

Головна особливість методу аналізу ієрархій полягає в тому, що рішення завдання моделюється з використанням ієрархії, вершина якої є головною метою завдання, а можливі альтернативи, що підлягають оцінці, знаходяться в основі.

У даному дослідженні цей метод використовується для присвоєння ваги кожному критерію оцінки, і, таким чином, визначає їх відносну важливість у остаточному рішенні, прийнятому в рамках моделі. Метод ґрунтується на парах порівняння в межах оберненої матриці, в якій кількість рядків і стовпців визначається кількістю критеріїв. Відповідно, створюється матриця порівняння між парами критеріїв, протиставляючи важливість кожної пари всім іншим.

Потім обчислюється вектор пріоритету для встановлення ваг (ω_j). Ці ваги є кількісним показником узгодженості оціночних суджень між парами критеріїв.

Шкала оцінок виглядає наступним чином (Saaty, 1992):

$$S = \{1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}, \quad (2.5)$$

Порівняльні оцінки ставляться експертом з найвищим рангом, а матриця попарного порівняння (табл. 2.5) будується на основі таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Дев'ятибальна шкала оцінок Saaty

Оцінки важливості критерію	Опис важливості критерію	Рівень придатності
1	рівноцінна	Найнижча придатність
2	від рівноцінної до помірної	Дуже низька придатність
3	помірна	Низька придатність
4	від помірної до великої	Помірно низька придатність
5	велика	Помірна придатність
6	від великої до дуже великої	Помірно висока придатність
7	дуже велика	Висока придатність
8	від дуже великої до надзвичайно великої	Дуже висока придатність
9	надзвичайно велика	Найвища придатність

Таблиця 2.5

Матриця попарного порівняння

	F1	F2	F3
F1	1	F1F2	F1F3
F2	F2F1	1	F2F3
F3	F3F1	F3F2	1
Σ			

Цей процес генерує допоміжну матрицю - нормалізовану матрицю попарного порівняння (табл. 2.6), в якій значення в кожній комірці є результатом поділу кожного значення судження (a_{ij}) на суму значень відповідного стовпця. У результаті, отримано середнє значення нормалізованих значень рядків, яке відповідає вектору пріоритету (ω_j).

Нормалізована матриця попарного порівняння

	F1	F2	F3	Вектор пріоритету (середнє значення для кожного критерію – Вага)
F1	1/ΣF1	F1F2/ΣF2	F1F3/ΣF3	ω1
F2	F2F1/ΣF1	1/ΣF2	F2F3/ΣF3	ω2
F3	F3F1/ΣF1	F3F2/ΣF2	1/ΣF3	ω3
Σ				1

Для оцінки узгодженості критеріїв пропонується виконати наступні кроки:

1) Визначення вектора зваженої суми (шляхом множення матриці порівнянь на вектор пріоритетів, щоб отримати новий вектор стовпця. Потім розділити перший компонент нового вектора стовпця на першу складову вектора пріоритетів, другий компонент нового вектора стовпця на другу складову вектора пріоритетів тощо);

2) Визначення вектора узгодженості (шляхом ділення вектора зваженої суми на критерії ваг).

Після розрахунку вектора узгодженості потрібно обчислити значення лямбда (λ) - середнє значення вектора узгодженості (форм.2.6) і індекс узгодженості (CI) (форм.2.7).

$$\lambda = \frac{\sum c_1, c_2, \dots, c_i}{n}, \quad (2.6)$$

де λ - середнє значення вектора узгодженості; c_i - вектор узгодженості; n - кількість критеріїв.

Розрахунок індексу узгодженості CI базується на припущенні, що λ завжди більше або дорівнює числу розглянутих критеріїв (n) для позитивної та оберненої матриць і $\lambda = n$, якщо матриця попарних порівнянь є узгодженою матрицею. Відповідно, $\lambda - n$ можна розглядати як міру ступеня неузгодженості. Це у вигляді формули можна виразити наступним чином:

$$CI = \frac{(\lambda - n)}{(n-1)}, \quad (2.7)$$

де CI - індекс узгодженості; λ - середнє значення вектора узгодженості; n - кількість критеріїв.

Індекс узгодженості показує відхилення від узгодженості. Щоб визначити достовірність індексу узгодженості, метод аналізу ієрархій порівнює його з Індексом випадковості - Random Index (RI), і результатом такого порівняння є значення співвідношення узгодженості (CR), яке визначається як:

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (2.8)$$

де CR - значення співвідношення узгодженості; CI - індекс узгодженості; RI – індекс випадковості.

Індекс випадковості RI - це індекс узгодженості випадково згенерованої матриці попарного порівняння порядку 1-10, отриманої шляхом апроксимації індексів випадковості використовуючи розмір вибірки 500 (Saaty, 1997). У таблиці 2.7 показано значення RI , відсортовані за порядком матриці.

Коефіцієнт узгодженості (CR) показує, що якщо $CR < 0.10$, співвідношення вказує на хороший рівень узгодженості у попарних порівняннях; якщо ж $CR > 0.10$, то значення співвідношення показують суперечливі судження. У таких випадках слід переглянути початкові значення в матриці попарного порівняння.

Таблиця 2.7

Індекс випадковості

Порядок матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Індекс випадковості RI	0.00	0.00	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.3. Методи ДЗЗ та ГІС-технології в процедурі вибору земельних ділянок

Дослідження автора повністю реалізується виключно за допомогою FOSS (вільного та відкритого програмного забезпечення) для того, щоб дозволити всім зацікавленим інвесторам, клієнтам, підприємцям використовувати дану методологію та створювати власну карту-схему придатності земель для СЕС безкоштовно.

Запропоновано використовувати PostgreSQL Open Source Database з розширенням PostGIS, програмні забезпечення QGIS та MultiSpec (рис.2.2).

PostgreSQL Open Source Database (v.9.5.7) з розширенням PostGIS використовується для моделювання та зберігання даних.

QGIS 2.16.3 використовується для завантаження, управління, обміну, аналізу та візуалізації даних.

MultiSpec 3.31 - це програмне забезпечення, яке виконує опрацювання даних дистанційного зондування Землі - створення мультиспектрального зображення, проведення процедури класифікації супутникових знімків та оцінка проведеної класифікації.

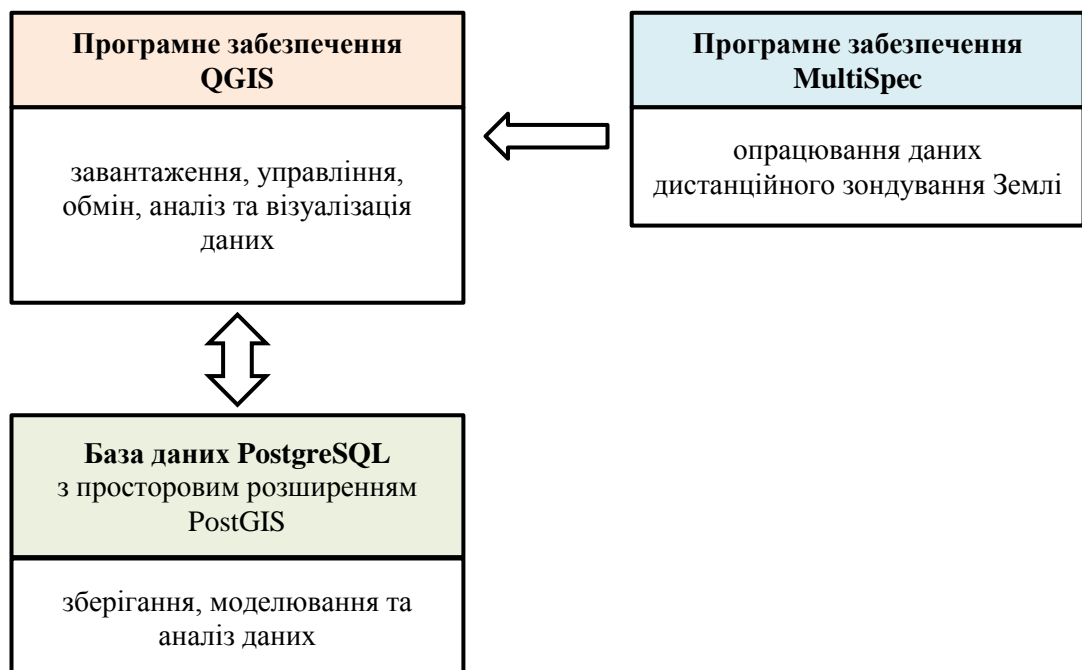


Рис. 2.2. Модель використання програмного забезпечення FOSS

[Джерело:автор]

2.3.1. Обґрунтування використання бази даних PostgreSQL з відкритим вихідним кодом та з розширенням PostGIS

PostgreSQL - це потужна об'єктно-реляційна система керування базами даних (СКБД) (англ.- ORDBMS) з відкритим вихідним кодом. Вона працює на всіх основних операційних системах, включаючи Linux, UNIX і Windows. Вона повністю сумісна з ACID, має повну підтримку зовнішніх ключів, об'єднань, переглядів, тригерів і збережених процедур (на декількох мовах). Вона включає більшість типів даних SQL: 2008, включаючи INTEGER, NUMERIC, BOOLEAN, CHAR, VARCHAR, DATE, INTERVAL і TIMESTAMP.

Деякі загальні параметри об'єктно-реляційної СКБД PostgreSQL відображаються у таблиці 2.8 (PostgreSQL Documentation, 2019).

Таблиця 2.8

Загальні параметри бази даних PostgreSQL

Максимальний розмір бази даних	Необмежено
Максимальний розмір таблиці	32 Терабайт
Максимальний розмір рядка	1,6 Терабайт
Максимальний розмір поля	1 Гб
Максимальна кількість рядків у одній таблиці	Необмежено
Максимальна кількість стовпців у одній таблиці	250 – 1600 (залежно від типу стовпця)
Максимальна кількість індексів у одній таблиці	Необмежено

Розширення PostGIS дає можливість серверу PostgreSQL працювати із просторовими даними, і дозволяє використовувати його як базову просторову базу даних для геоінформаційних систем (ГІС), наприклад, в QGIS. Розробка PostGIS була створена Refrations Research як проект з відкритим вихідним кодом і зареєстрований за GNU General Public License [Документація PostGIS].

PostGIS було використане у роботі завдяки його міцному зв'язку з QGIS Software та його відкритим кодом.

Просторові векторні дані та непросторові дані для опрацювання у QGIS Software можуть бути завантажені та збережені через просторове розширення PostGIS на сервер бази даних PostgreSQL (рис.2.3).

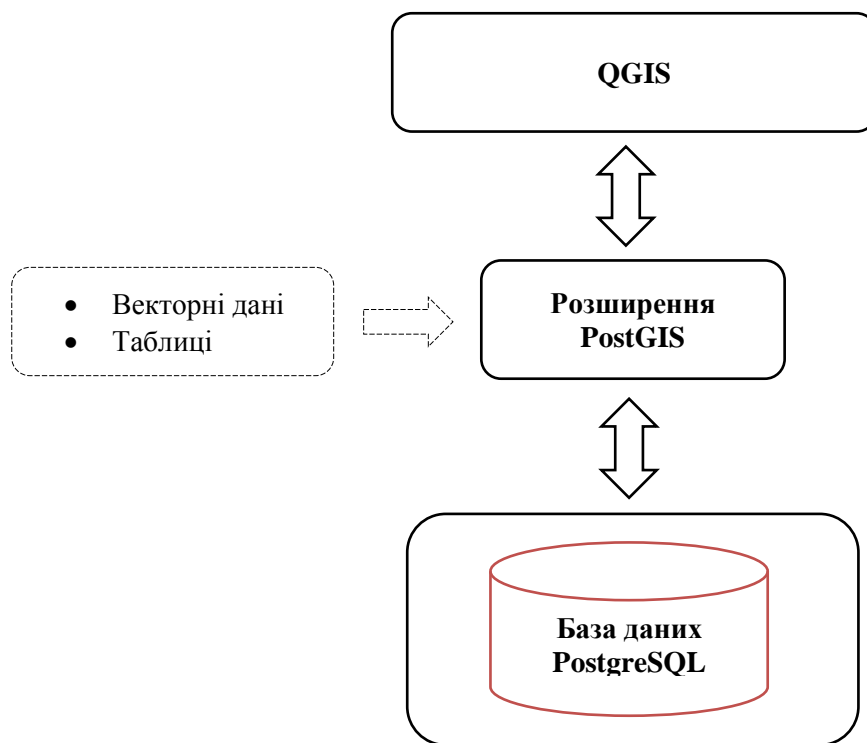


Рис. 2.3. Зв'язок QGIS та бази даних PostgreSQL [Джерело: автор]

2.3.2. Аналіз основного набору інструментів програмного забезпечення QGIS для опрацювання даних дослідження

QGIS - це зручна для користувачів географічна інформаційна система з відкритим вихідним кодом, зареєстрована під ліцензією GNU General Public License. QGIS є офіційним проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Він працює на Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Android і підтримує численні векторні, растрові формати і функції.

QGIS може візуалізувати, керувати, редагувати, аналізувати дані і створювати друковані карти. Нижче наведено короткий виклад шести загальних категорій функцій QGIS:

- перегляд даних;
- створення карт;
- створення, редагування, керування та експортування даних;
- аналіз даних;
- публікація карт в Інтернеті;

- розширення функціональності QGIS (за допомогою плагінів, написаних на мові програмування Python).

За допомогою цього програмного забезпечення пропонується завантажити необхідні для проекту дані з OpenStreetMap; отримати доступ до даних, які знаходяться у базі даних проекту PostgreSQL використовуючи «DB Manager» і «Add PostGIS layers»; здійснити опрацювання критеріїв оцінки та виключення з використанням таких програмних інструментів, як «Slope», «Aspect», «MultiDistance Buffer», «Resample», «Ordered Weighted Averaging», «Plugins», «Clip raster by mask layer» та інші; опрацювати результати класифікації супутникових знімків і створити маску земель непридатних для розміщення сонячної фотоелектричної електростанції.

Інструмент «*Slope*» («*Ухил*») у модулі «Terrain models» («Моделі місцевості») в QGIS розраховує для кожної комірки (пікселя) максимальну ступінь зміни в значенні z між конкретною коміркою і сусідніми з нею комірками.

Базовий алгоритм, який використовується для обчислення ухилу:

$$\text{Ухил (градуси)} = \arctg \sqrt{\left(\frac{\Delta z}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\Delta y}\right)^2} \times \frac{180^\circ}{\pi}, \quad (2.9)$$

де $\frac{\Delta z}{\Delta x}$ – ступінь зміни поверхні в горизонтальному напрямі з заходу на схід з центральної комірки; $\frac{\Delta z}{\Delta y}$ – ступінь зміни поверхні у вертикальному напрямі півночі на південь з центральної комірки.

Максимальний ступінь зміни в значеннях висоти на одиницю відстані між коміркою і вісьмома сусідніми з нею комірками визначає самий крутий спуск вниз по схилу з конкретної комірки. Чим нижче значення ухилу – тим більш плоска місцевість; чим вище значення ухилу - тим крутіший рельєф місцевості (Burrough, P. A. et al., 1998).

Інструмент «*Aspect*» («*Експозиція схилів*») у модулі «Terrain models» («Моделі місцевості») встановлює напрямок схилу максимального ступеня

зміни значень від кожної комірки до сусідніх. Значення всіх комірок вихідного растру вказують напрям за компасом, з яким стикається поверхня у даному місці розташування. Напрямок вимірюється за годинниковою стрілкою в градусах від 0° (північ) до 360° (знову північ), проходячи повний круг (рис.2.4). Плоским областям, які не мають напрямки вниз по схилу, присвоюється значення -1 (Burrough, P. A. et al., 1998).



Рис. 2.4. Напрями схилу [Джерело: Burrough, P. A. et al., 1998]

Базовий алгоритм, який використовується для обчислення експозиції схилів:

$$\text{Експозиція схилів (градуси)} = -\arctg\left(\frac{\frac{\Delta z}{\Delta x}}{\frac{\Delta z}{\Delta y}}\right) \times \frac{180^{\circ}}{\pi}, \quad (2.10)$$

де $\frac{\Delta z}{\Delta x}$ – ступінь зміни поверхні в горизонтальному напрямі з заходу на схід з центральної комірки; $\frac{\Delta z}{\Delta y}$ – ступінь зміни поверхні у вертикальному напрямі півночі на південь з центральної комірки.

Плагін «*Multi-Distance Buffer*» створює багаторівневий буферний векторний набір даних з вхідного векторного шару і набору відстаней. Результат набору даних складається зі смуг областей відповідно до наданих буферних відстаней. Якщо 100 і 200 надані як відстані, результуючий набір даних буде складатися з двох смуг - одна буде містити область, яка знаходиться в межах 100 одиниць від геометрії вхідного векторного шару, а інша буде містити область, яка знаходиться в межах від 100 до 200 одиниць від геометрії вхідного векторного шару. Користувач може вибрати лише буфер навколо вибраних векторів.

Інструмент **«Resample» («Передискретизація»)** дозволяє привести всі пікселі всіх растрів набору до однакового розміру, щоб усі растри мали однакове просторове розрізнення. Залежно від вхідних даних і кінцевої мети розрізняють декілька методів для виконання передискретизації [QGIS 2.18 Documentation]:

- *Nearest Neighbor* - Метод найближчого сусіда;
- *Bilinear (2x2 kernel)* - Білінійний (2x2 ядра);
- *Cubic (4x4 kernel): Cubic Convolution Approximation* - Кубічний (4x4 ядро): апроксимація кубічної згортки;
- *Cubic B-Spline (4x4 kernel): Cubic B-Spline Approximation* - Кубічний В-сплайн (4x4 ядро): кубічне В-сплайн наближення;
- *Lanczos (6x6 kernel)* - Інтерполяція Lanczos;
- *Average* - Середнє: обчислює середнє значення всіх пікселів NODATA;
- *Mode* - Режим: вибирає значення, яке найчастіше відображається у всіх вибіркових точках;
- *Maximum, Minimum, Mediane, First Quartile (Q1)* - Максимальне, мінімальне, медіана, перший кватиль (Q1) всіх пікселів зі значенням NODATA.

Процедура **впорядкованого зваженого усереднення «Ordered Weighted Averaging»**, показана на рисунку 2.3, розглядається як інструмент, за допомогою якого користувачі можуть присвоювати свої відповідні ваги кожному критерію оцінки для того, щоб створити карту для «найбільш придатних» земель для певного виду господарської діяльності і не тільки.

Для цілей виконання растрового оверлейного зваженого аналізу в QGIS 2.16.3 вбудований інструмент «Ordered Weighted Averaging» («Впорядковане зважене усереднення»), раніше розроблений для програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом SAGA.

Для обчислення використовується кілька растрових шарів, яким присвоєні певні ваги. QGIS використовує *Алгебру логіки - двійкову алгебру (Boolean algebra)* для виконання оверлейного аналізу. Це означає, що використовуються

умовні оператори на вхідних шарах для створення карти придатності. Для кожного вхідного шару слід призначити певне значення ваги. Це значення ваги множиться на вхідний шар.

Вхідні шари повинні відповідати таким обов'язковим критеріям:

- ✓ однакова система координат;
- ✓ однаковий розмір комірки;
- ✓ однакове просторове розрізнення (висота пікселя / ширина пікселя);
- ✓ однаковий розмір растра (однакові координати x, y найбільш західного, найбільш південного кута);
- ✓ однаковий масштаб і діапазон класів.

На рис. 2.5 показана схема виконання процедури впорядкованого зваженого усереднення для генерації результуючої карти.

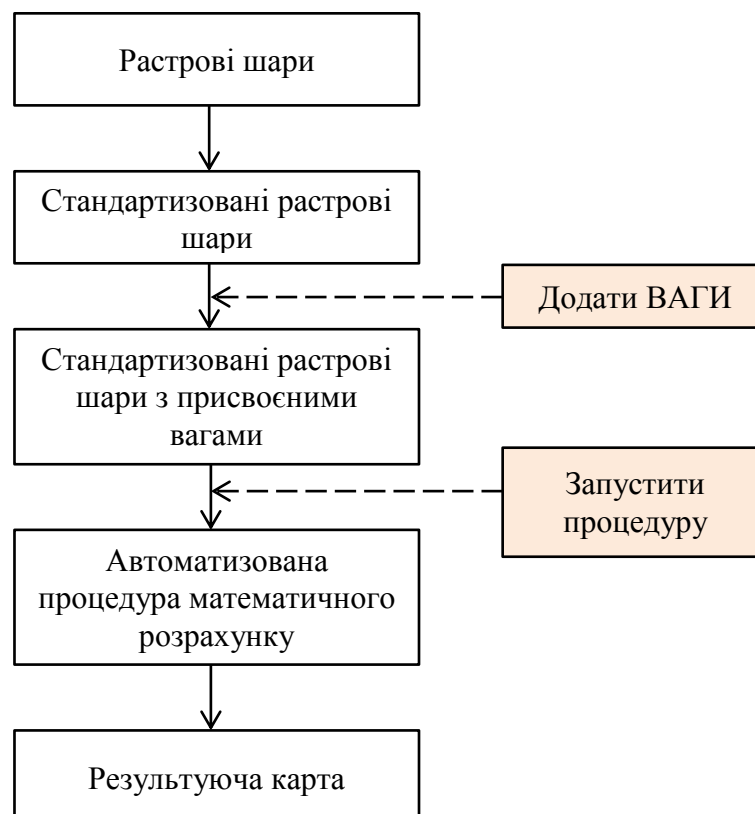


Рис. 2.5. Процедура впорядкованого зваженого усереднення «Ordered Weighted Averaging» [Джерело: Xinyang Liu, 2013]

2.3.3. Класифікація супутникових знімків у програмному забезпеченні MultiSpec

MultiSpec - це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для перевірки та аналізу супутникових знімків, яке розроблено в університеті Purdue University, США на основі отриманих грантів від NASA: NAGW-925, NAGW-3924, NAGW5-397. MultiSpec призначене для багатоспектрального аналізу космічних знімків, отриманих знімальною системою супутників Landsat, та гіперспектральних знімків таких систем як AVIRIS, MODIS, Hyperion (Multispec 3.31 Documentation, 2018).

За допомогою *MultiSpec* виконується створення мультиспектрального зображення, проведення процедури класифікації супутникових знімків, а також оцінка проведеної класифікації.

Після відкриття програми MultiSpec з'явиться головне вікно програми з рядком Меню (Menu Bar) та вікном виведення тексту (Text Output Window), в якому відобразатиметься увесь робочий хід програми, наприклад, статистика файлів, результати класифікації мультиспектрального зображення та її точність.

Можливості поточної версії MultiSpec 3.31 включають наступне (Multispec 3.31 Documentation, 2018):

- імпорт даних у форматі Binary або ASCII, а також у форматах Band Interleaved by Line (BIL), Band Sequential (BSQ), Band Interleaved by Sample (BIS);
- гістограми, які використовуються для визначення режиму шкали сірого для відображення графіки;
- визначення класів за допомогою позначення прямокутних чи полігональних навчальних вибірок, обчислення статистики класів, а також визначення тестових полів для оцінки результатів класифікації;
- доступно шість різних алгоритмів класифікації: Minimum distance to means, Correlation classifier (SAM), Matched filter (CEM), Fisher linear

discriminant, Gaussian maximum likelihood, ECHO spectral/spatial classifier;

- збереження результатів у вигляді тематичної карти із відображенням навчальних вибірок. Результати та точність класифікації відображаються у табличній формі за кожним полем, класом або групами класів;
- кольорове представлення кореляційної матриці для поля чи класу як інструмент візуалізації, особливо для гіперспектральних даних.

Класифікація супутникових знімків - це процес групування пікселів у значущі класи для представлення особливостей земельного покриття. Земельний покриття включає в себе різні типи рослинності, асфальт, голі ґрунти, воду, і т.д..

На рис. 2.6 показана ієрархія методів класифікації супутникових знімків. Їх можна розділити на три категорії (Horning, N., 2004):

1. Автоматизований метод;
2. Ручний метод;
3. Гібридний метод.

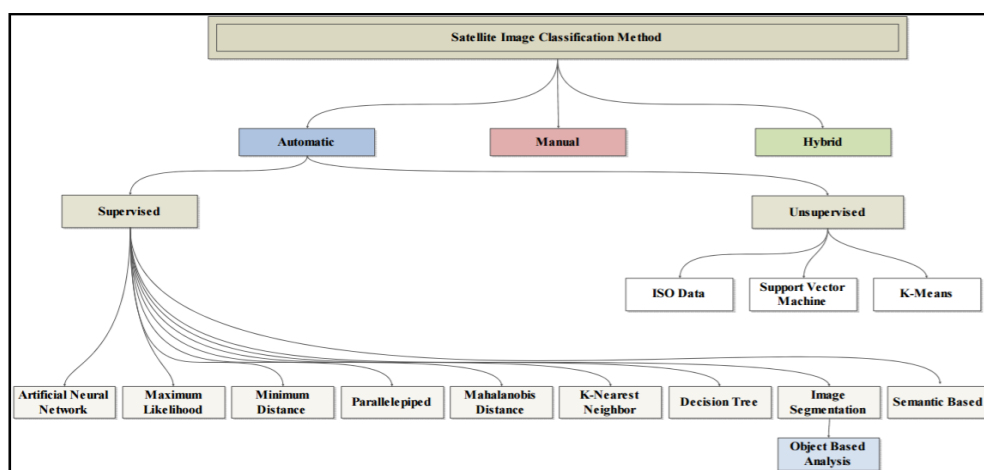


Рис. 2.6. Ієрархія методів класифікації супутникових знімків [Джерело: Horning, N., 2004]

Автоматизовані методи класифікації супутникових знімків використовують алгоритми, які групують пікселі у значущі категорії (класи).

Існують два основних методи автоматизованої класифікації супутникових зображень: неконтрольована та контрольована класифікація.

Метод *неконтрольованої класифікації* використовує механізми кластеризації для групування пікселів, подібних за спектральними характеристиками, у кластери. Цей метод застосовують за відсутності апріорної інформації про об'єкт зйомки, число класів, кількість ітерацій. Кластерний аналіз дозволяє виділяти контури з неконтрастною по спектральній яскравості структурою. Найбільш поширеною неконтрольованою класифікацією супутникових зображень є ISODATA (Al-Ahmadi, F. S. et al., 2009), Machine Support Machine (SVM) і K-Means (Ahmed, R. et al., 2009).

Контрольована класифікація полягає у аналізі пікселів у межах кожного еталонного полігона і створенні спектральних сигнатур для кожного типу земельного покриття. За порівнянням спектральних значень пікселів зі створеними сигнатурами виконується класифікація зображення. Сигнатури ще відомі у літературі як навчальна вибірка (регіони інтересу (ROI), а також навчальні поля). ROI - це багатокутники, створені на однорідних ділянках зображення, які включають в себе пікселі, що відображають певний клас земного покриття. Точність методу сильно залежить від точності визначення навчальної вибірки. Навчальні вибірки складаються з двох типів, один з яких використовується для класифікації, а інший - для контролю точності класифікації.

Метод максимальної вірогідності *Maximum likelihood method* (Tso, B. et al., 2009) є статистичним контрольованим підходом для розпізнавання закономірностей-паттернів. Він виокремлює пікселі до відповідних класів на основі ймовірних значень пікселів. Метод максимальної вірогідності - це ефективний загальноприйнятий метод для класифікації пікселів супутникового знімка.

Рівняння, що використовується для класифікації за методом максимальної вірогідності, має вигляд (Бурштинська, Х., Поліщук, Б., Фіковська, О., 2014):

$$D = \ln(a_i) - [0,5 \ln(|K_i|)] - [0,5((X - M_i)^T \times (K_i^{-1}) \times (X - M_i))], \quad (2.11)$$

де D – вагова відстань (вірогідність); i – визначений клас; a_i – відсоток вірогідності належності класифікованого пікселя до класу i (за замовчуванням дорівнює 1,0 або вводиться на основі апіорних даних); $|K_i|$ – детермінант коваріаційної матриці яскравостей K_i для кожного класу i ; X – вектор виміру класифікованого пікселя; M_i – середнє значення яскравостей класу i ; K_i^{-1} – обернена до K_i матриця.

Оцінка достовірності результатів контрольованої класифікації виконується шляхом побудови *матриці точності* (іноді її називають матрицею помилок) (Стиценко, Е.А., 2017), що представляє собою розподіл пікселів, які вірно чи невірно було класифіковано як той чи інший клас. Ця матриця квадратна - кількість рядків і стовпців дорівнює кількості класів. Діагональні елементи матриці - це пікселі, які знаходилися в межах еталонного класу (навчальної вибірки) і в нього потрапили, тобто були класифіковані коректно. Пікселі поза діагоналю були класифіковані в інші класи.

Точність виробника (Producer Accuracy) - показує відсоток певного основного класу, який правильно класифікується, та обчислюється діленням кожного з діагональних елементів матриці точності на загальну кількість пікселів кожного рядка відповідно (Story, M., Congalton, R., 1986):

$$\text{Точність виробника (Producer Accuracy)} = \frac{c_{ii}}{c_{\Sigma i \blacksquare}} \times 100\%, \quad (2.12)$$

де c_{ii} – піксель у позиції рядок визначеного класу i і стовпець визначеного класу i ; $c_{\Sigma i \blacksquare}$ – сума пікселів у рядку визначеного класу i .

Мінімальна допустима точність Producer Accuracy для класу - 90%.

Точність користувача (User Accuracy) - це показник ефективності класифікації. Він вказує відсоток ймовірності, що клас, до якого класифікується піксель, насправді представляє цей клас на місцевості (Story, M., Congalton, R., 1986). Він обчислюється шляхом ділення кожного з діагональних елементів матриці точності на загальну кількість пікселів кожного стовпця, в якому він знаходиться:

$$\text{Точність користувача (User Accuracy)} = \frac{c_{ii}}{c_{\Sigma \blacksquare i}} \times 100\%, \quad (2.13)$$

де c_{ii} – піксель у позиції рядок визначеного класу i і стовпець визначеного класу i ; $c_{\Sigma \blacksquare i}$ – сума пікселів у стовпці визначеного класу i .

Коефіцієнт κ (каппа Коена) це показник достовірності класифікації, що вносить поправку за випадковість. Він обчислюється за формулою 2.14 (Cohen, J., 1960):

$$\text{Коефіцієнт } \kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}, \quad (2.14)$$

$$\text{де } P_o = \sum_{i=1}^M P_{ii} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^M n_{ii}, \quad (2.15)$$

$$\text{та } P_c = \sum_{i=1}^M P_{i\blacksquare} \times P_{\blacksquare i} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^M n_{i\blacksquare} \times n_{\blacksquare i}, \quad (2.16)$$

де N – загальна кількість пікселів; M – кількість класів; $P_{i\blacksquare}$ та $P_{\blacksquare i}$ – граничні розподіли, що відповідають рядку та стовпцю. Аналогічно, $n_{i\blacksquare}$ та $n_{\blacksquare i}$ – граничні суми, що відповідають рядкам і стовпцям.

Для абсолютно точних результатів коефіцієнт κ дорівнює 1.

Ручний метод класифікації супутникових знімків є надійним та ефективним методом, але він потребує набагато більше часу та хороше знання місцевості, яку покриває супутниковий знімок. Ефективність і точність класифікації залежить від рівня знань району досліджень.

Гібридний метод класифікації поєднує переваги автоматизованих і ручних методів. Гібридний підхід використовує автоматизовані способи класифікації супутникових зображень, щоб зробити початкову класифікацію, далі ручні методи використовуються для уточнення класифікації та виправлення помилок.

Для даного дослідження запропоновано використовувати *метод максимальної вірогідності (Maximum likelihood method)* контрольованої класифікації супутникових зображень через кращу його точність та якість представлення результатів.

Висновки до другого розділу

1. У дослідженні розроблено методологію для знаходження та аналізу земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики, а саме – для наземних

промислових сонячних електростанцій (СЕС) потужністю від 500 кВт і вище, які виробляють електроенергію за допомогою фотоелектричних панелей. Методологія включає в собі технологію вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних СЕС; метод експертних оцінок, зокрема метод множинного коефіцієнта рангової кореляції; метод аналізу ієрархій; використання програмного забезпечення FOSS (Free and Open-Source Software), що розповсюджується за вільними ліцензійними угодами і з загальнодоступними (відкритими) вихідними кодами.

2. Поєднання ГІС - *мультикритеріальний аналіз* генерує відмінний інструмент, що дозволяє створювати та аналізувати обширну картографічну базу даних, яка використовується для прийняття ефективних рішень, наприклад, у знаходженні найбільш оптимального розміщення об'єктів енергетики.

3. Рекомендовано критерії та вимоги до вибору земельної ділянки для потреб сонячної енергетики - розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій.

4. Для визначення узгодженості експертних суджень щодо оцінки критеріїв вибору запропоновано застосування методу множинного коефіцієнта рангової кореляції, та для присвоєння ваги кожному критерію оцінки, і, таким чином, визначення їх відносної важливості у остаточному рішенні, прийнятому в рамках моделі, методу аналізу ієрархій.

5. Запропоновано застосування програмного забезпечення FOSS: база даних PostgreSQL Open Source Database з розширенням PostGIS, програмні забезпечення QGIS та MultiSpec; даних дистанційного зондування Землі та джерел даних, які є у вільному доступі, що дозволить на безоплатній основі всім зацікавленим інвесторам, підприємцям, органам виконавчої влади використати дану методологію та створити власну карту-схему придатності земель для СЕС.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЗАСТАВНІВСЬКОГО РАЙОНУ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Надійність методології вибору земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики може бути доведена шляхом виконання дослідження на території певного «пілотного» району. Хорошим вибором в якості «пілотного» району є Заставнівський район Чернівецької області загальною площею 615 кв.км. (рис.3.1) в силу того, що саме він знаходиться досить далеко від єдиного джерела постачання електроенергії в області, Дністровської ГАЕС, має рівнинний характер рельєфу, сприятливу інсоляцію та клімат, а також він повністю вміщається в 1 супутниковий знімок знімальної системи LANDSAT 8 OLI/TIRS (190км x 180км) (Архів даних Геологічної служби США - U.S. Geological Survey).

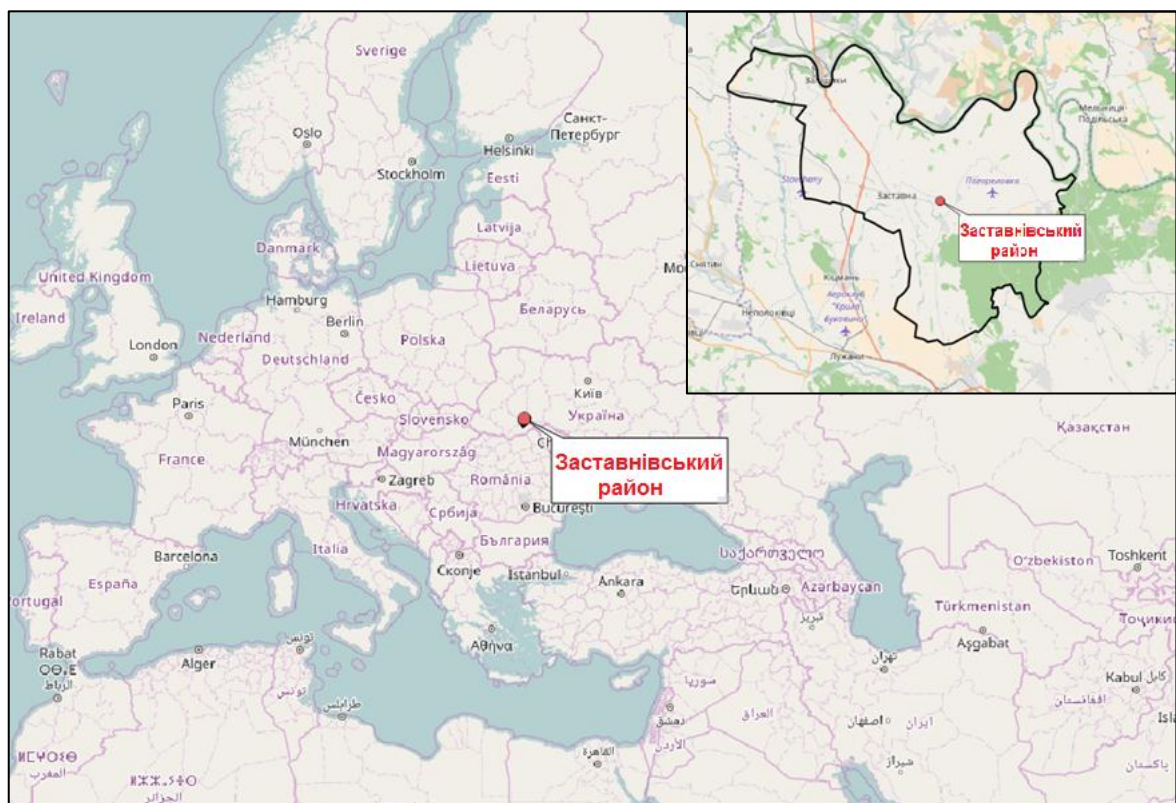


Рис. 3.1. Розташування Заставнівського району Чернівецької області

[Джерело: openstreetmap.com]

3.1. База вихідних даних

3.1.1. Характеристика «пілотного» району

Заставнівський район Чернівецької області розташований у зоні лісостепу, в північно-західній частині Чернівецької області на правому березі Дністра. На території району протікає 3 річки – Совиця, Чорний Потік, Дністер.

Районний центр – м.Заставна. Кількість населених пунктів – 39, в тому числі: місто – 1, селище міського типу – 1, сіл – 37.

У районі згідно з (Соціально-економічний паспорт Заставнівського району, 2015) проживають 51,3 тис.осіб, міського населення – 11,3 тис. осіб, сільського населення – 40,0 тис. осіб. Середня густина населення – 83 ос./ кв. км.

Згідно зі статистичною формою 6-зем за 2015 рік, загальна площа Заставнівського району складає 61 523 га.

Розподіл земель за цільовим призначенням є наступним (рис.3.2):

1. Сільськогосподарські землі – 47 119,2 га (76,09 %), з них рілля – 37 460,1 га;
2. Ліси та інші лісовкриті площі – 9 706,8 га (15,68%);
3. Забудовані землі – 2 548,0 га (4,11%), з них під житловою забудовою 445,4 га, під землі промисловості – 126,7 га;
4. Землі водного фонду – 1 540,9 га (2,49%);
5. Відкриті заболочені землі – 213,8 га (0,35%);
6. Сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом – 0 га (0%);
7. Відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом – 794,3 га (1,28%).

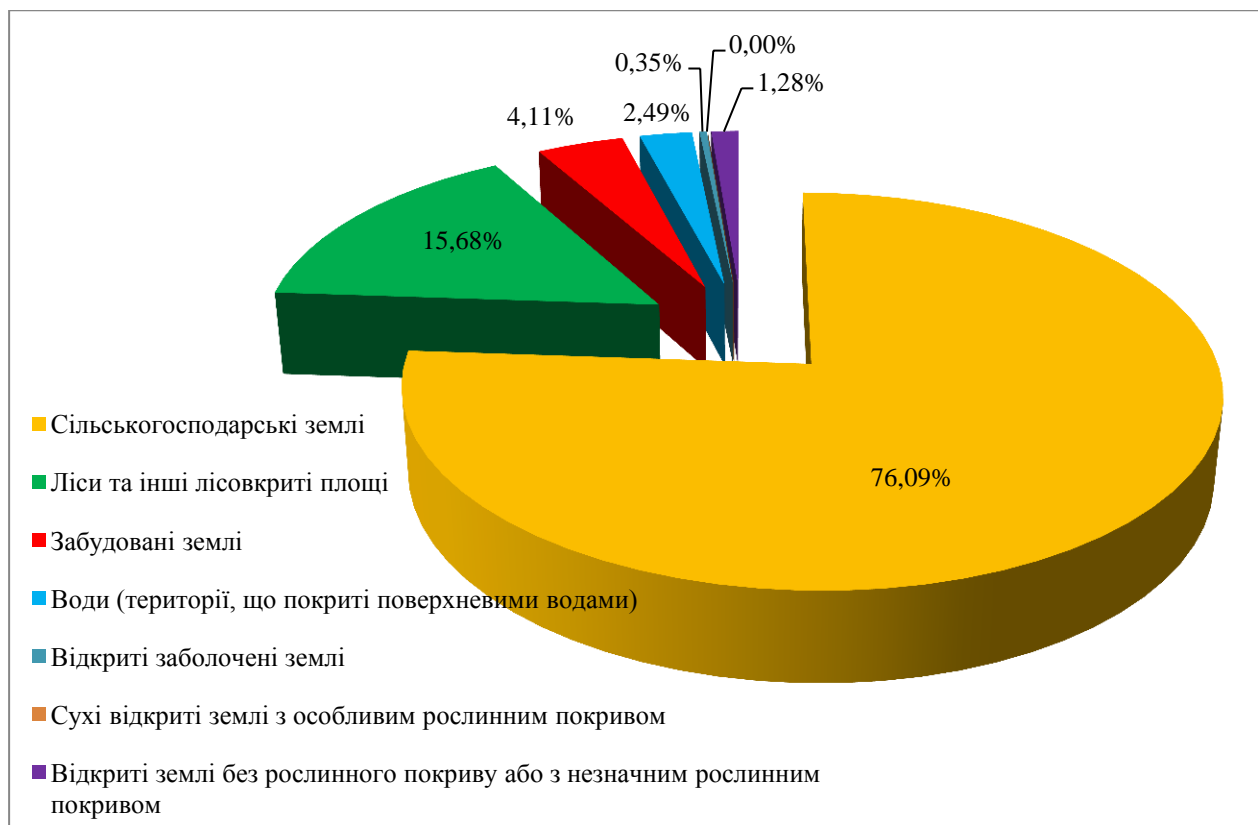


Рис. 3.2. Площа земель за цільовим призначенням у Заставнівському районі Чернівецької області

[Джерело: Проект «Підтримка реформ у сільському господарстві та земельних відносинах в Україні», Моніторинг: База даних 2016-2017]

В *грунтовому покриві* Заставнівського району, який входить до Кіцмансько-Кельменецького природно-сільськогосподарського району (ПСГР-01), значну площу займають опідзолені ґрунти: сірі, темно-сірі та чорноземи легко- та середньосуглинкового механічного складу та їх слабо- середньо-і сильно змиті відміни (29г, 29д, 35г, 35д, 35е, 37г, 37д, 37е, 38г, 38д, 39е, 40д, 40е, 41г, 41д, 41е) (Портал «Загальнонаціональна (всеукраїнська) нормативна грошова оцінка земель сільськогосподарського призначення, 2018).

У районі зареєстровано **11 промислових підприємств** різних форм власності та організаційно-правових статусів: 4 підприємства харчової і переробної галузі та 7 підприємств, які займаються виробництвом будівельних матеріалів. Найбільші з них ВАТ «Кострижівський комбінат будматеріалів»,

ПП «Фортуна», ТОВ «Оксана- М», ТОВ «Граніт», ТОВ «Цукровий комбінат «Хрещатик»», ПП «Надія -Є».

Транспортна мережа загального користування:

- експлуатаційна довжина залізничних колій – 46 км,
- автодоріг – 306 км, в тому числі з твердим покриттям – 282 км,
- ґрунтових – 24 км.

Кількість сонячної радіації в Заставнівському районі згідно з Картою глобальної сонячної радіації та потенціалу сонячної електроенергії в Україні для горизонтально встановлених фотоелектричних модулів, створеною підрозділом відновлюваної енергетики Інституту енергетики та транспорту Спільного наукового центру ЄС (European Commission`s JRC), становить близько 1150-1250 кВт · год / м² у рік (рис. 3.3).

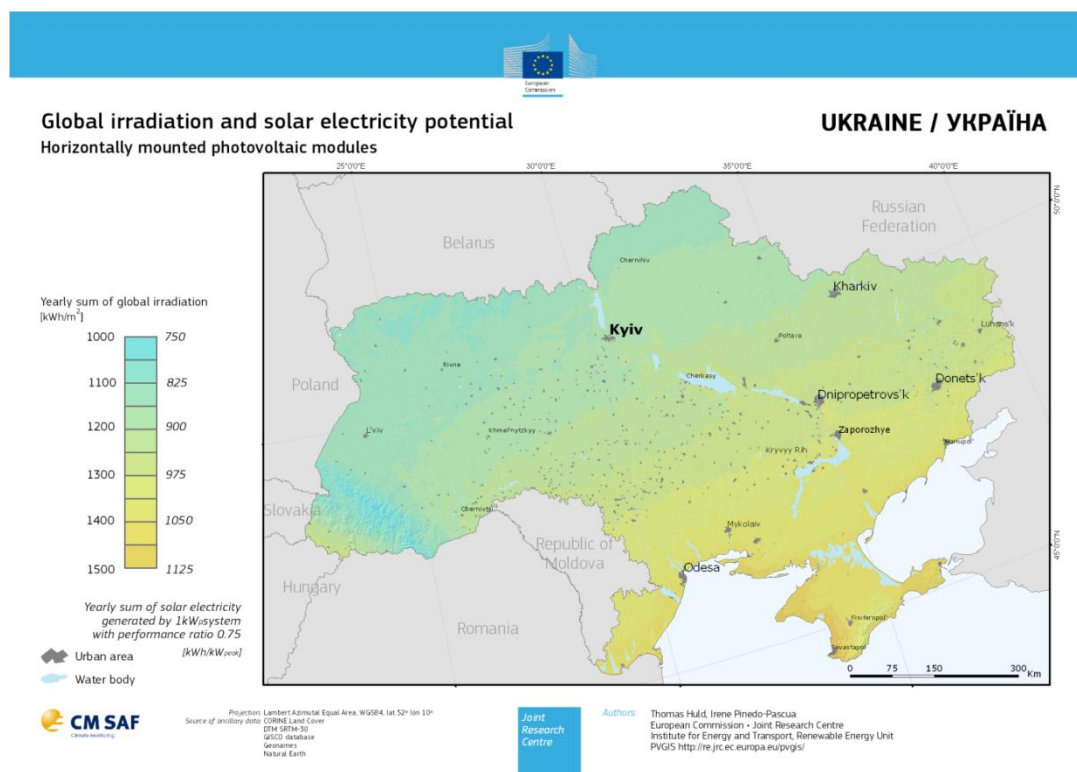


Рис. 3.3. Глобальна сонячна радіація та потенціал сонячної електроенергії в Україні для горизонтально встановлених фотоелектричних модулів [Джерело: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>]

Середня температура в теплий найбільш сонячний період року (травень - жовтень 2007-2017 рр.) в Заставнівському районі є сприятливою - близько + 18/+ 19 °С (рис. 3.4).

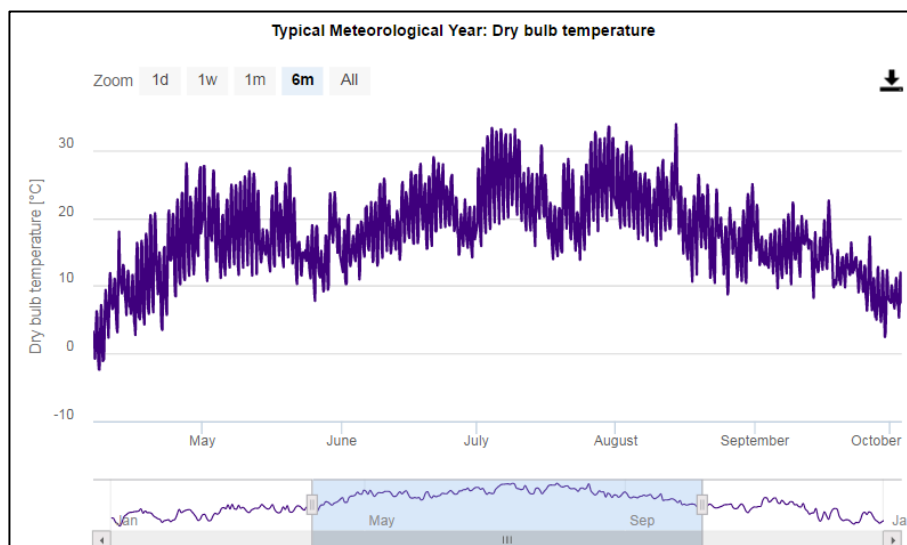


Рис. 3.4. Температура сухого термометра в районі м.Заставна, 2007-2017 рр.

[Джерело: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>]

3.1.2. Збір вихідних даних

Збір вихідних даних проводиться відповідно до певних вимог (критеріїв) оптимального розміщення наземних сонячних електростанцій саме у «пілотному» Заставнівському районі.

Критерії сонячної радіації (інсоляції) та температури мають вплив на розташування сонячних електростанцій, але в даному випадку не включаються до подальшого аналізу. Хоча інсоляція є одним з найпоширеніших факторів, визначених у літературі, вважаємо, що інсоляція та температура повітря будуть достатніми на всій «пілотній» ділянці, оскільки відстань до паралелі 48⁰30' пн.ш. від східної та західної границь Заставнівського району відносно мала, відносно мала є і площа району – 615 кв.км. Кількість сонячної радіації в Заставнівському районі, як зазначалося вище, становить близько 1150-1250 кВт· год / м² у рік і вважається достатньою для розташування СЕС.

Іншим критерієм, який не враховується, є *близькість до морського узбережжя* - через відсутність поблизу та в межах дослідницької зони моря або океану.

Заставнівський район є переважно сільським районом, в якому лише одне невелике місто та одне селище міського типу, де немає будинків з більш ніж 6 поверхами. Тому критерій *близькості до багатопверхової забудови* також виключається.

Критерій *високогірних районів* у даному дослідженні теж не входить до аналізу через те, що вся територія «пілотного» району розташована на нижчих висотах, ніж обмеження - 1 500 м. Заставнівський район є мальовничою частиною Дністровсько-Прутського межиріччя. На сході району розташована Хотинська височина, з найвищою точкою – г. Берда, висота якої становить 515,7 метрів над рівнем моря. Берда - найвища вершина рівнинної частини України і одна з найвищих точок Східноєвропейської рівнини.

Критерій *близькості до міських житлових районів* також виключається, тому що у Заставнівському районі немає великих міст.

На жаль, станом на сьогодні для території «пілотного» району не існує вільної просторової інформації про розташування національних і регіональних парків, районів культурної спадщини, палеонтологічних і археологічних об'єктів, які можна завантажити або векторизувати. Але ці території будуть виключені пізніше під час аналізу остаточної карти придатності земель та публічної кадастрової карти України, яка містить просторові та описові дані про кожен земельну ділянку на території країни.

У результаті для «пілотного» Заставнівського району було обрано сім критеріїв для аналізу, які наведені у таблиці 3.1.

Обрані критерії, що враховуються для оптимального розміщення наземної СЕС на території Заставнівського району

<i>#</i>	<i>Критерії</i>	<i>Вимоги</i>
<i>Критерії оцінки</i>		
1	Ухил земної поверхні	ухил < 20 ⁰
2	Експозиція схилів земної поверхні	експозиція схилів = 110-200 ⁰ (Пд-Сх, Пд, частково Пд-Зх)
3	Близькість до ліній електропередач (ЛЕП)	ЛЕП з напругою ≥ 35 кВ у радіусі 600 м
4	Близькість до підприємств	< 3 500 м
5	Близькість до населених пунктів	< 2 500 м
6	Близькість до дорожньої мережі	< 500 м
<i>Критерії виключення</i>		
7	Тип земної поверхні	<input type="checkbox"/> Вільна від лісів, водойм, будівель, заболочених земель, заплав; <input type="checkbox"/> Переважно низька і середня трав'яниста рослинність (але: не рілля), кущі, кам'яністі землі, виснажені та деградовані землі, закриті сміттєзвалища

По кожному з обраних критеріїв був проведений збір вихідних даних (табл. 3.2.).

Збір вихідних даних

№	Тип даних	Джерело
1.	Глобальна сонячна радіація та потенціал сонячної електроенергії в Україні для горизонтально встановлених фотоелектричних модулів	Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS (Підрозділ відновлюваної енергетики Інституту енергетики та транспорту Спільного наукового центру ЄС (European Commission`s JRC)) http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html
2.	Метеорологічні дані	Typical Meteorological Year (TMY) Generator - PVGIS (Підрозділ відновлюваної енергетики Інституту енергетики та транспорту Спільного наукового центру ЄС (European Commission`s JRC)) http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/intro_tools.html
3.	Супутниковий знімок Landsat 8 OLI/TIRS Collection 1 Level 1 Data Product з просторовим розрізненням 30 (15) м на територію Заставнівського району	Архів даних Геологічної служби США http://earthexplorer.usgs.gov/
4.	Цифрова модель рельєфу (DEM) Заставнівського району – два ASTER (GDEM2) знімка (1 Arc-second Global) з просторовим розрізненням 30 м	Архів даних Геологічної служби США http://earthexplorer.usgs.gov/
5.	Дорожня мережа Заставнівського району	OpenStreetMap https://www.openstreetmap.org/
6.	Населені пункти Заставнівського району	OpenStreetMap https://www.openstreetmap.org/
7.	Лінії електропередач 35 кВ, 110 кВ у Заставнівському районі	ГІС «GISENERGY» об'єктів енергетики у Чернівецькій області http://maps.oblenergo.cv.ua/#9/48.2026/26.2214
8.	Перелік промислових підприємств Заставнівського району	«Соціально-економічний паспорт Заставнівського району», Заставнівська районна державна адміністрація Чернівецької області http://zastavnaeconomy.at.ua/index/prezentacija_rajonu/0-45
9.	Дані про місцезнаходження, площу, тип власності та цільове призначення земельних ділянок на території Заставнівського району	Публічна кадастрова карта України http://map.land.gov.ua/

Геоінформаційна система PVGIS є надійним джерелом даних щодо **кількості сонячної радіації** на території України, та, зокрема, на території «пілотного» Заставнівського району, так як забезпечує картографічну інвентаризацію ресурсів сонячної енергії та оцінку виробництва електроенергії з фотоелектричних систем в Європі, Африці та Південно-Західній Азії. Це частина проекту SOLAREC, що сприяє впровадженню відновлюваної енергії в Європейському Союзі як стійкому і довгостроковому постачанні енергії шляхом проведення нових науково-технічних розробок з метою кращого забезпечення потреб споживачів.

Веб-сторінка оновленої PVGIS, де користувачі можуть завантажувати і друкувати карти сонячного ресурсу і фотоелектричного потенціалу електроенергії, показана на рис. 3.5.

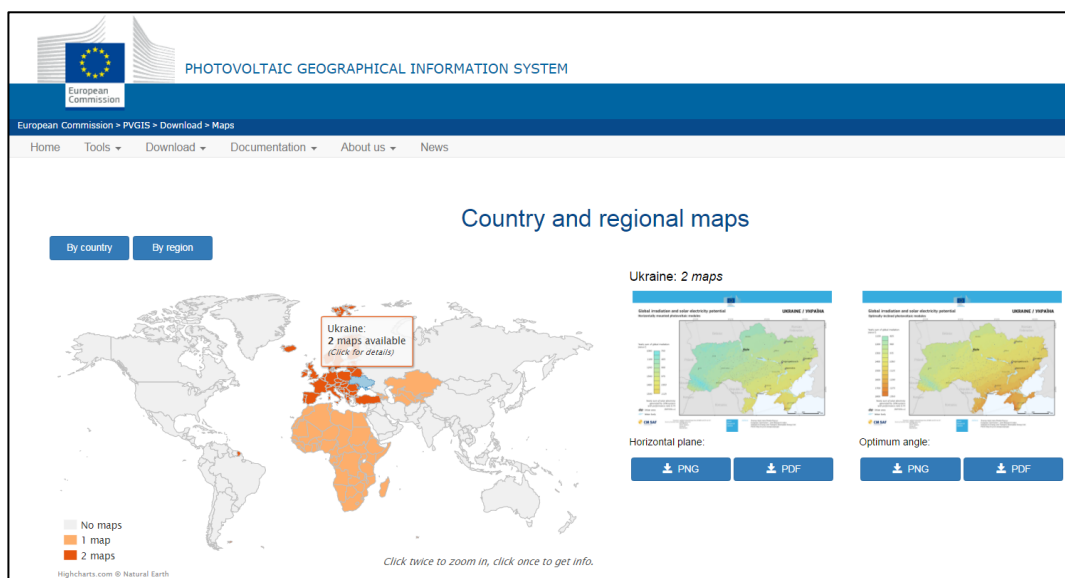


Рис. 3.5. Веб-сторінка ГІС PVGIS [Джерело: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>]

Метеорологічні дані для «пілотного» району також знайдені в режимі онлайн – інструмент *Типовий генератор метеорологічного року (ТМУ)* в ГІС PVGIS – це набір метеорологічних даних із значеннями даних за кожну годину року для певного географічного положення. ТМУ може використовуватися для інтерактивної візуалізації всіх даних або для їх завантаження у вигляді текстового файлу (рис. 3.6).

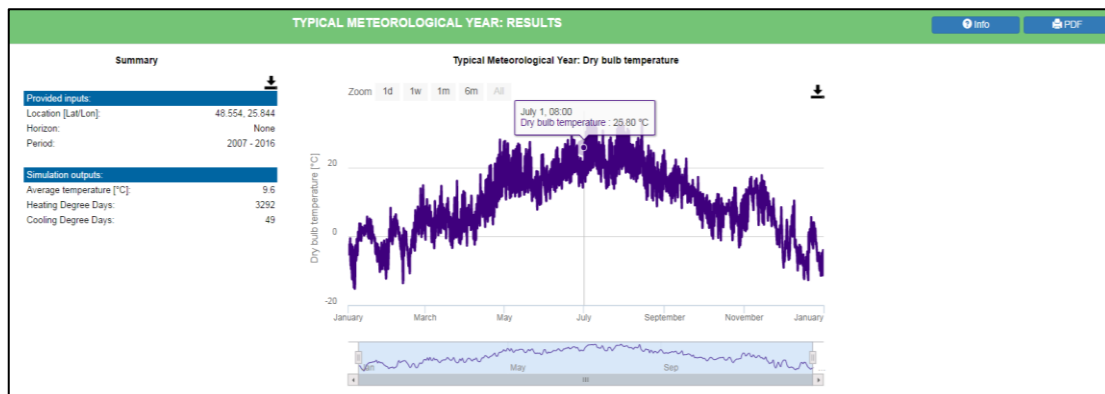
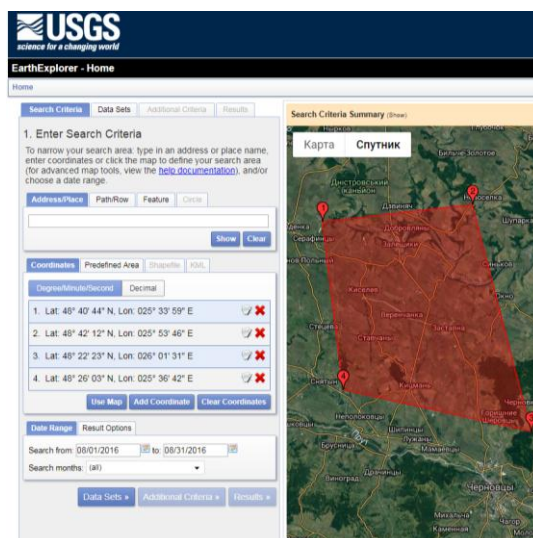


Рис. 3.6. Інструмент Типовий генератор метеорологічного року (ТМУ) в ГІС PVGIS [Джерело: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>]

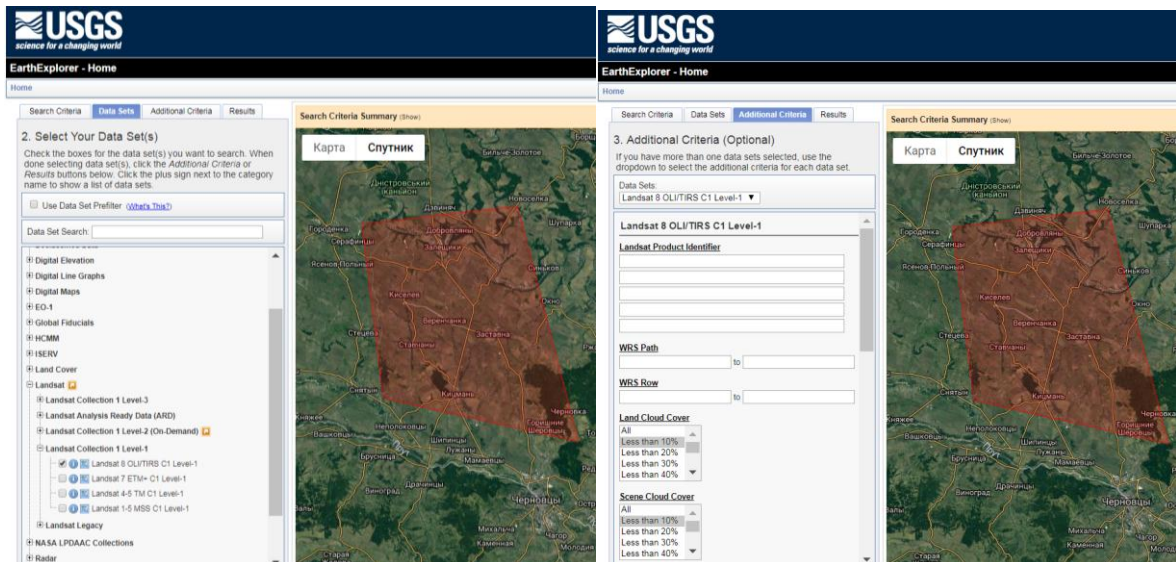
Для визначення земного покриття «пілотного» району необхідно виконати класифікацію *супутникового знімка*. Вільний доступ до архіву супутникових знімків, зроблених у різні періоди часу та різними знімальними системами (в тому числі, дані місії Landsat, Sentinel-2, NOAA CDR, eMODIS LST), є на веб-сайті Геологічної служби США (USGS).

Обрати знімок для дослідження можна використовуючи навігаційні функції інструменту запити даних EarthExplorer (EE) - (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

Він надає можливість налаштувати запит даних, вибираючи тип супутника, рівень обробки космічного знімка, координати досліджуваної місцевості, дату отримання знімка і відсоток хмарного покриття (рис. 3.7. а, б, в, г).

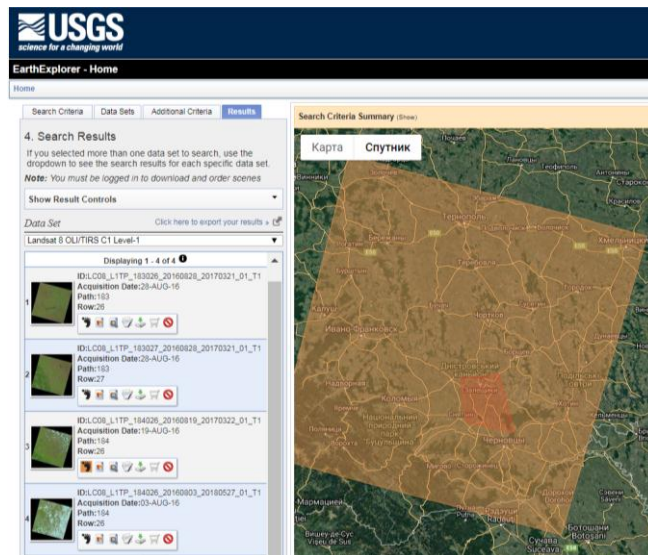


а



б

в

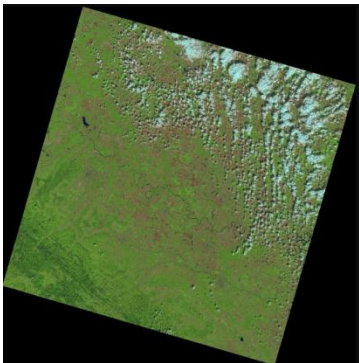


г

Рис. 3.7. Інструмент запиту даних EarthExplorer на веб-сайті Геологічної служби США (а, б, в, г) [Джерело: <https://earthexplorer.usgs.gov>]

Один супутниковий знімок Landsat 8 OLI/TIRS Collection 1 Level 1 Data Product з просторовим розрізненням 30 (15) м, отриманий 19 серпня 2016 року, який повністю охоплює «пілотний» Заставнівський район, був обраний для опрацювання. У Табл. 3.3. приведені параметри обраного супутникового знімка.

Параметри обраного знімка Landsat 8 OLI / TIRS Level 1

Атрибути набору даних	Значення	Знімок
Ідентифікатор продукту Landsat	LC08_L1TP_184026_20160819_20170322_01_T1	
Ідентифікатор сцени Landsat	LC81840262016232LGN01	
Дата знімання	2016/08/19	
Тип даних Level-1	L1TP (Precision Terrain correction) – точна топографічна корекція Геометрично, радіометрично відкоригований	
Дата створення L-1	2017/03/22	
Індикатор день / ніч	день	
Хмарність	13.86	
Модель наземних контрольних точок	314	
Формат	GEOTIFF	
Картографічна проекція L-1	UTM	
Зона UTM	35	
Датум	WGS84	
Еліпсоїд	WGS84	
Просторове розрізнення каналу Panchromatic	15 м	
Просторове розрізнення каналів OLI	30 м	
Просторове розрізнення каналів TIRS	30 м	
Широта центру	48°51'58.21"N	
Довгота центру	25°32'34.91"E	

Супутник Landsat 8 має два сенсори: Operational Land Imager (OLI) і тепловий інфрачервоний сенсор Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Довжини хвиль і просторове розрізнення кожного спектрального каналу Landsat 8 OLI/TIRS (Геологічна служба США, Landsat 8 Imagery) представлена у таблиці 3.4.

**Довжини хвиль і просторове розрізнення спектральних каналів
Landsat 8 OLI/TIRS**

Спектральний канал	Довжини хвиль, мкм	Просторове розрізнення (розмір 1 пікселя), м
Діапазони OLI		
Канал 1 - Узбережжя та аерозолі (Coastal / Aerosol, New Deep Blue)	0.433 - 0.453	30
Канал 2 – Синій (Blue)	0.450 - 0.515	30
Канал 3 – Зелений (Green)	0.525 - 0.600	30
Канал 4 – Червоний (Red)	0.630 - 0.680	30
Канал 5 – Близький ІЧ (Near Infrared, NIR)	0.845 - 0.885	30
Канал 6 - Короткохвильовий ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 1)	1.560 - 1.660	30
Канал 7 - Короткохвильовий ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	2.100 - 2.300	30
Канал 8 - Панхроматичний (Panchromatic, PAN)	0.500 - 0.680	15
Канал 9 – Перисті хмари (Cirrus)	1.360 - 1.390	30
Діапазони TIRS		
Канал 10 – Далекий ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10.30 - 11.30	100
Канал 11 - Далекий ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11.50 - 12.50	100

Канал 1 (Coastal / Aerosol, New Deep Blue) – чутливий до глибокого синього та фіолетового ділянок спектра. Синє світло важко отримати з космосу, тому що воно розповсюджується у повітрі у вигляді дрібних часток пилу і води. Так само, як ми бачимо багато туманно-синього кольору, коли ми дивимося в космос у сонячний день, Operational Land Imager (OLI) бачить небо під ним, коли він дивиться на нас через те ж повітря. Цю частину спектра важко зібрати з достатньою чутливістю, і канал 1 є єдиним інструментом, що надає відкриті дані при цьому просторовому розрізненні. Він також називається прибережним

/ аерозольним каналом, відповідно до двох його основних цілей: відображення мілководдя і відстеження дрібних частинок, таких як пил і дим.

Канали 2, 3, 4 (Blue, Green, Red) – це видима синя, зелена і червона ділянки спектра. Вони дозволяють отримати мультиспектральний знімок в натуральних кольорах RGB.

Канал 5 (Near Infrared, NIR) чутливий до ближньої інфрачервоної ділянки спектра. Ця частина спектра є особливо важливою для екології, оскільки її відображають здорові рослини – вода, яка знаходиться в їх листках відбиває довжини хвиль назад в небо. Порівнюючи його з іншими каналами, можна визначити спектральні індекси, такі як NDVI, які дозволяють отримувати точні дані про стан рослин.

Канали 6 і 7 (Short Wavelength Infrared, SWIR 1 і SWIR 2) охоплюють різні відрізки короткохвильового інфрачервоного випромінювання. Вони особливо корисні для відокремлення вологої землі від сухої землі, а для геології: скелі та ґрунти, які виглядають подібними в інших каналах, часто мають сильні контрасти в SWIR.

Канал 8 (Panchromatic, PAN) - панхроматичний. Він працює так само, як і чорно-біла плівка: замість того, щоб збирати видимі кольори окремо, він поєднує їх в один канал. Оскільки цей канал може побачити більше світла відразу, він є найбільш різким з усіх каналів - з просторовим розрізненням 15 метрів.

Канал 9 Перисті хмари (Cirrus) покриває дуже маленький відрізок спектра: тільки 1370 ± 10 нанометрів. Лише кілька супутників можуть отримати цю частину спектра, тому що атмосфера поглинає його майже повністю. Саме тому що земля ледь помітна у цьому каналі, все, що чітко відображається на ньому, повинно відобразитись дуже яскраво і / або бути у або над атмосферою.

Канали 10 і 11 Далекий ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR1 і TIR2) знаходяться в тепловій інфрачервоній області (TIR) - вони відображають тепло. Замість того, щоб вимірювати температуру повітря, як це роблять

метеорологічні станції, вони вимірюють температуру земної поверхні, що часто є набагато вищою.

Другий тип супутникових даних, що використовуються в дослідницькій роботі – це *цифрова модель рельєфу* ASTER Digital Elevation Model (Krieger T. et al., 2011). Станом на 2019 рік це найновіша глобальна цифрова модель рельєфу, отримана у жовтні 2011 року (для порівняння ЦМР SRTM - у 2000 році), яка є у вільному доступі. Знімки ASTER потрібні для того, щоб дослідити рельєф «пілотного» району, та розрахувати ухил і експозицію схилів, які є важливими параметрами для розташування наземної сонячної електростанції. Знімки ASTER DEM з просторовим розрізненням 30 метрів (1-arcsecond) є у вільному доступі на веб-сайті Геологічної служби США (USGS) у порталі EarthExplorer (EE) - (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

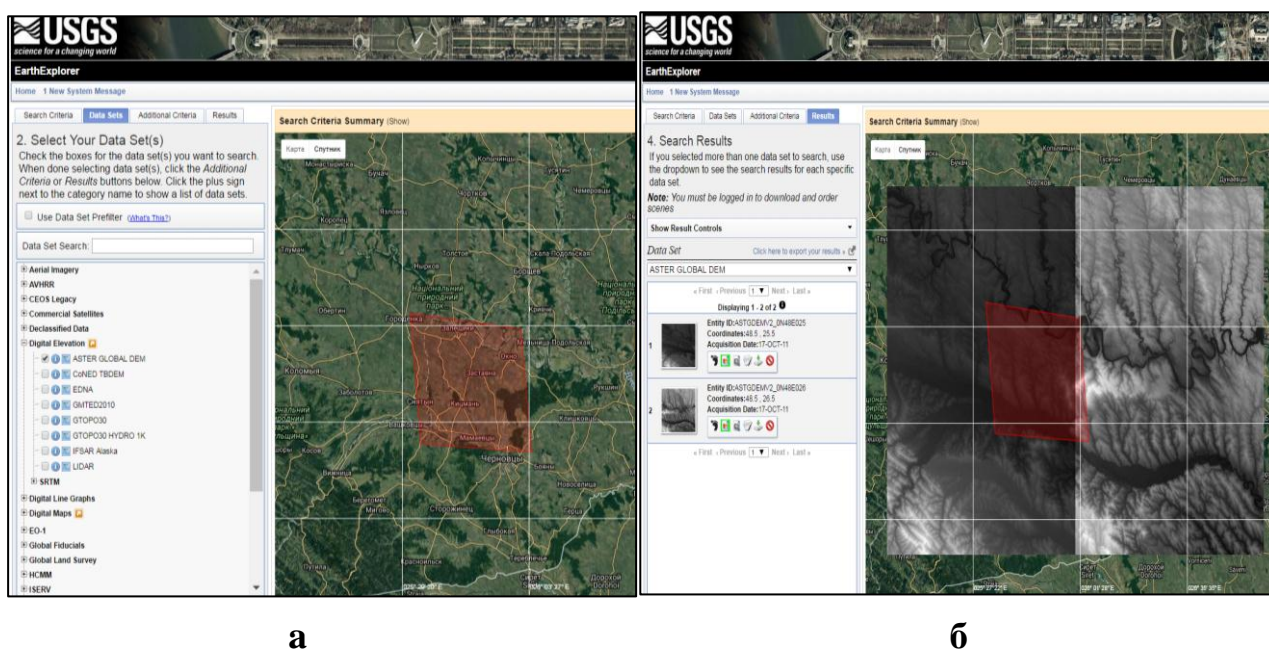
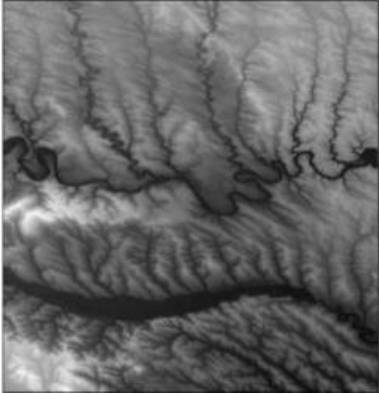
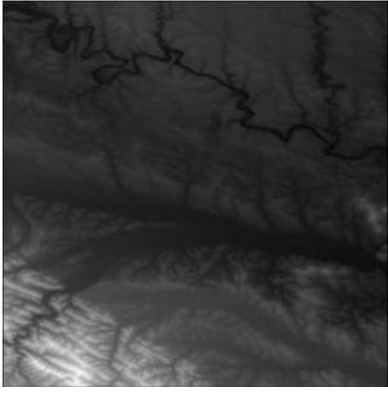


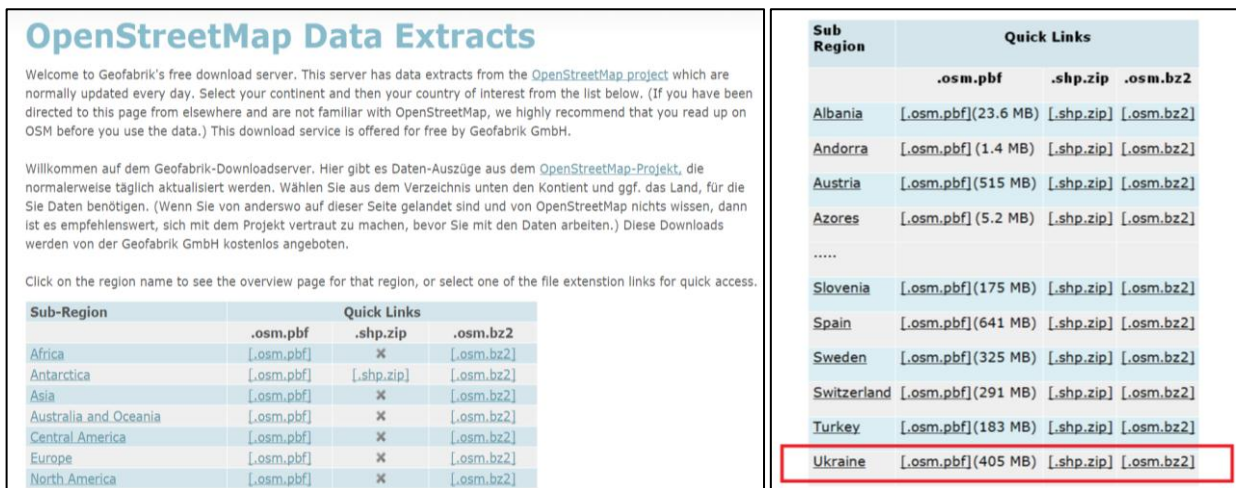
Рис. 3.8. Запит даних ASTER GDEM2 у EarthExplorer на веб-сайті Геологічної служби США (а, б) [Джерело: <https://earthexplorer.usgs.gov>]

З рис. 3.8 видно, що територію «пілотного» Заставнівського району покривають два знімки 1 Arc-second ASTER GDEM2. Їх параметри приведені у Табл. 3.5.

Параметри двох обраних знімків 1 Arc-second ASTER GDEM2

Атрибути набору даних	Значення	Знімок
Дата знімання	2011/10/17	
Агентство	NASA/METI	
Проекція карти	Географічна	
Сенсор	ASTER	
Просторове розрізнення	1 ARC-SECOND, 30 м	
Тип сенсора	GDEM	
Еліпсоїд	WGS84	
Одиниці	Градуси	
Версія	2.0	
Формат	GEOTIFF	
Дата оновлення	03-11-16	
Широта центру	48°30'00.00"N	
Довгота центру	26°30'00.00"E	
Дата знімання	2011/10/17	
Агентство	NASA/METI	
Проекція карти	Географічна	
Датчик	ASTER	
Просторове розрізнення	1 ARC-SECOND, 30 м	
Тип датчика	GDEM	
Еліпсоїд	WGS84	
Одиниці	Градуси	
Версія	2.0	
Формат продукту	GEOTIFF	
Дата оновлення	03-11-16	
Широта центру	48°30'00.00"N	
Довгота центру	25°30'00.00"E	

Дорожню мережу та населені пункти Заставнівського району отримано з GEOFABRIK-безкоштовного сервера (<http://download.geofabrik.de/europe.html>) який має завантажені вибірки даних з OpenStreetMap. Там користувачі можуть знайти оновлені щоденно (зазвичай) векторні шари для деяких країн (рис. 3.9). Це шейп-файли (shapefiles) населених пунктів, доріг, залізниць, типів земної поверхні, об'єктів інфраструктури і водних об'єктів.



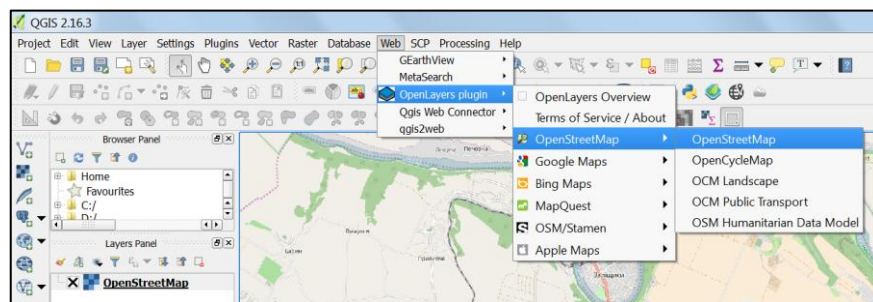
а

б

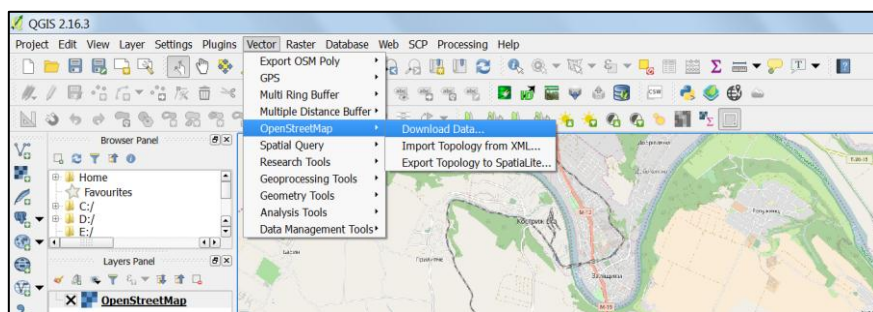
Рис. 3.9. Вибірки даних OpenStreetMap у GEOFABRIK (а, б) [Джерело:

<http://download.geofabrik.de/europe.html>]

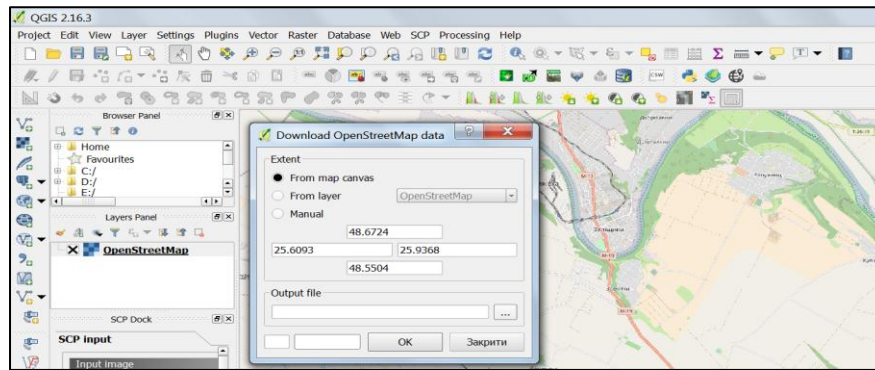
Є ще способи завантаження даних з порталу OpenStreetMap. Один з найвідоміших - використання програмного забезпечення QGIS і вбудованих плагінів OpenLayers і OSMDownloaders. Використовуючи плагін OpenLayers користувач підключає OSM карту у робочий проект, та за допомогою плагіна OSMDownloaders завантажує всі дані з виділеної прямокутником області у робочому проекті у форматі .osm (OSM XML) (рис.3.10 а, б, в).



а



б



В

Рис. 3.10. Завантаження даних з OpenStreetMap використовуючи плагіни QGIS (а, б, в) [Джерело:автор]

На основі геоінформаційної системи «GISENERGY» об'єктів енергетики у Чернівецькій області (рис. 3.11) створено карту ліній електропередач 35 кВ та 110 кВ для території Заставнівського району в QGIS Software.



Рис. 3.11. Геоінформаційна система «GISENERGY» об'єктів енергетики у Чернівецькій області [Джерело:<http://maps.oblenergo.cv.ua>]

Дані щодо кількості підприємств Заставнівського району, а також їх адреси були отримані із переліку промислових підприємств та сільськогосподарських формувань, що знаходяться на території Заставнівського району, який є складовою документу «Соціально-економічний паспорт Заставнівського району» (рис.3.12).

ПЕРЕЛІК промислових підприємств, що знаходяться на території Заставнівського району			ПЕРЕЛІК сільськогосподарських формувань району та їх керівників		
LIST of industrial enterprises on the territory of Zastavna district			LIST of agricultural enterprises on the territory of Zastavna district		
№	Назва підприємства Enterprise	Прізвище, ім'я, по батькові керівника Name, Surname of CEO	№	Назва підприємства Enterprise	Прізвище, ім'я, по батькові керівника Name, Surname of CEO
1.	ПАТ "Кострицька фабрика будівельних матеріалів"	Левчицький Юрій Миколайович	1.	ТзОВ "Хрещатик-агро"	Полонський Дмитро Олександрович
2.	Райгосбуд	Даричук Василь Васильович	2.	ТзОВ "Україна"	с.Регушкин Козарчук Василь Дмитрович
3.	ПП "Фортуна"	Бойчук Галина Валентина	3.	ТзОВ "Гостри"	с. Гостри Бончунський Василь Іванович
4.	ТзОВ "Оксана - М"	Гандриба Іван Васильович	4.	ТзОВ «Надія Є»	с.Шубряць Соболь Анатолій Лаврентійович
5.	ТОВ "Граніт"	Мудрик Оксана Флорентина	5.	ТзОВ "Зоди"	с.Високо Дазурин Михайл Миколайович
6.	ТОВ "Цукровий комбінат "Хрещатик"	Білогорсько Павло Дмитрович	6.	ТзОВ "Мрія Буковина"	с.Високо Томко Петро Корнійович
7.	ПП "Надія Є"	Соболь Анатолій Лаврентійович	7.	ТзОВ "Лан"	с.Кадубина Зайчук Іван Петрович
8.	ПП «Сорбінський целюльний завод»	Кашпак Сергій Іванович	8.	СФГ "Кукля"	с. Гостри Кукля Ігор Степанович
9.	ПП «Дікс-Дікстер»	Дамінов Олександр Ісидор	9.	МПП "Авант"	с.Високо Гандриба Володимир Миколайович
10.	ПП «Сільськогосподарський комбінат будівельних матеріалів»	Іванчук Василь Миколайович	10.	СФГ «Урожай»	с.Кадубина Гандриба Іван Васильович
11.	ТОВ "Трибо"	Бешай Тетяна Гердавіна	11.	ФГ Гришко К.В.	с.Веречка Гришко Костянтин Васильович
			12.	ФГ «Колод К»	с.Кадубина Восілко Олександр Степанович
			13.	ДП «Десняк господарство»	с.Заставна Гуцук Іван Миколайович
			14.	ФГ Мураго В.Й.	с.Шубряць Мурач Василь Іосифович
			15.	ТзОВ "Наша свинка"	с.Високо Пічура Лариса Степанівна
			16.	ФГ "Ква-О"	м.Заставна Радич Олексій Михайлович
			17.	ТзОВ «Зелений гай»	с.Високо Вішван Василь Іванович
			18.	ТОВ «Лидаль»	с.Кадубина Мулик Юрій Васильович
			19.	ФГ «Вектор-М»	с.Кульчи Макух Василь Іванович
			20.	ПП «Іза»	с.Регушкин Гросу Михайло Миколайович
			21.	СТзОВ «Свієцька-Мілко»	с.Г.Шерин Балачук Марія Леонтівна

Рис. 3.12. Перелік промислових підприємств та сільськогосподарських формувань, що знаходяться на території Заставнівського району [Джерело: Соціально-економічний паспорт Заставнівського району]

Дані про місцезнаходження, площу, тип власності та цільове призначення земельних ділянок на території Заставнівського району можна легко знайти на Публічній кадастровій карті України (рис.3.13).

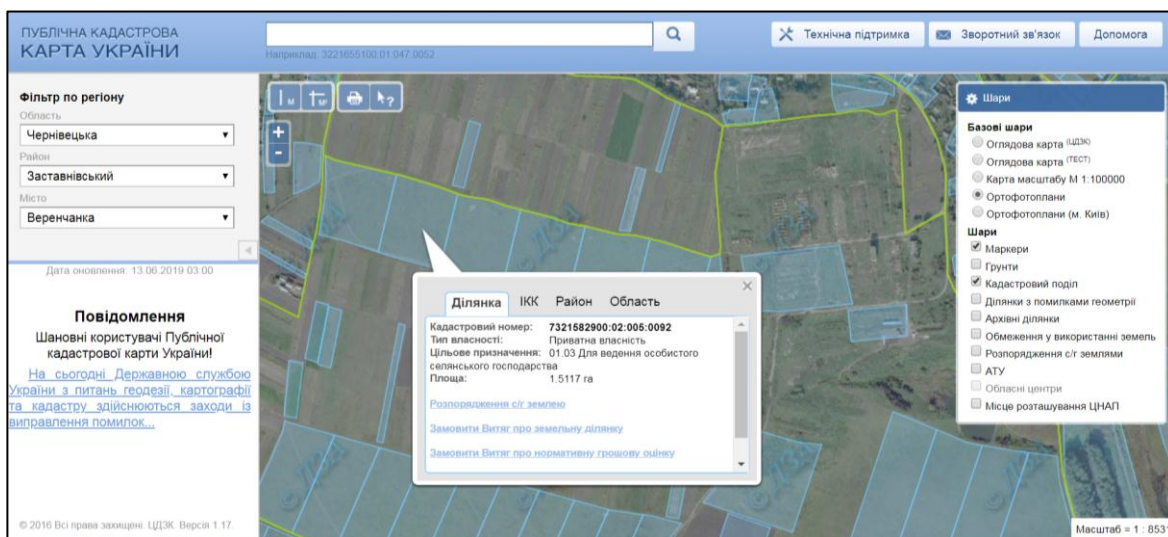


Рис. 3.13. Публічна кадастрова карта України [Джерело: <https://map.land.gov.ua/kadastrova-karta>]

3.1.3. Створення бази даних

Створення бази даних проекту було реалізовано виключно за допомогою FOSS (вільного та відкритого програмного забезпечення). Запропоновано використовувати базу даних PostgreSQL з розширенням PostGIS. Основною перевагою PostGIS є те, що вона є безкоштовною і поєднує мову програмування SQL з просторовими операторами і функціями. Крім простого зберігання даних, PostGIS дозволяє здійснювати всі види операцій над даними, а також має міцний зв'язок з QGIS Software.

База даних проекту складається з двох секцій: перша секція - векторні файли в базі даних PostgreSQL і друга - растрові файли у файловій системі на ПК. Зв'язки між таблицями в базі даних "SOLAR" в PostgreSQL показані на рис.3.14.

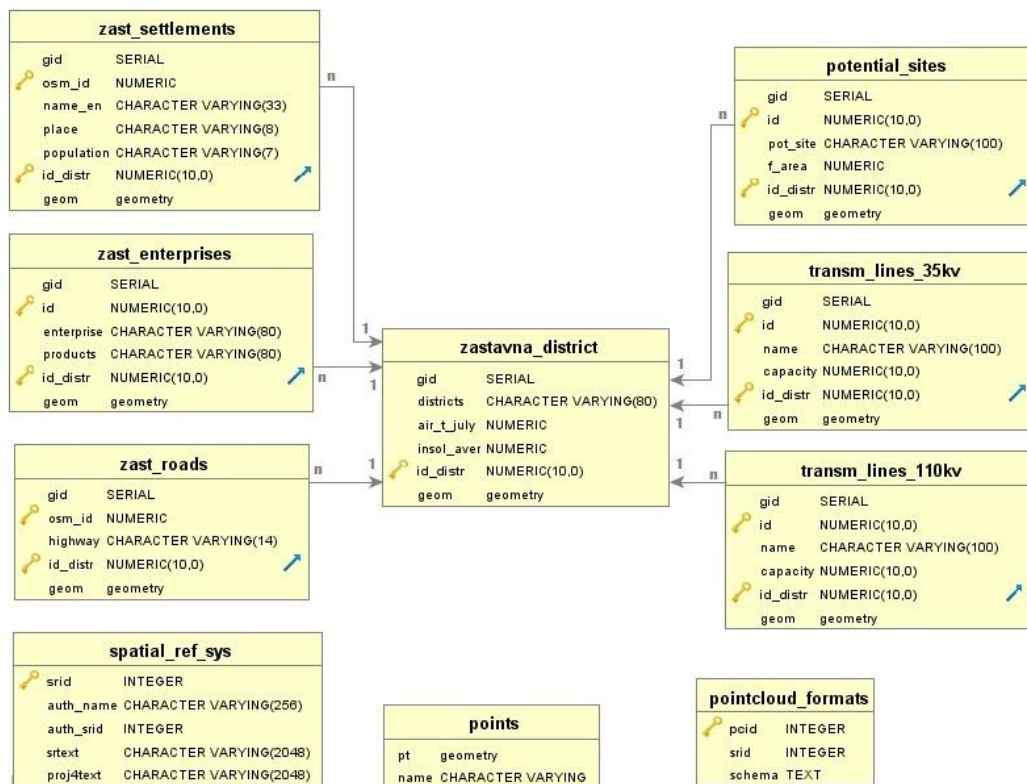


Рис. 3.14. Модель даних в PostgreSQL [Джерело: дослідження автора]

3.2. Опрацювання вхідної інформації засобами ГІС-технологій

Слід зауважити, що перед основним опрацюванням даних варто провести підготовку даних, яка включає видалення непотрібних даних з існуючих векторних і растрових шарів, таблиць, об'єднання двох ЦМР, вибір системи координат.

3.2.1. Критерії оцінки

У результаті відбору критеріїв розташування наземних фотоелектричних сонячних електростанцій для «пілотного» Заставнівського району було обрано 6 критеріїв оцінки: ухил та експозиція схилів земної поверхні, близькість до ліній електропередач (ЛЕП), підприємств, населених пунктів, дорожньої мережі.

Далі представлена процедура їх обробки в рамках QGIS Software відповідно до вимог.

Першим критерієм оцінки є *ухил земної поверхні*. З технічної точки зору, дуже круті схили не придатні для установки СЕС. З цієї причини ухили місцевості, що перевищують 20° , повинні бути виключені (рис.3.15). Інструмент Ухил (Slope) у QGIS 2.16.3 розташований: Raster → Analysis → DEM (Terrain Models) → Slope. Величина Ухилу виражається у градусах від 0 до 90.

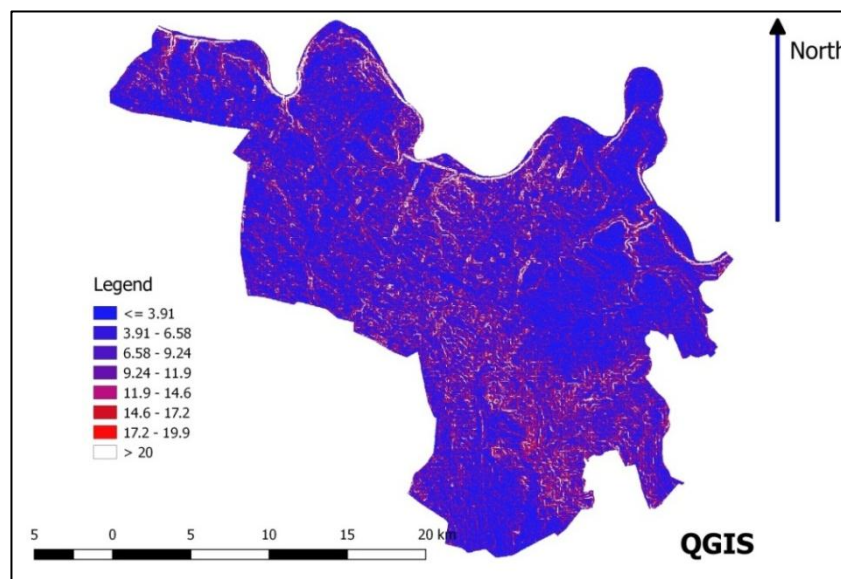


Рис. 3.15. Результати виконання процедури «Ухил» («Slope») [Джерело: автор]

Другий критерій оцінки - *експозиція схилів земної поверхні*. Найбільш придатна експозиція схилів для розташування СЕС - 110-200° - це орієнтація на південь, південний схід, частково південний захід. Тому такі значення експозиції схилів як орієнтація на північ, північний схід і північний захід повинні бути виключені (рис.3.16). Інструмент Експозиція схилів (Aspect) у QGIS 2.16.3 знаходиться: Raster → Analysis → DEM (Terrain Models) → Aspect. Величина Експозиції схилів представлена у градусах від 0 до 360.

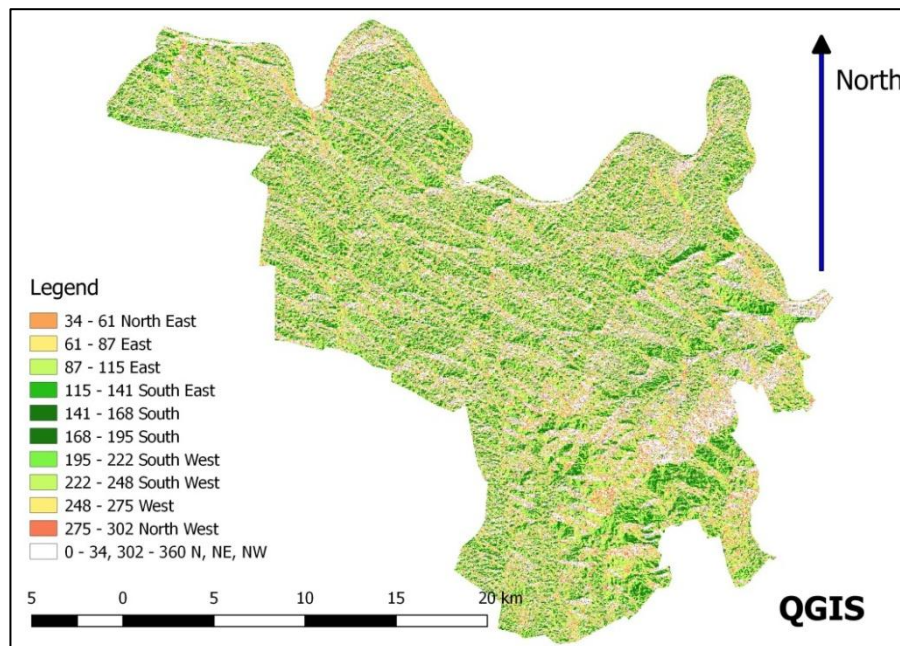


Рис. 3.16. Результати виконання процедури «Експозиція схилів» («Aspect») [Джерело:автор]

Третім критерієм оцінки є *близькість до ліній електропередач (ЛЕП)*. На основі геоінформаційної системи «GISENERGY» об'єктів енергетики Чернівецької області створено карту ліній електропередач 35 кВ та 110 кВ для території Заставнівського району. Навколо ліній електропередач побудована буферна зона з радіусом 5 000 метрів з кроком у 500 метрів (рис.3.18), оскільки найкраще розташування відповідно до вимог знаходиться в радіусі 500 метрів від ліній високої напруги. Буферна зона побудована за допомогою плагіна MultiDistanceBuffer (рис.3.17 а). Для подальшого оверлейного аналізу цей векторний шар був растрований за допомогою інструмента Rasterize (vector

to raster), який можна знайти: Processing Toolbox window → GDAL/OGR → Rasterize (vector to raster) (рис.3.17 б). Використовувати цю процедуру створення багаторівневих буферних зон (векторних шарів) та їх растеризації пропонується і для опрацювання інших критеріїв оцінки.

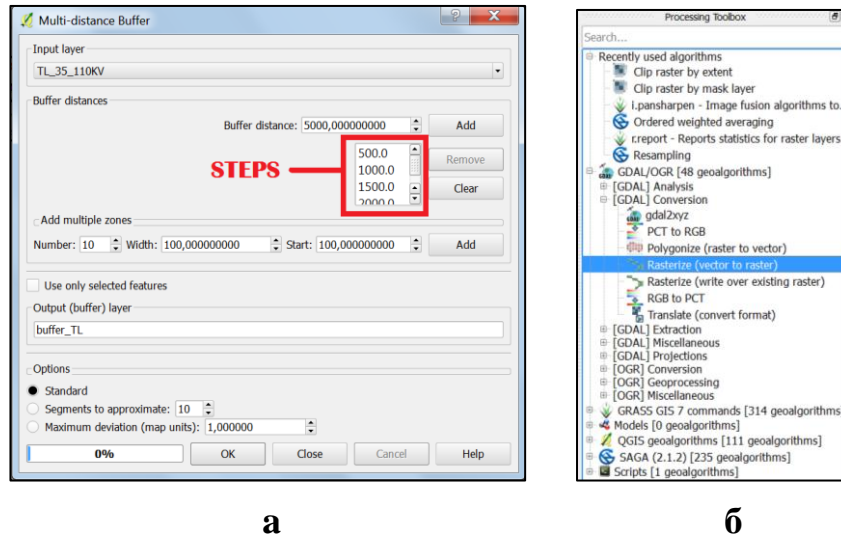


Рис. 3.17. Плагіни MultiDistanceBuffer та Rasterize (vector to raster)

[Джерело:автор]

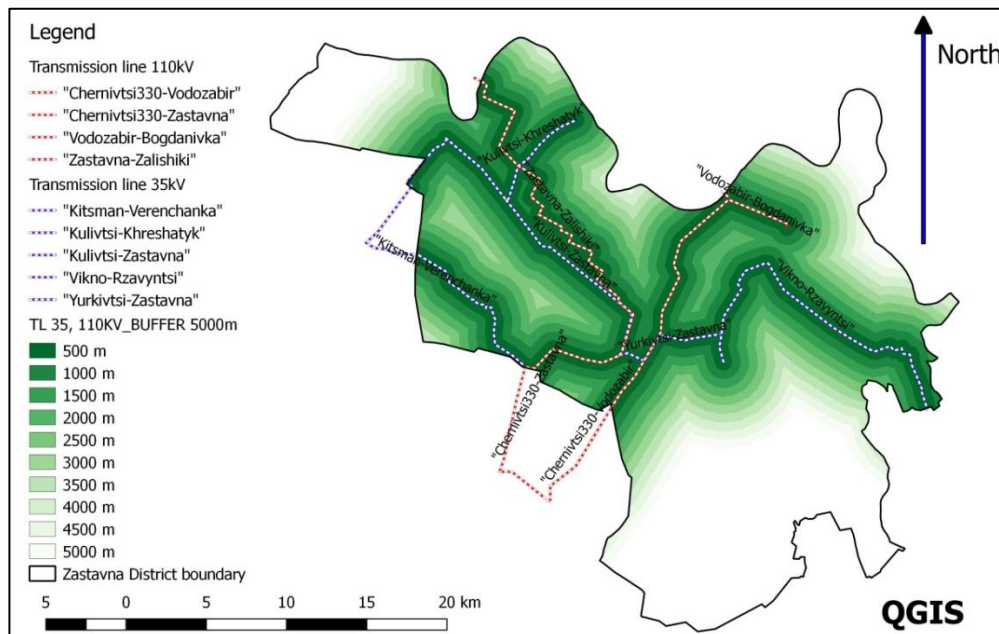


Рис. 3.18. Лінії електропередач 35 кВ і 110 кВ та їх буферні зони

[Джерело:автор]

Четвертим критерієм оцінки є *близькість до підприємств*. Дані про кількість промислових підприємств та сільськогосподарських формувань у Заставнівському районі, а також їх адреси отримано з документа "Соціально-економічний паспорт Заставнівського району". Підгрузивши OpenStreetMap у проект та знаючи точні адреси підприємств був створений векторний шар. За аналогією, навколо підприємств була створена буферна зона з радіусом 3 500 метрів з кроком у 350 метрів (рис. 3.19).

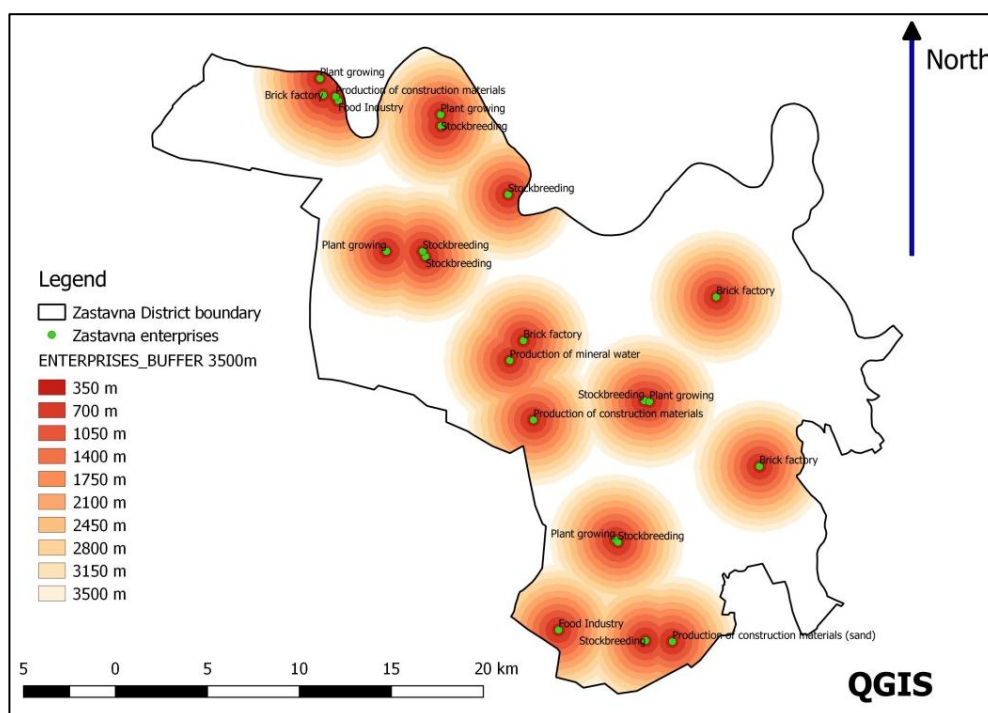


Рис. 3.19. Підприємства та їх буферні зони [Джерело:автор]

П'ятим критерієм оцінки є *близькість до населених пунктів*. Карта населених пунктів Заставнівського району (рис. 3.20) побудована шляхом додавання у проект векторного шару населених пунктів з завантаженої з онлайн-ресурсу OpenStreetMap вибірки, та створенням буферної зони радіусом 2 500 метрів з кроком у 250 метрів.

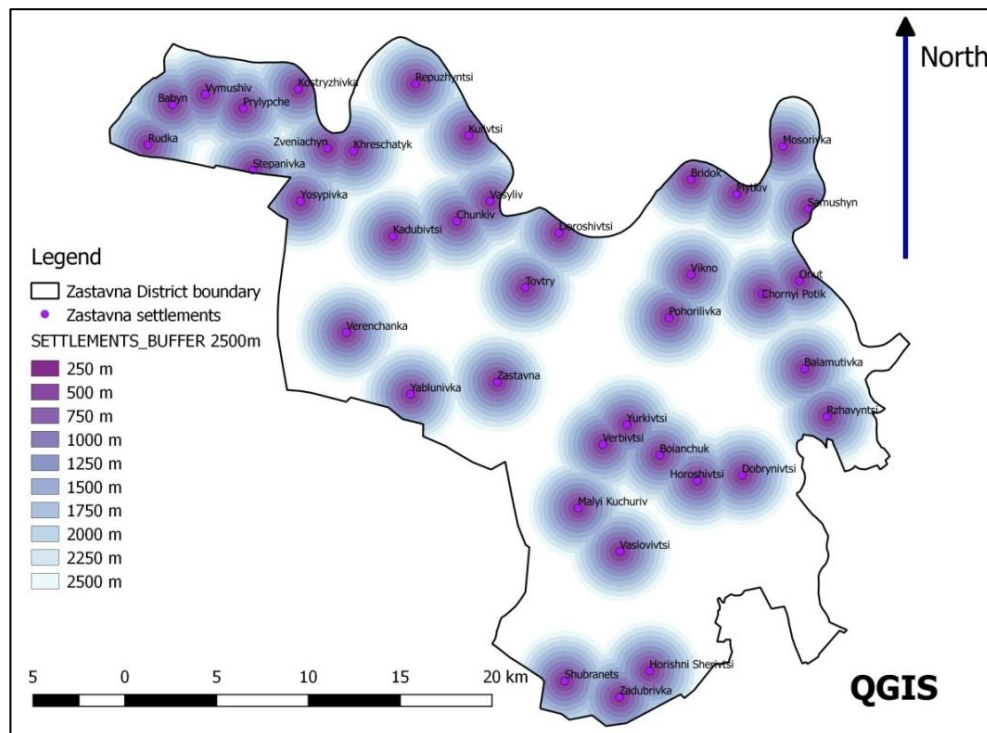


Рис. 3.20. Населені пункти та їх буферні зони [Джерело:автор]

Шостим критерієм оцінки є *близькість до дорожньої мережі*. Карта дорожньої мережі отримана шляхом додавання у проект векторного шару дорожньої мережі Заставнівського району з завантаженої з онлайн-ресурсу OpenStreetMap вибірки, видалення доріг з категоріями "стежка", "пішохідна дорога", "велосипедний шлях", "бріd" через їх непридатність для проїзду транспорту. Для решти доріг створена буферна зона з радіусом 1 000 метрів з кроком у 100 метрів (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Дорожня мережа та її буферна зона [Джерело:автор]

Після створення всіх карт критеріїв оцінки необхідно провести основний їх оверлейний аналіз - *процедуру впорядкованого зваженого усереднення «Ordered Weighted Averaging»*. У цьому випадку пропонується використовувати інструмент «Ordered Weighted Averaging» у FOSS QGIS. Зазвичай такий аналіз проводиться за допомогою пакета програмного забезпечення ArcGIS, але відповідно до однієї з цілей дослідження, все програмне забезпечення, яке використовується в проекті, має бути безкоштовне та у вільному доступі. На відміну від ArcGIS, QGIS має певні обмеження, але теж може виконати таку процедуру. Вхідні дані є наступними:

- Ухил земної поверхні;
- Експозиція схилів земної поверхні;
- Близькість до ліній електропередач (ЛЕП);
- Близькість до підприємств;
- Близькість до населених пунктів;
- Близькість до дорожньої мережі.

Всі шари є растрами, тому їх не потрібно конвертувати.

Важливо, щоб всі шари відповідали вимогам процедури впорядкованого зваженого усереднення в QGIS - мають однакову систему координат, однаковий розмір комірки, однакову роздільну здатність - просторове розрізнення (висота пікселя / ширина пікселя), однаковий розмір растра (однакові координати x, y найбільш західного, найбільш південного кута), однаковий діапазон класів. У даному випадку всі растрові шари знаходяться в системі координат WGS 84 UTM 35N, розмір комірки 20м, просторова розрізненість 20м x 20м, і всі вони обрізані за контуром векторного шару Заставнівського району.

Для того, щоб порівняти різні критерії, унікальний/загальний для всіх карт масштаб і загальний діапазон є абсолютно необхідними. З цієї причини всі шість вхідних шарів карти було перетворено за шкалою придатності від 1-11 (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Стандартизація критеріїв оцінки у шкалу придатності

Шкала придатності	Ухил (градуси)	Експозиція схилів (градуси)	Близькість до ліній електропередач (ЛЕП) (метри)
10	0 – 0,84	141 – 195 (Південь)	0 – 500
9	0,84 – 3,07	115 – 141 (Південний Схід)	500 – 1 000
8	3,07 – 5,29	195 – 222 (Південний Захід)	1 000 – 1 500
7	5,29 - 7,52	222 – 248 (Південний Захід)	1 500 – 2 000
6	7,52 – 9,75	87,8 – 115 (Схід)	2 000 – 2 500
5	9,75 – 12	61 – 87 (Схід)	2 500 – 3 000
4	12 – 14,2	248 – 275 (Захід)	3 000 – 3 500
3	14,2 – 16,4	34 – 61 (Північний Схід)	3 500 – 4 000
2	16,4 – 18,7	275 – 302 (Північний Захід)	4 000 – 4 500
1	18,7 – 20,0	302 – 310 (Північний Захід)	4 500 – 5 000
0	-1	-1	-1

Стандартизація критеріїв оцінки у шкалу придатності

Шкала придатності	Близькість до населених пунктів (метри)	Близькість до підприємств (метри)	Близькість до дорожньої мережі (метри)
10	0 – 250	0 – 350	0 – 100
9	250 – 500	350 – 700	100 – 200
8	500 – 750	700 – 1 050	200 – 300
7	750 – 1 000	1 050 – 1 400	300 – 400
6	1 000 – 1 250	1 400 – 1 750	400 – 500
5	1 250 – 1 500	1 750 – 2 100	500 – 600
4	1 500 – 1 750	2 100 – 2 450	600 – 700
3	1 750 – 2 000	2 450 – 2 800	700 – 800
2	2 000 – 2 250	2 800 – 3 150	800 – 900
1	2 250 – 2 500	3 150 – 3 500	900 – 1 000
0	-1	-1	-1

Наступним кроком є **визначення надійної ваги** кожному з критеріїв оцінки. Цей процес складається з наступних етапів: визначення впливу кожного з шести критеріїв, визначення експерта з найвищим рангом, встановлення узгодженості експертних суджень, визначення відносної значущості критеріїв, і, насамкінець, ваги кожного критерію.

Для встановлення узгодженості експертних суджень застосовано *метод множинного коефіцієнта рангової кореляції* - коефіцієнт конкордації (Перович І., 2013). Для цього десяти експертам було запропоновано визначити вплив кожного з шести критеріїв оптимального розташування наземної сонячної електростанції.

При оцінці впливу окремих критеріїв використовується десятибальна шкала рангів. У табл. 3.7 приведені оцінки впливу по кожному з шести критеріїв надані десятьма експертами.

Таблиця 3.7

Середні значення рангів критерій

Критерій	Експерти										Σ рангів	d_j	d_j^2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1. Ухил	4	5	7	8	4	4	5	3	2	5	47	-3,5	12,25
2. Експозиція схилів	9	9	8	9	8	8	8	9	8	6	82	31,5	992,25
3. Близькість до ліній електропередач (ЛЕП)	7	4	6	5	6	7	9	6	5	6	61	10,5	110,25
4. Близькість до підприємств	3	4	5	4	5	4	4	4	3	3	39	-11,5	132,25
5. Близькість до населених пунктів	3	5	4	2	5	8	6	5	3	4	45	-5,5	30,25
6. Близькість до дорожньої мережі	2	5	1	2	3	3	2	4	4	3	29	-21,5	462,25
Σ	28	32	31	30	31	34	34	31	25	27	303	0	1739,5

Проаналізувавши результати табл. 3.7, можна зробити висновок про найбільшу значущість другого і третього критеріїв визначення оптимальних місць розташування сонячних електростанцій. Це вплив експозиції схилів земної поверхні і близькості до ліній електропередач. Найменш важливим критерієм є близькість до дорожньої мережі.

Сформуємо матрицю рангів з метою встановлення рангів експертів (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Матриця рангів експертів

Ранги	Експерти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сума	28	32	31	30	31	34	34	31	25	27
Середнє значення	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
Відхилення	-2,3	1,7	0,7	-0,3	0,7	3,7	3,7	0,7	-5,3	-3,3
Ранг експерта	4	3	2	1	2	6	6	2	7	5

Представлені результати дозволяють зробити висновок, що найвищий ранг має четвертий експерт, другий ранг у третього, п'ятого і восьмого експертів, третій ранг у другого, а найнижчий ранг у дев'ятого експерта.

Для визначення тісноти зв'язку між довільним числом ранжованих ознак застосовуємо коефіцієнт конкордації (множинний коефіцієнт рангової кореляції).

Отже, коефіцієнт конкордації згідно формули 2.4 дорівнює:

$$W = \frac{12 \times 1739,5}{10^2 \times (6^3 - 6)} = 0,994$$

Коефіцієнт конкордації може приймати значення в діапазоні від 0 до 1. Чим більше значення коефіцієнта конкордації, тим вища ступінь узгодженості думок експертів. Якщо $W=1$ - це повна узгодженість думок експертів; якщо $W=0$, то узгодженість практично відсутня.

У даному випадку цей коефіцієнт дорівнює 0,994, що означає майже повну узгодженість експертів.

Наступним етапом є виконання *методу аналізу ієрархій* (Saaty, 1997). Матриця порівняння між парами критеріїв (табл. 3.9) будується на основі суджень експерта з найвищим рангом (табл. 3.10). У процесі обчислюється допоміжна матриця - нормалізована матриця попарного порівняння (табл. 3.9), в якій значення в кожній комірці є результатом поділу кожного значення судження (a_{ij}) на суму значень відповідного стовпця. У результаті, отримано середнє значення нормалізованих значень рядків, яке відповідає вектору пріоритету (ω_j).

Таблиця 3.9

Матриця попарного порівняння

	F1 Ухил	F2 Експозиція схилів	F3 Бл. до ЛЕП	F4 Бл. до підприємств	F5 Бл. до нас. пунктів	F6 Бл. до дорожн.мережі
F1 Ухил	1	0,250	0,500	2	1	4
F2 Експозиція схилів	4	1	3	6	4	7
F3 Бл. до ЛЕП	2	0,333	1	3	2	4
F4 Бл. до підприємств	0,500	0,167	0,333	1	0,500	2
F5 Бл. до нас. пунктів	1	0,250	0,500	2	1	3
F6 Бл. до дорожн.мережі	0,250	0,143	0,250	0,500	0,333	1
Сума	8,750	2,143	5,583	14,500	8,833	21,000

Таблиця 3.10

Нормалізована матриця попарного порівняння

	F1 Ухил	F2 Експозиція схилів	F3 Бл. до ЛЕП	F4 Бл. до підприємств	F5 Бл. до нас. пунктів	F6 Бл. до дорожн. мережі	Вектор пріоритету (ω_j)
F1 Ухил	0,114	0,117	0,090	0,138	0,113	0,190	0,13
F2 Експозиція схилів	0,457	0,467	0,537	0,414	0,453	0,333	0,44
F3 Бл. до ЛЕП	0,229	0,156	0,179	0,207	0,226	0,190	0,20
F4 Бл. до підприємств	0,057	0,078	0,060	0,069	0,057	0,095	0,07
F5 Бл. до нас. пунктів	0,114	0,117	0,090	0,138	0,113	0,143	0,12
F6 Бл. до дорожн.мережі	0,029	0,067	0,045	0,034	0,038	0,048	0,04
Сума	1	1	1	1	1	1	1,00

Для оцінки узгодженості векторів визначаються вектор зваженої суми і вектор узгодженості (табл. 3.11).

Розрахунок вектора узгодженості

Критерій	Вектор зваженої суми	Вектор узгодженості
F1 Ухил	0,768	6,043
F2 Експозиція схилів	2,740	6,178
F3 Бл. до ЛЕП	1,219	6,161
F4 Бл. до підприємств	0,419	6,048
F5 Бл. до нас. пунктів	0,724	6,082
F6 Бл. до дорожн.мережі	0,262	6,054

Після розрахунку вектора узгодженості обчислюється значення лямбда (λ) - середнє значення вектора узгодженості (форм.2.6) і індекс узгодженості (CI) (форм.2.7).

$$\lambda = \frac{\sum C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6}{n} = \frac{6,043 + 6,178 + 6,161 + 6,048 + 6,082 + 6,054}{6} = 6,094$$

$$CI = \frac{(\lambda - n)}{(n - 1)} = \frac{(6,094 - 6)}{5} = 0,019$$

Індекс узгодженості показує відхилення від узгодженості. Щоб визначити достовірність індексу узгодженості, метод аналізу ієрархій порівнює його з Індексом випадковості - Random Index (RI). У даному випадку для $n = 6$ RI дорівнює 1,24. Результатом такого порівняння є значення співвідношення узгодженості (CR) (форм.2.8), яке дорівнює:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,019}{1,24} = 0,015 < 0,10$$

Співвідношення вказує на розумний рівень узгодженості у попарних порівняннях, тому можна довіряти вагам, визначеним за допомогою матриці попарного порівняння.

Таблиця 3.12 вказує вагу кожного шару критеріїв оцінки, загальна їх вага становить 100.

Таблиця 3.12

Ваги кожного критерію оцінки

№	Критерій	Вага
1	Ухил земної поверхні	13
2	Експозиція схилів земної поверхні	44
3	Близькість до ліній електропередач (ЛЕП)	20
4	Близькість до підприємств	7
5	Близькість до населених пунктів	12
6	Близькість до дорожньої мережі	4

Оскільки всі ваги для відповідних критеріїв оцінки визначені, можна перейти безпосередньо до виконання процедури впорядкованого зваженого усереднення в QGIS. Шлях до процедури *Ordered Weighted Averaging* в QGIS 2.16.3 (Розширений інтерфейс): Processing Toolbox → SAGA (2.1.2) → Raster Analysis → Ordered Weighted Averaging (рис. 3.22).

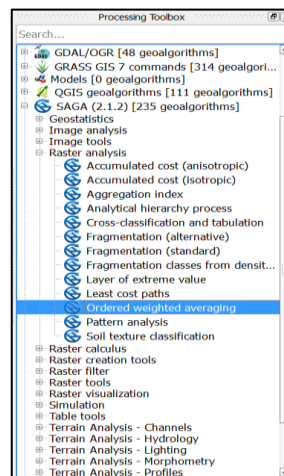


Рис. 3.22. Шлях до процедури Ordered Weighted Averaging [Джерело:автор]

Результат процедури - створення початкової карти-схеми придатності земель на основі аналізу критеріїв оцінки (рис.3.23).

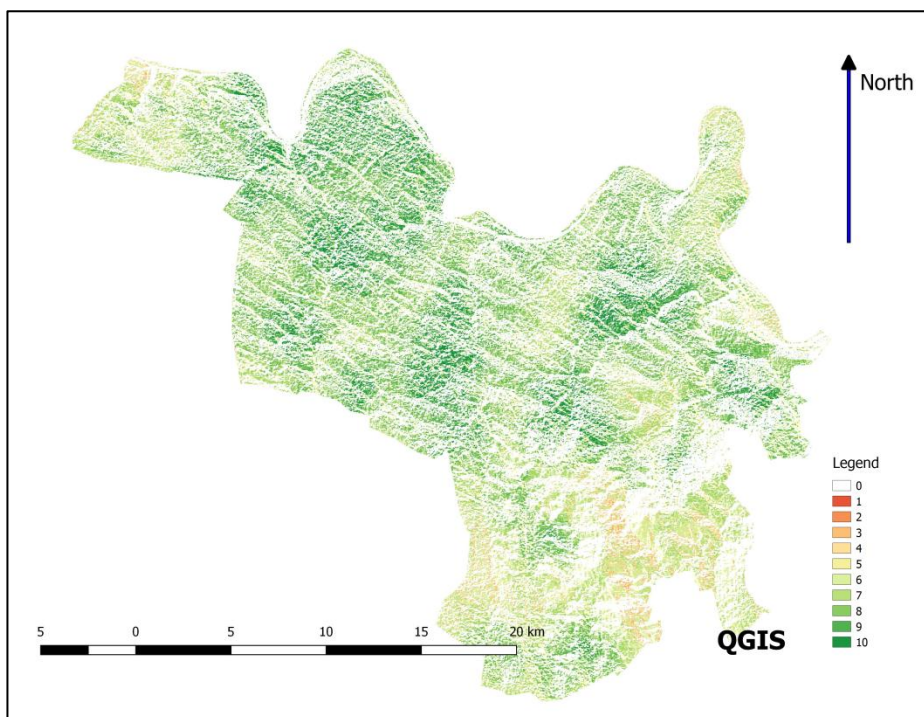


Рис. 3.23. Початкова карта-схема придатності земель, створена на основі аналізу критеріїв оцінки [Джерело:автор]

Зелені кольори означають найбільш придатні місця для розташування наземних СЕС, кольори близькі до помаранчевих - найгірші місця, білі - виключені території з зовсім непридатними для сонячних електростанцій ухилами та експозиціями схилів. У таблиці 3.13 наведено опис шкали придатності результуючої карти-схеми критеріїв оцінки.

Таблиця 3.13

Опис шкали придатності

Рівень	Придатність	Рівень придатності
1	Lowest suitability	Найнижча придатність
2	Very low suitability	Дуже низька придатність
3	Low suitability	Низька придатність
4	Moderately low suitability	Помірно низька придатність
5	Moderate suitability	Помірна придатність
6	Moderate high suitability	Помірно висока придатність
7	High suitability	Висока придатність
8	Very High suitability	Дуже висока придатність
9	Extremely High suitability	Надзвичайно висока придатність
10	Highest suitability	Найвища придатність
0	No value (not suitable at all)	Нема значення (не придатні зовсім)

3.2.2. Критерії виключення

Єдиний критерій виключення, визначений для «пілотного» Заставнівського району – це *тип земної поверхні (земного покриття)*. Сприятливим типом земної поверхні для наземних сонячних фотоелектричних електростанцій є вільна від лісів, водойм, забудови, заболочених земель, заплавл місцевість, яка характеризується переважно низькою і середньою трав'янистою рослинністю (але не є ріллею); кущами; наявністю кам'янистих земель; виснажених або деградованих земель; закритих (законсервованих) сміттєзвалищ.

Як було зазначено раніше, для опрацювання критерію виключення - визначення земельного покриття «пілотного» Заставнівського району за допомогою класифікації супутникових знімків - був обраний супутниковий знімок Landsat 8 OLI / TIRS Collection 1 L1TP (Precision Terrain correction) (точна топографічна корекція).

Попередня обробка даних Landsat 8 OLI / TIRS

Зображення, отримані сенсорами Landsat 8 OLI / TIRS, можуть спотворюватися в результаті роботи сенсора, сонячного, атмосферного і топографічного ефектів. Попередня додаткова обробка знімка мінімізує ці ефекти для конкретного типу застосування. Проте кроки попередньої обробки вимагають багато часу і можуть спричинити додаткові джерела помилок (Nicholas E. Young et al., 2017).

Важливо знати одиниці, які відображають дані у супутникових знімках:

✓ для видимих і SWIR (vis-SWIR) каналів:

цифрове число (DN), випромінювання (radiance), відбиття (surface reflectance);

✓ для теплових каналів:

цифрове число (DN), випромінювання (radiance), температура (temperature).

Продукти Landsat 8 OLI / TIRS Collection 1 L1TP поставляються у вигляді цифрових номерів (DN), які можуть бути перетворені в абсолютні одиниці

випромінювання (radiance) або відбиття (surface reflectance). Відбиття - це відношення випромінювання, відбитого об'єктом до випромінювання, що падає на об'єкт. У екологічних дослідженнях найчастіше використовуються цифрові номери (DN) або відбиття (surface reflectance), для теплових каналів - цифрові номери (DN) або температура (градуси Кельвіна).

Дерево рішень для визначення рівня попереднього опрацювання знімків, необхідного для більшості екологічних досліджень зображено на рис. 3.24.

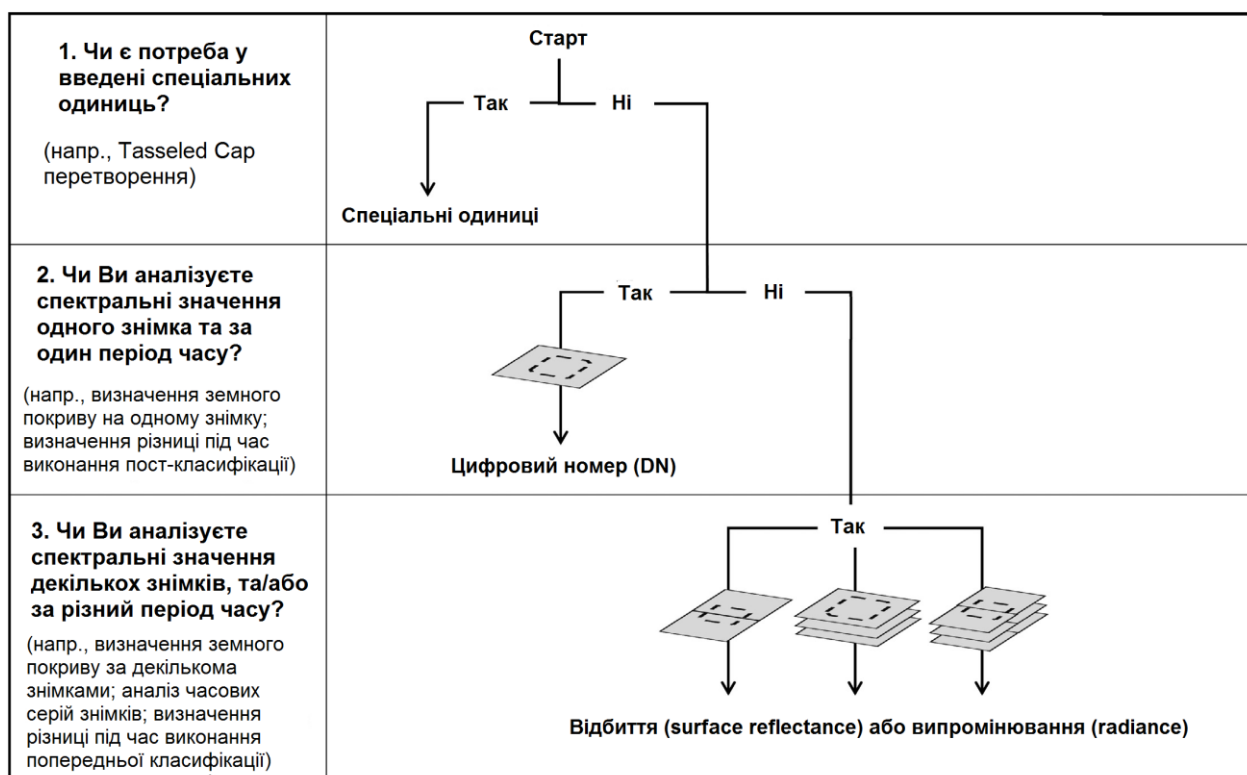


Рис. 3.24. Дерево рішень для визначення рівня попереднього опрацювання знімків [Джерело: Nicholas E. Young et al., 2017]

У даному випадку область дослідження - вся територія «пілотного» Заставнівського району - охоплюється одним супутниковим знімком та аналіз здійснюватиметься для одного періоду часу, тому відповідним рівнем попередньої обробки є цифровий номер (DN).

Супутниковий знімок Landsat 8 OLI / TIRS Collection 1 отриманий 19 серпня 2016 року, дані якого представлено у одиницях DN, є відкоригований *геометрично* (виконані процеси геоприв'язки та орторектифікації (корекції

ефектів за вплив рельєфу)) та *радіометрично* (одиниці DN надані в продуктах рівня Collection 1, є каліброваними значеннями випромінювання (radiance), які масштабовані до різних глибин бітів).

Абсолютна корекція за вплив атмосфери необхідна для даного типу знімків тоді, коли (1) проводиться порівняння з даними відбиття ґрунту, отриманими польовим спектро радіометром, або (2) як альтернативу відносній корекції, коли проводиться порівняння між кількома зображеннями. Рекомендується не виконувати атмосферну корекцію, якщо це не є необхідним (згідно ДЕРЕВА рішень щодо визначення рівня попереднього опрацювання знімків на рис.3.24), тому що вона може вносити додаткові помилки (Schroeder et al., 2006). У даному дослідженні визначений рівень попередньої обробки знімка є цифровий номер (DN), тому абсолютна корекція за вплив атмосфери не виконувалася.

Топографічна корекція - це процес, який використовується для врахування ефектів освітлення за впливом ухилу, експозиції схилів та висоти, що може викликати зміни у значеннях відбиття (Riaño et al., 2003). Хоча ця корекція не завжди потрібна, вона може бути особливо важливою для застосувань у гірських районах (Colby, 1991, Riaño et al. 2003, Shepherd and Dymond, 2003). Дане дослідження не вимагає цього кроку, оскільки наш «пілотний» Заставнівський район розташований на рівнинній території з максимальною висотою 512 м над рівнем Балтійського моря.

Відносна радіометрична корекція застосовується у випадку використання декількох космічних знімків. Вона приводить кожен канал знімка до тієї ж радіометричної шкали, що і відповідний канал опорного знімка. В даному випадку виконання цього типу корекції не потребується, тому що один знімок покриває усю територію Заставнівського району.

Створення мультиспектрального зображення

Для подальшої процедури класифікації супутникового знімка необхідно створити мультиспектральне зображення. Важливо знайти таку комбінацію

спектральних каналів, де найкраще можна ідентифікувати різні типи земної поверхні.

Згідно з науковою літературою та пошуком через Інтернет, пропонується застосувати наступні комбінації каналів (табл. 3.14) для оцінки та вибору найкращої.

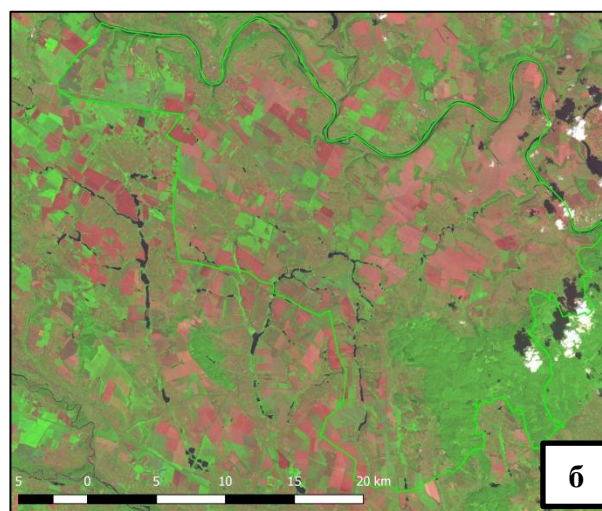
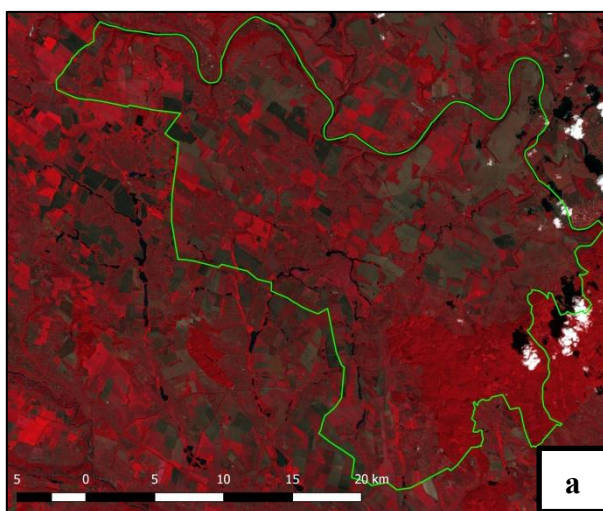
Таблиця 3.14

Комбінації спектральних каналів для Landsat 8

№	Назва	Комбінація каналів	Мультиспектральне зображення
1	Color Infrared (CIR)	5 4 3	Рис. 3.28 а
2	Shortwave Infrared	7 5 4	Рис. 3.28 б
3	Vegetation Analysis	6 5 4	Рис. 3.28 в
4	Agriculture	6 5 2	Рис. 3.28 г
5	False Color Image	7 5 2	Рис. 3.28 г

Створення мультиспектральних зображень виконується у програмному забезпеченні *MultiSpec*. Для цього важливо імпортувати до проєкту всі необхідні спектральні канали, і виконати процедуру поєднання окремих файлів спектральних каналів у єдиний файл багатоспектрального зображення (Combining Separate Image Files into a Single Multispectral Image File).

В результаті отримано п'ять мультиспектральних зображень, показаних на рис. 3.25 (а, б, в, г, г). Їх просторове розрізнення становить 30 м.



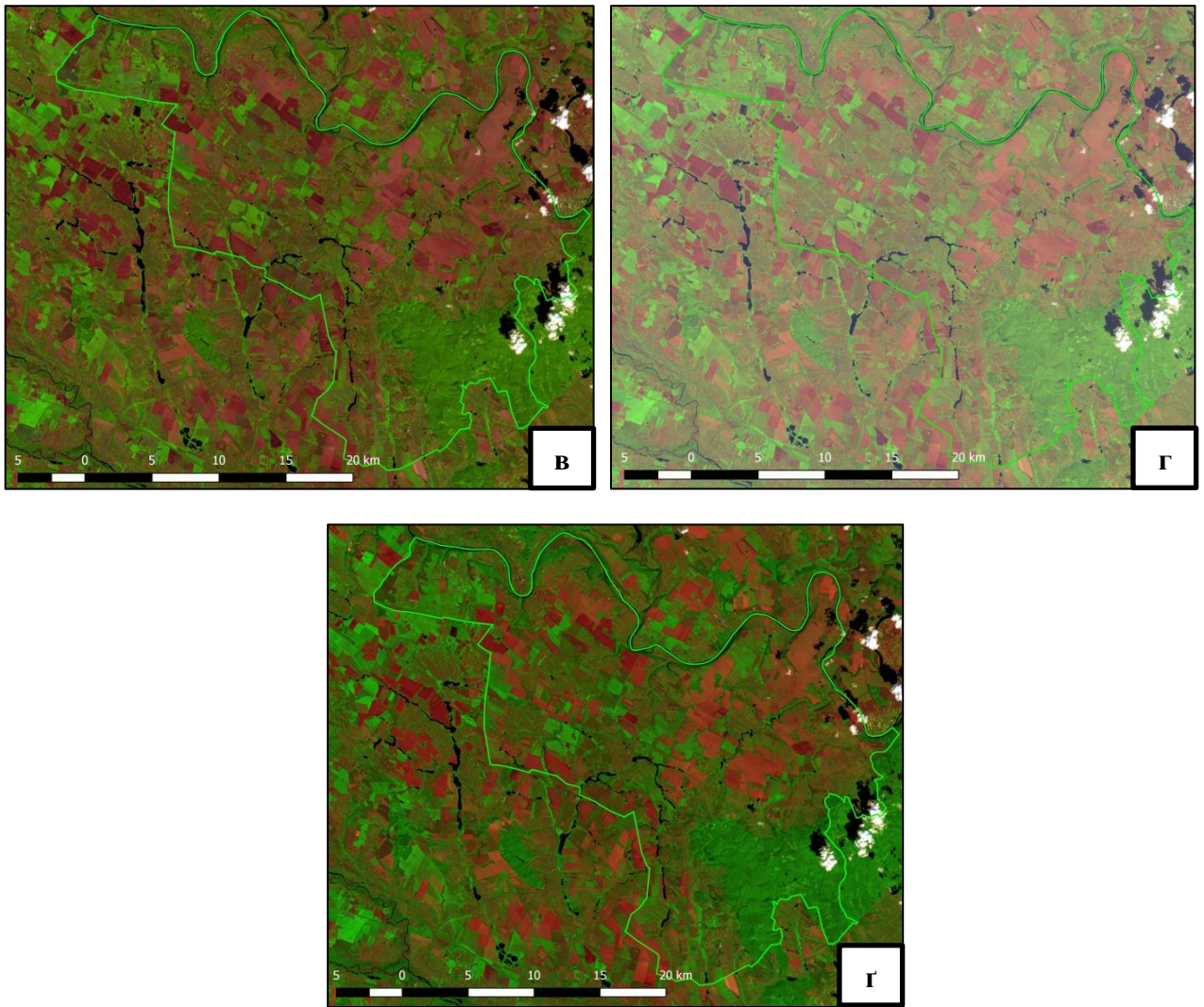


Рис. 3.25. П'ять мультиспектральних зображень:

а - *Color Infrared (CIR)*; **б** - *Shortwave Infrared*; **в** - *Vegetation Analysis*,
г - *Agriculture*, **г** - *False Color Image*

[Джерело:автор]

При детальному вивченні кожного зображення встановлено, що четверте зображення - *Agriculture* - найкраще підходить для коректного визначення типу земної поверхні. Орні землі з зеленою рослинністю відображаються у яскраво зелених кольорах; орні землі з сухою рослинністю – у бордовому кольорі; орні землі з відкритим ґрунтом проявляються у рожевому кольорі; сіножаті та пасовища – у зелено-коричневому; ліс – у зеленому та темно-зеленому; кам'яністі землі – у світло-рожевому кольорі. Але, на жаль, міські райони погано розрізняються на цих мультиспектральних зображеннях. Можливо, причина полягає в тому, що «пілотний» район - це переважно сільська

місцевість з будинками, оточеними садами чи городами, де розмір будинка приблизно 15м x 10м, а розмір пікселя отриманого мультиспектрального зображення становить 30м x 30м.

Контрольована класифікація супутникових знімків

Запропоновано застосовувати контрольовану класифікацію супутникових знімків з використанням методу максимальної вірогідності (Maximum likelihood) через кращу його точність та якість представлення результатів.

Для проведення цієї процедури необхідно імпортувати до проєкту у програмному забезпеченні MultiSpec обране мультиспектральне зображення “Agriculture - канали 6 5 2”, вирізане по контуру Заставнівського району.

Після цього створюються навчальні вибірки (регіони інтересу (ROI)) відповідно до типу земної поверхні. У контрольованій класифікації вони використовуються для ідентифікації класів і обчислення їх сигнатур. Навчальні вибірки можуть бути створені інтерактивно на мультиспектральному зображенні за допомогою інструментів креслення вибірок - у програмному забезпеченні MultiSpec вони створюються у окремому вікні проєкту (рис. 3.26). Google Satellite Map використовується для візуального визначення реального типу земної поверхні.

Сигнатури створюються в різних місцях знімка та різні за розміром – для більших за площею поверхонь одиничні сигнатури досягають до 500 пікселів, для дрібних – 10-20 пікселів. Орні землі ідентифікуються за геометричною конфігурацією. Сіножаті та пасовища розташовуються зазвичай біля ярів, річок, лісів.

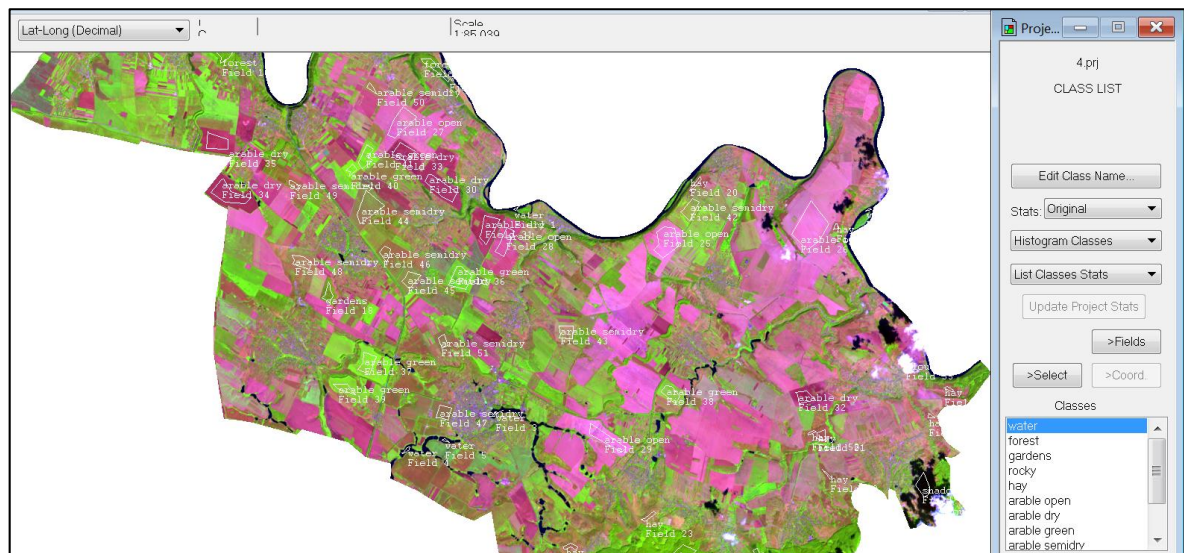


Рис. 3.26. Створення навчальних вибірок [Джерело:автор]

У робочому проекті створено 11 навчальних вибірок з відповідними розмірами сигнатур:

1. Водні об'єкти (Water bodies) – 108 пікселів;
2. Ліс (Forest) – 4 871 пікселі;
3. Сади (Gardens) – 300 пікселів;
4. Кам'яністі землі (Rocky lands) – 10 пікселів;
5. Сіножаті та пасовища (Hayfields and pastures) – 780 пікселів;
6. Орні землі з відкритим ґрунтом (Arable lands with open soil) – 4 338 пікселів;
7. Орні землі з сухою рослинністю (Arable lands with dry vegetation) – 3 104 пікселі;
8. Орні землі з зеленою рослинністю (Arable lands with green vegetation) – 1 940 пікселів;
9. Орні землі з напівсухою рослинністю (Arable lands with semi-dry vegetation) – 2 502 пікселі;
10. Хмари (Clouds) – 974 пікселі;
11. Тіні від хмар (Shadows by clouds) – 623 пікселі.

Після того як вибірки були створені, переходимо безпосередньо до виконання процедури контрольованої класифікації (у нашому випадку методом максимальної вірогідності (Maximum likelihood)). У головному меню обираємо PROCESSOR → «Classify» (рис. 3.27).

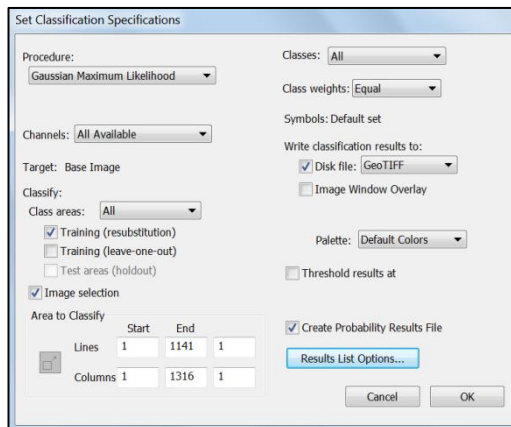


Рис. 3.27. Робоче вікно процедури контрольованої класифікації супутникових знімків у ПЗ MultiSpec [Джерело:автор]

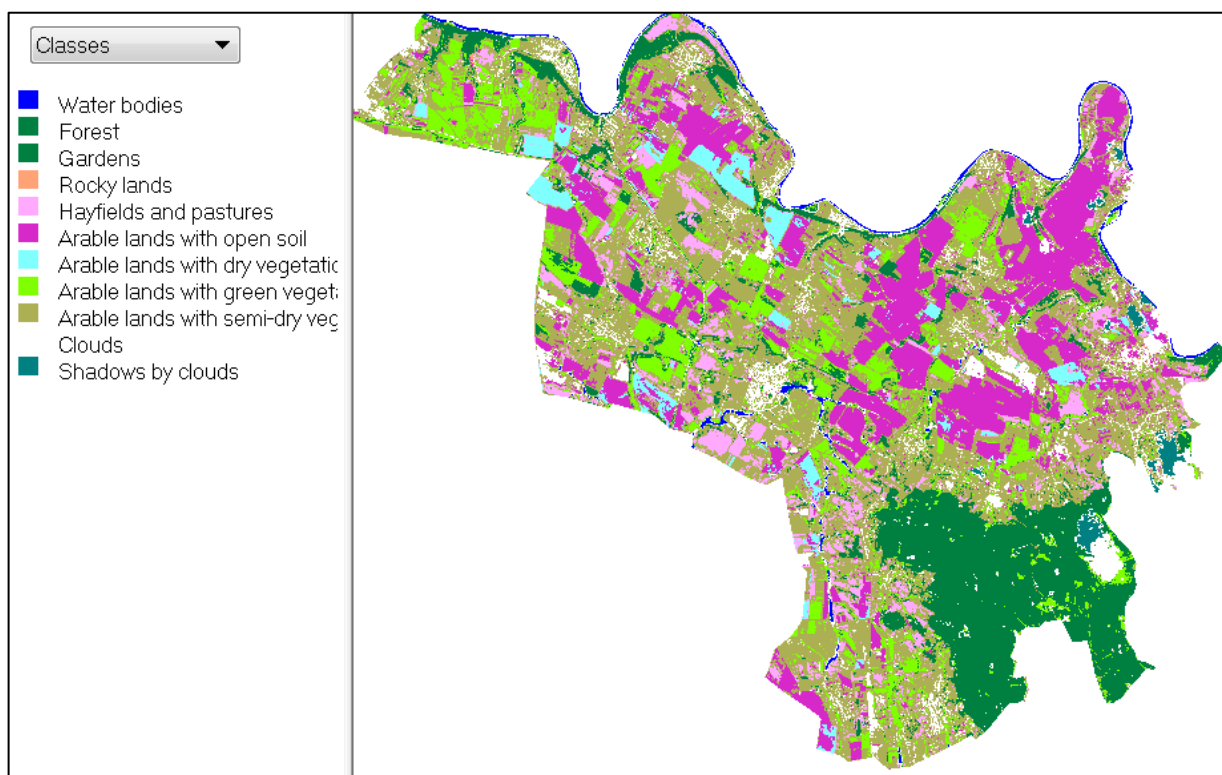
При виконанні класифікації за цим методом навколо вибірок окреслюються «еліпси» значень яскравості кожного класа з центрами у точці зі середніми значеннями вибірки і осями, зорієнтованими згідно кореляції між спектральними зонами. Для оптимальної роботи цього методу необхідним є нормальне розподілення яскравостей у межах кожної навчальної вибірки, у іншому випадку, невиконання даної умови призведе до збільшення кількості помилок при класифікації у областях перекриття вибірок.

У результаті виконання процедури було виведено таблицю результатів класифікації «Training Class Performance» (матриця точності по кожному класу) (рис.3.28 а), обчислено коефіцієнт κ (каппа Коена) (Карра coefficient), точність виробника (Producer Accuracy) та точність користувача (User Accuracy) по кожному класу, а також карту-результат класифікації було збережено у форматі .GeoTIFF (рис.3.28 б).

Project Class Name	Class Number	Reference Accuracy+ (%)	Number Samples	Number of Samples in Class												
				1 water	2 forest	3 gardens	4 rocky	5 hay	6 arable open	7 arable dry	8 arable green	9 arable semid	10 clouds	11 shadows		
water	1	100.0	108	108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
forest	2	96.1	5068	0	4869	135	0	0	0	0	4	4	4	56	0	0
gardens	3	98.8	167	0	0	165	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
rocky	4	100.0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
hay	5	93.7	510	0	0	0	0	478	0	0	0	0	0	32	0	0
arable open	6	99.3	4361	0	0	0	0	0	4331	21	0	0	7	2	0	0
arable dry	7	99.4	3103	0	0	0	0	16	4	3083	0	0	0	0	0	0
arable green	8	99.7	1909	0	2	0	0	0	0	0	1903	4	0	0	0	0
arable semidry	9	88.4	2774	0	0	0	0	286	3	0	33	2452	0	0	0	0
clouds	10	99.9	917	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	916	0	0
shadows	11	100.0	623	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	623	0
TOTAL			19550	108	4871	300	10	780	4338	3104	1940	2502	974	623		
Reliability Accuracy (%)*				100.0	100.0	55.0	100.0	61.3	99.8	99.3	98.1	98.0	94.0	100.0		

OVERALL CLASS PERFORMANCE (18938 / 19550) = 96.9%
Kappa Statistic (K100) = 96.2%, Kappa Variance = 0.000002.
+ producer's accuracy.
* user's accuracy.

а. Таблиця результатів класифікації «Training Class Performance» (матриця точності по кожному класу)



б. Карта-результат виконання контрольованої класифікації

Рис. 3.28. Результати виконання процедури контрольованої класифікації супутникового знімка методом Максимальної вірогідності

[Джерело:автор]

Таблиця результатів класифікації є матрицею, по вертикалі якої перераховані задані імена класів, а по горизонталі - імена класів, куди пікселі були віднесені. На перетині рядків і стовпців вказані кількості пікселів. Пікселі на діагоналі цієї матриці знаходилися в межах еталонного класу (навчальної

вибірки) і в нього потрапили, тобто були класифіковані коректно. Пікселі поза діагоналю були класифіковані в інші класи.

Коефіцієнт κ (каппа Коена) дорівнює 0.962, що вказує на високу точність виконаної класифікації – 96,2 %.

Як видно з таблиці - рядок *Reliability Accuracy* (точність користувача (User Accuracy)) - для більшості еталонних ділянок досягнута майже 100% коректна класифікація пікселів, за винятком садів (55 %) та сіножатей і пасовищ (61,3 %). Із класу «сади» 135 пікселів було класифіковано у клас «Ліс», тому що в них дуже подібні між собою значення спектральних яскравостей класів. У даному випадку це істотно не впливає на подальше опрацювання знімка, а саме на якість створення маски непридатних територій для спорудження сонячних електростанцій, тому що обидва ці класи будуть вилучені при її створенні. Така ж проблема виникла при класифікації сіножатей та пасовищ - значення спектральних яскравостей цього класу та класу «Орні землі з напівсухою рослинністю» також є подібними, тому із загальної кількості 780 пікселів класу «Сіножаті та пасовища» було класифіковано 286 пікселів у клас «Орні землі з напівсухою рослинністю». В даному випадку пропонується оцінювати кожен сукупність пікселів класу «Орні землі з напівсухою рослинністю» для візуального визначення реального типу земної поверхні за даними Google Satellite Map.

Створення маски непридатних земель

Оскільки потенційно придатна територія для встановлення наземної сонячної електростанції це місцевість вільна від лісів, водойм, забудови, водно-болотних угідь, заплав, яка характеризується переважно низькою і середньою трав'янистою рослинністю (яка не є ріллею), кущами, наявністю кам'янистих земель, пропонується усунути території під усіма водоймами, лісами, орними землями, і залишити тільки сіножаті та пасовища, а також кам'яністі землі (рис. 3.29). Для цього створюється маска непридатних земель. Просторове розрізнення цього шару - 30 м.

Для того, щоб мати таку саму просторову розрізненість, як у карти-схеми, отриманої після обробки критеріїв оцінки і застосування процедури впорядкованого зваженого усереднення (20 м), пропонується збільшити просторову розрізненість шару маски непридатних земель до 20 м. Ця процедура виконується за допомогою інструмента «Resample» з набору алгоритмів SAGA (2.1.2) у програмного забезпеченні QGIS.

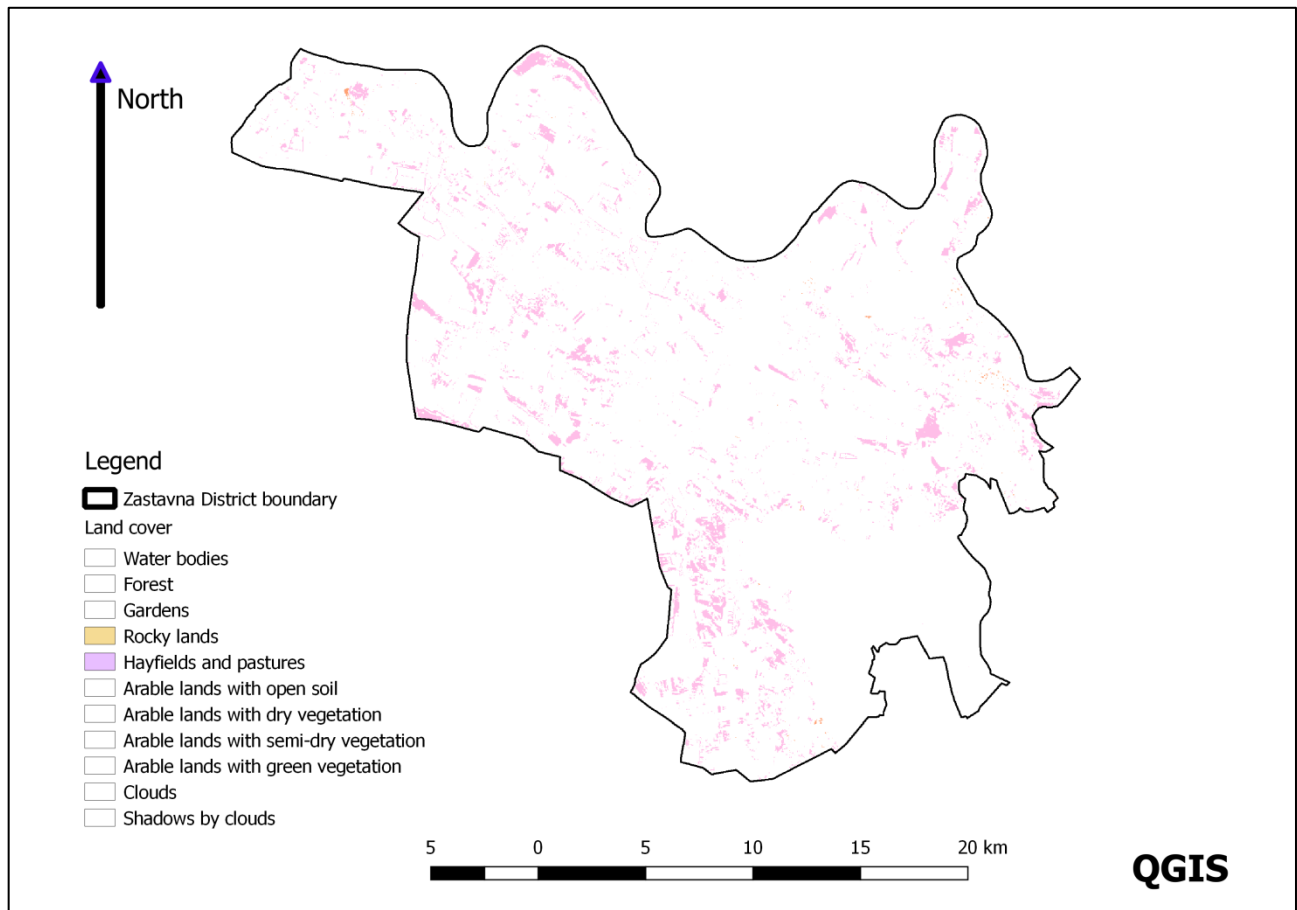


Рис. 3.29. Маска непридатних земель [Джерело:автор]

3.2.3. Карта-схема придатності земель для розташування сонячних електростанцій

Заключний етап робочого процесу проекту – створення результуючої карти-схеми придатності земель з визначеними оптимальними місцями розташування сонячних електростанцій.

Вона отримана шляхом накладання маски непридатних земель (отриманої з класифікації супутникового зображення) на початкову карту-схему придатності земель (отриману на основі аналізу критеріїв оцінки). Результат показаний на рис. 3.30, опис шкали придатності наведено у таблиці 3.13.

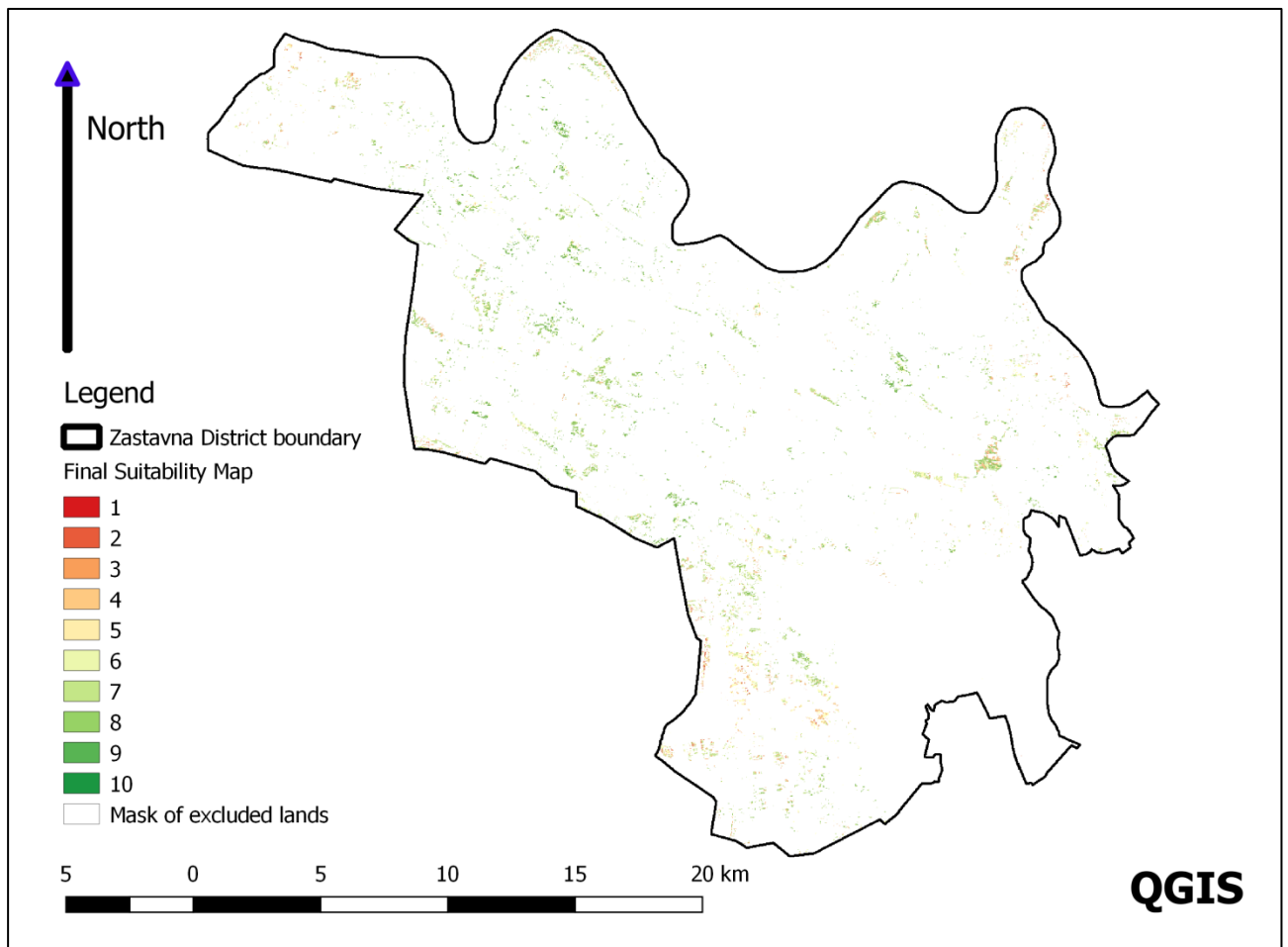


Рис. 3.30. Результуюча карта-схема придатності земель для наземних сонячних електростанцій [Джерело:автор]

Для порівняння площ придатних для розташування СЕС земель на результуючій карті-схемі і на початковій карті придатності, отриманої на основі аналізу критеріїв оцінки, пропонується застосувати модуль «r.report» з алгоритмів GRASS GIS 7 (рис. 3.31). Цей модуль використовується для отримання статистики з растрової карти. Цей модуль створює звіт у html-форматі, який легко можна відкрити за допомогою браузера або блокнота.

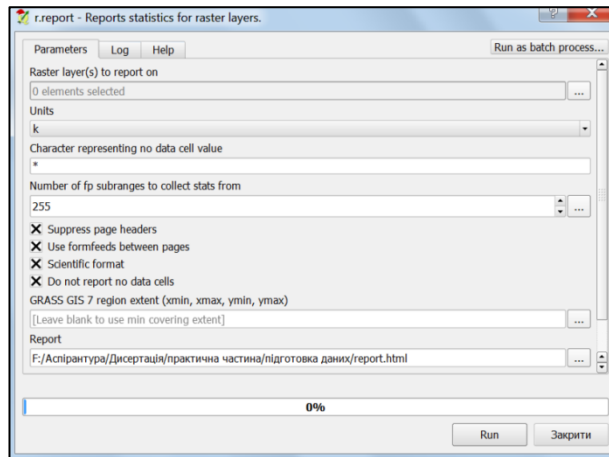


Рис. 3.31. Вікно модуля «r.report» [Джерело:автор]

Для обох карт-схем було створено відповідні звіти. Результати наведені у таблиці 3.15. Шляхом порівняння цих результатів (Графік 3.1) можна побачити, що маска непридатних земель вилучила з території «пілотного» Заставнівського району непридатні землі площею 267,992 кв.км. Така велика кількість земель пов'язана з тим, що цей район є сільськогосподарським, і у його східній частині велику площу займає ліс.

Таблиця 3.15

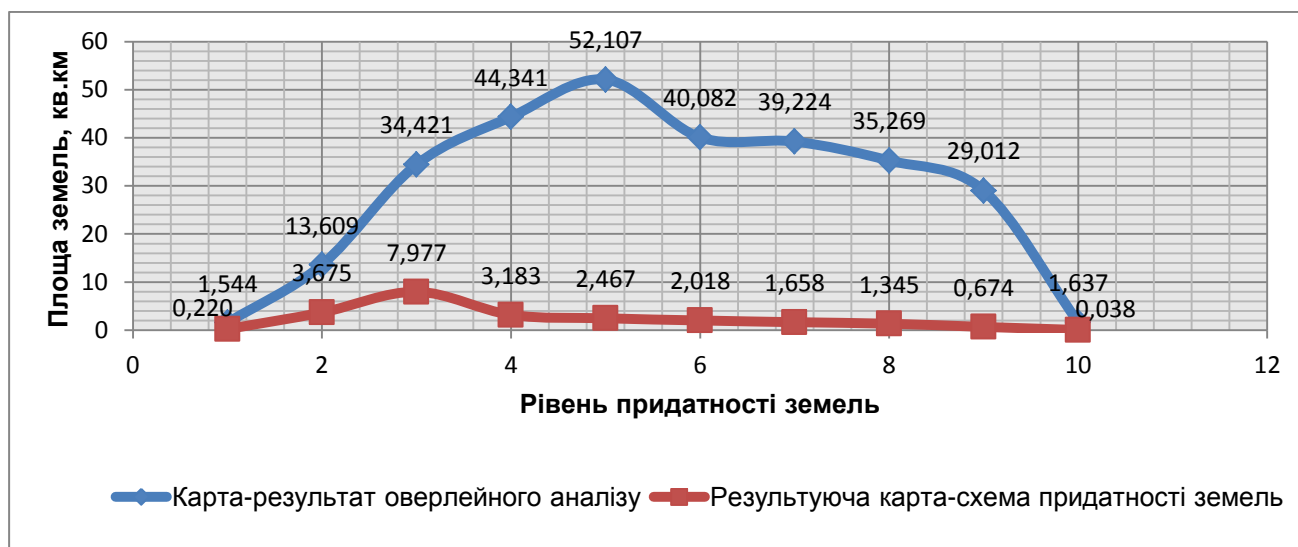
Порівняння площ придатних для розташування СЕС земель

Рівень придатності	Придатність	Площа придатних земель на карті-результаті оверлейного аналізу, кв.км	Площа придатних земель на результуючій карті-схемі придатності земель, кв.км
1	Найнижча придатність	1,544	0,220
2	Дуже низька придатність	13,609	3,675
3	Низька придатність	34,421	7,977
4	Помірно низька придатність	44,341	3,183
5	Помірна придатність	52,107	2,467

6	Помірно висока придатність	40,082	2,018
7	Висока придатність	39,224	1,658
8	Дуже висока придатність	35,269	1,345
9	Надзвичайно висока придатність	29,012	0,674
10	Найвища придатність	1,637	0,038
0	Нема значення (не придатні зовсім)	323,996	591,988
Всього		615,242	615,242

Графік 3.1

Порівняння площ придатних для розташування СЕС земель за кожною картою-схемою



3.3. Ефективність використання земельних ресурсів для сонячної енергетики

Ефективність використання земельних ресурсів для сонячної енергетики проаналізована шляхом визначення найбільш придатних земельних ділянок для розміщення наземних сонячних електростанцій, визначення ефективності трансформації обраних земельних ділянок у землі сонячної енергетики та

оцінки продуктивності сонячних електростанцій на обраних земельних ділянках.

3.3.1. Визначення найбільш придатних земельних ділянок для розміщення наземних сонячних електростанцій

На основі результуючої карти-схеми придатності земель для наземних сонячних електростанцій визначено потенційні найбільш придатні земельні ділянки для розташування наземних фотоелектричних сонячних електростанцій (рис. 3.32). Їх отримують шляхом аналізу та порівняння кластерів зелених пікселів з реальним зображенням місцевості (завантажують у проект Google Satellite Map). Знаходять обрані земельні ділянки на Публічній кадастровій карті та звіряють цільове призначення, тип ґрунту. Розраховується також площа кожної земельної ділянки та їх загальна площа (таблиця 3.16). Загальна кількість земельних ділянок - 58, їх загальна площа - 7,56 кв.км або 755,74 га.

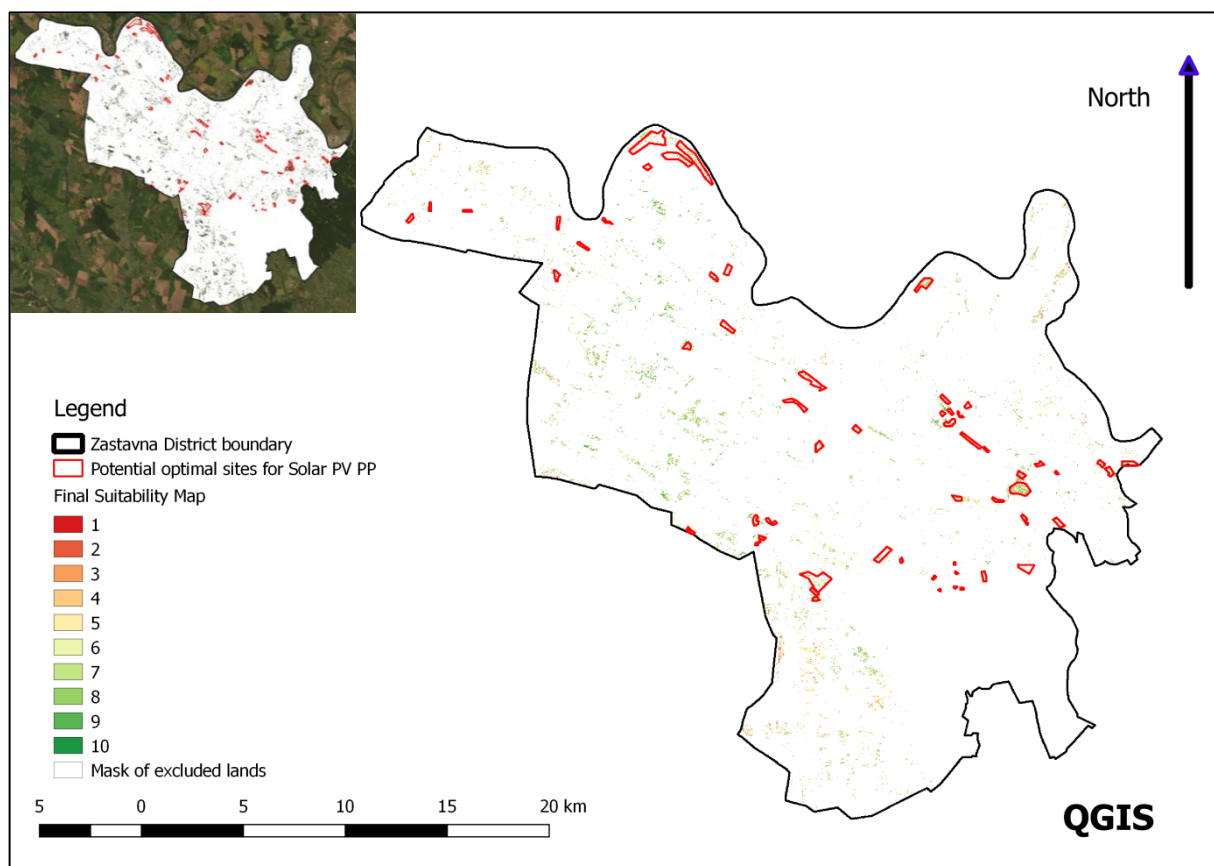


Рис. 3.32. Найбільш придатні земельні ділянки для розташування наземних СЕС у Заставнівському районі позначені червоним кольором [Джерело:автор]

**Площі найбільш придатних земельних ділянок для розташування
наземних СЕС**

№	Кв.м	Кв.км	Га
1	95607,38	0,10	9,56
2	75762,13	0,08	7,58
3	39773,56	0,04	3,98
4	319387,82	0,32	31,94
5	47462,96	0,05	4,75
6	61208,61	0,06	6,12
7	80552,60	0,08	8,06
8	155695,87	0,16	15,57
9	118042,62	0,12	11,80
10	87031,71	0,09	8,70
11	16579,08	0,02	1,66
12	5649,93	0,01	0,56
13	56223,36	0,06	5,62
14	85559,26	0,09	8,56
15	43747,62	0,04	4,37
16	23234,24	0,02	2,32
17	158840,21	0,16	15,88
18	103565,69	0,10	10,36
19	65643,15	0,07	6,56
20	69651,39	0,07	6,97
21	101193,87	0,10	10,12
22	81433,85	0,08	8,14
23	39122,37	0,04	3,91
24	39533,16	0,04	3,95
25	76140,14	0,08	7,61
26	809029,40	0,81	80,90
27	410861,78	0,41	41,09
28	70919,35	0,07	7,09
29	659947,56	0,66	65,99
30	124216,20	0,12	12,42

№	Кв.м	Кв.км	Га
31	180954,17	0,18	18,10
32	79724,37	0,08	7,97
33	59737,28	0,06	5,97
34	85996,79	0,09	8,60
35	38306,53	0,04	3,83
36	124861,02	0,12	12,49
37	175857,44	0,18	17,59
38	288963,52	0,29	28,90
39	541417,85	0,54	54,14
40	92072,38	0,09	9,21
41	56613,02	0,06	5,66
42	30017,98	0,03	3,00
43	20376,38	0,02	2,04
44	59390,80	0,06	5,94
45	63270,74	0,06	6,33
46	112876,57	0,11	11,29
47	208199,34	0,21	20,82
48	84746,91	0,08	8,47
49	14511,96	0,01	1,45
50	12086,30	0,01	1,21
51	18897,75	0,02	1,89
52	12670,84	0,01	1,27
53	11116,73	0,01	1,11
54	21300,36	0,02	2,13
55	242072,87	0,24	24,21
56	23023,74	0,02	2,30
57	708919,68	0,71	70,89
58	67772,25	0,07	6,78
Всього		7,56	755,74

Дві експериментальні земельні ділянки (рис. 3.33) було обрано для перевірки надійності результатів шляхом візуального узгодження карт (рис. 3.34 (а, б, в1, в2, в3, г), рис.3.35 (а, б, в, г)).

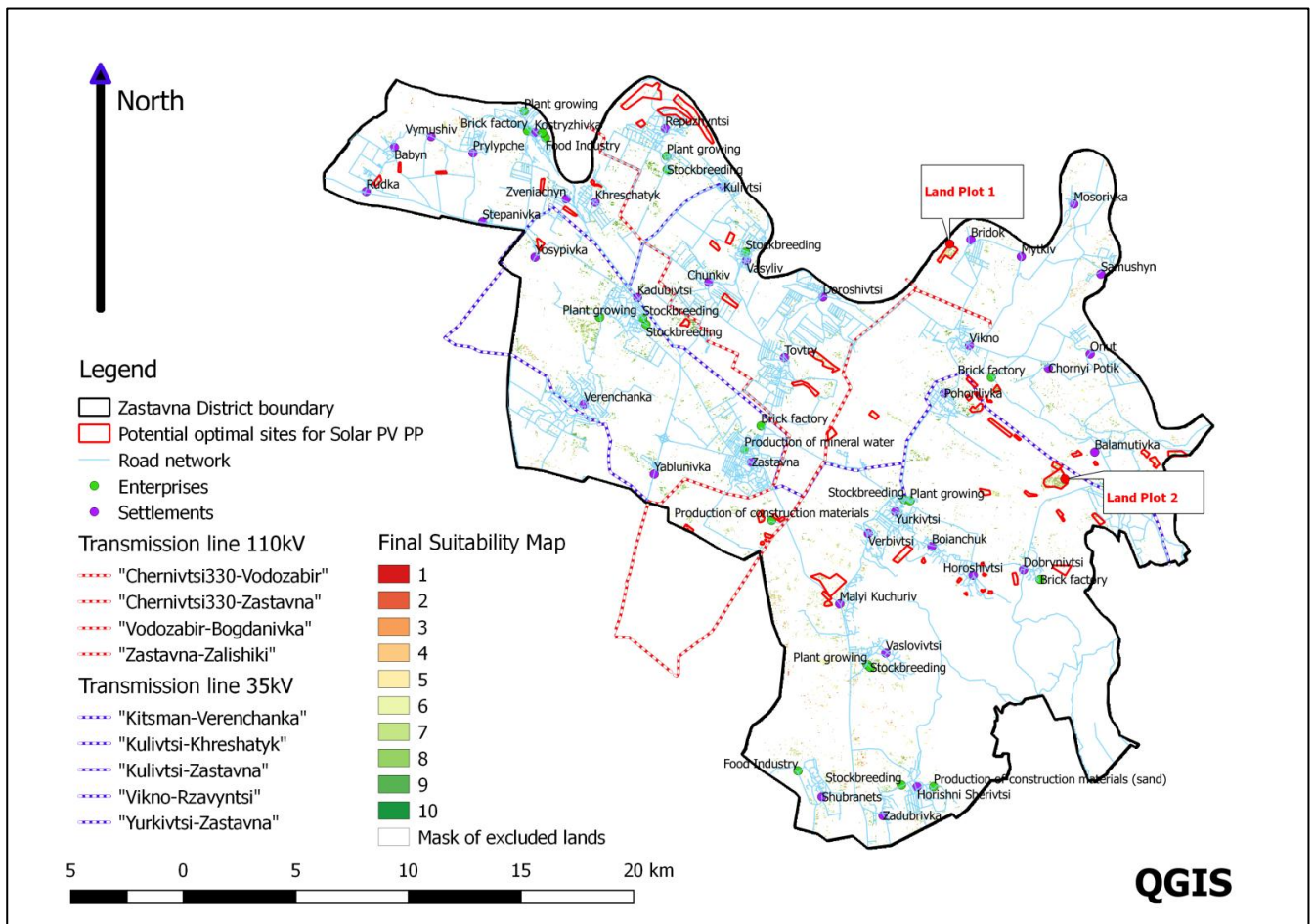


Рис. 3.33. Розташування двох експериментальних земельних ділянок [Джерело:автор]

Зіставивши результуючу карту-схему придатності земель для наземних сонячних електростанцій (рис.3.34 а) та растрового шару критерію оцінки *Експозиція схилів* (рис.3.34 б) стає зрозуміло, що процедура впорядкованого зваженого усереднення проведена правильно, тому що на обраній земельній ділянці №1 переважають Південна, Південно-Західна та Східна експозиції схилів. Згідно з Публічною кадастровою картою України земельна ділянка №1 охоплює три зареєстровані земельні ділянки (рис.3.34 в1, в2, в3):

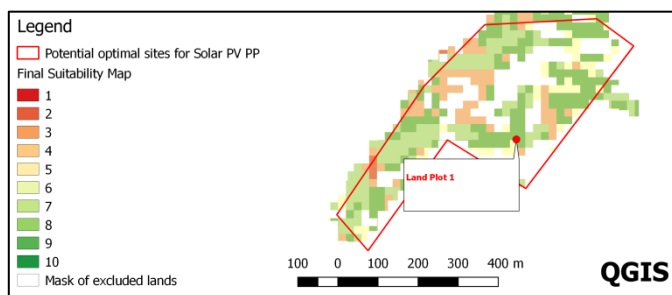
перша ділянка (площа - 18,2 га) є комунальною власністю з цільовим призначенням: 01.08 для сінокосіння та випасання худоби.

друга ділянка (площа 5,5 га) є державною власністю з цільовим призначенням: 11.01 Для розміщення та експлуатації основних, підсобних і допоміжних будівель та споруд підприємствами, що пов'язані з користуванням надрами.

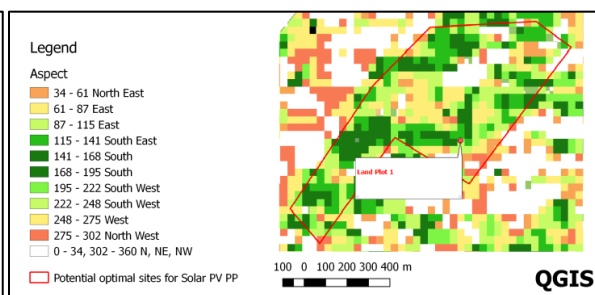
третья ділянка (площа – 32,4258 га) є комунальною власністю з цільовим призначенням: 16.00 Землі запасу (земельні ділянки кожної категорії земель, які не надані у власність або користування громадянам чи юридичним особам).

Щодо агро виробничих груп ґрунтів, які розташовуються на території цих земельних ділянок (Карта та Довідник назв агро виробничих груп ґрунтів, 2018), то ґрунти на території першої ділянки відносяться до 103Д агро виробничої групи ґрунтів - чорноземи щебенюваті середньозмиті і дернові щебенюваті ґрунти на елювії щільних карбонатних порід середньо суглинкові, а ґрунти з другої і третьої ділянок до 29Д агро виробничої групи ґрунтів - ясно-сірі і сірі опідзолені середньосуглинкові ґрунти (рис.3.34 г).

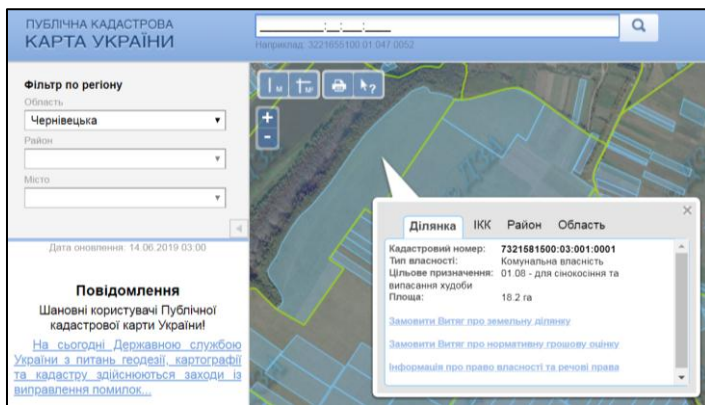
Частково або повністю ці земельні ділянки можуть бути використані для розміщення наземної сонячної електростанції.



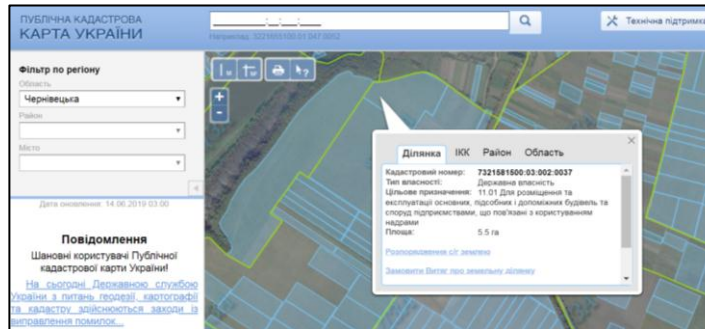
а. Результуюча карта-схема придатності земель



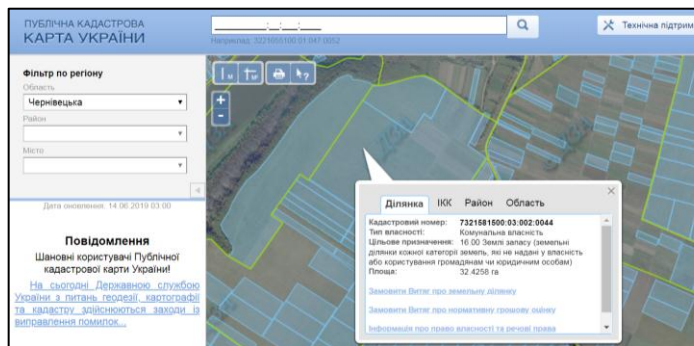
б. Експозиція схилів



в1. Перша земельна ділянка



в2. Друга земельна ділянка



в3. Третя земельна ділянка



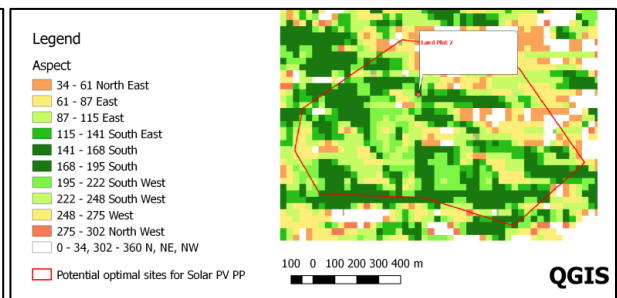
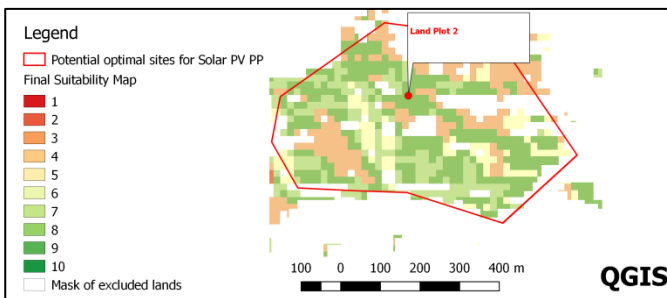
г. Карта меж агровиробничих груп ґрунтів місцевості

Рис. 3.34. Перевірка на надійність результатів щодо земельної ділянки №1

[Джерело:автор]

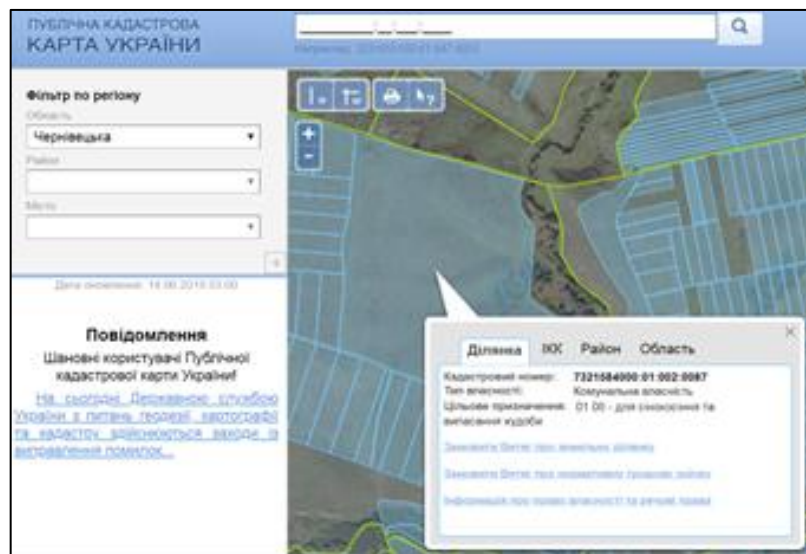
Що стосується експериментальної земельної ділянки №2, то вона також має сприятливі значення експозиції схилів - Південна, Південно-Західна, Південно-Східна (рис.3.35 б); відповідно до Публічної кадастрової карти України (рис.3.35 в) земельна ділянка №2 охоплює, в основному, одну земельну ділянку комунальної власності з загальною площею 48,8378 га, з цільовим призначенням: 01.08 для сінокосіння та випасання худоби.

Щодо агровиробничих груп ґрунтів, які розташовуються на території цієї земельної ділянки (Карта та Довідник назв агровиробничих груп ґрунтів, 2018), то це ґрунти, які відносяться до 38Л агровиробничої групи ґрунтів - Ясно-сірі і сірі опідзолені слабозмиті легкоглинисті ґрунти (рис.3.35 г).



а. Результуюча карта-схема придатності земель

б. Експозиція схилів



в. Публічна кадастрова карта України



г. Карта меж агровиробничих груп ґрунтів місцевості

Рис. 3.35. Перевірка на надійність результатів щодо земельної ділянки №2
[Джерело:автор]

3.3.2. Ефективність трансформації обраних земельних ділянок у землі сонячної енергетики

Щоб визначити ефективність трансформації (Kereush D., Perovych I., 2015) обраних земельних ділянок у землі сонячної енергетики необхідно взяти до уваги ряд факторів.

Кількість сонячних годин на рік. Це важлива характеристика радіаційного режиму, яка залежить від тривалості світлої частини доби, хмарності і збільшується з півночі на південь. Найменша кількість сонячних годин на рік спостерігається в північно-західній частині України (західні райони Полісся та Лісостепу), і становить 1690—1850 годин на рік. Найбільш сонячними є травень — серпень, найменш сонячними листопад — лютий. На території «пілотного» Заставнівського району кількість сонячних годин на рік досягає 1950 годин за рік (Гавриленко О., 2008).

Ставка «зеленого» тарифу. Для промислових наземних сонячних фотоелектричних електростанцій (юридичних осіб) «зелений» тариф становить 0,15 євро за 1 кВтгод (станом на травень 2019 року). Розмір зеленого тарифу в національній валюті переглядається щоквартально і залежить від середнього значення офіційного курсу євро, який був

встановлений Національним банком України за останні 30 календарних днів перед засіданням Національної комісії. Станом на 18.06.2019 року офіційний курс гривні до євро становить 2976,4321 гривень за 100 євро («Офіційний курс гривні щодо іноземних валют», Національний банк України). Звідси, 0,15 євро становить 4,46 гривні.

Потужність наземної СЕС, встановленої на 1 га землі. Прийнята в експлуатацію сонячна фотоелектрична станція «Комишувате» в Кіровоградській області займає площу у 2 га, а загальна потужність встановлених сонячних панелей (фотоелектричних модулів) становить 1,045МВт (Деталі проекту Сонячна електростанція "Комишувате", компанія Rentechno). На основі цих даних припускається, що на 1 га землі можна встановити СЕС потужністю 500 кВт.

Термін порівняння – 10 років.

Чистий операційний дохід з наземної СЕС, встановленої на 1 га землі. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного стандарту №2 "Оцінка нерухомого майна"» (№1442-2004-п, редакція від 15.04.2015) чистий операційний дохід – це дохід, що визначається як різниця між валовим доходом та операційними витратами (форм.3.1.), де валовий дохід - сукупне надходження коштів, які очікується отримати від реалізації прав, пов'язаних з об'єктом оцінки; операційні витрати - прогнозовані витрати власника, пов'язані з отриманням валового доходу. До операційних не належать витрати на обслуговування боргу та податків, що сплачуються від величини прибутку, отриманого від використання об'єкта оцінки, єдиного податку, фіксованого податку.

Цей показник розраховується на основі фінансової звітності компанії і використовується інвесторами для оцінки прибутковості основної діяльності компанії (Bodie, Z. et al., 2004).

Чистий операційний дохід = Валовий дохід - Операційні витрати, (3.1)

Валовий дохід з наземної СЕС, встановленої на 1 га землі розраховується шляхом врахування ставки «зеленого» тарифу, кількості сонячних годин на рік, потужності наземної СЕС, у межах певного часового інтервалу.

Розрахуємо валовий дохід з наземної СЕС з 1 га землі (грн.) на період 10 років за формулами 3.2.- 3.4.

$$D_{1 \text{ га за 1 годину}} = C_{\text{з.т.}} \times P_{1 \text{ га за 1 годину}}, \quad (3.2)$$

$$D_{1 \text{ га за 1 рік}} = D_{1 \text{ га за 1 годину}} \times K_{\text{за 1 рік}}, \quad (3.3)$$

$$D_{1 \text{ га за 10 років}} = D_{1 \text{ га за 1 рік}} \times T, \quad (3.4)$$

де $D_{1 \text{ га за 1 годину}}$ - валовий дохід з 1 га за 1 годину роботи СЕС,
 $D_{1 \text{ га за 1 рік}}$ - валовий дохід з 1 га за 1 рік роботи СЕС,
 $D_{1 \text{ га за 10 років}}$ - валовий дохід з 1 га за 10 років роботи СЕС,
 $C_{\text{з.т.}}$ – ставка «зеленого» тарифу,
 $P_{1 \text{ га за 1 годину}}$ – потужність СЕС, розташованої на 1 га за 1 годину,
 $K_{\text{за 1 рік}}$ – кількість сонячних годин на рік у відповідному районі,
 T – термін порівняння.

Підставивши значення у формули 3.2 - 3.4, отримано:

$$D_{1 \text{ га за 1 годину}} = 4,46 \text{ грн} \times 500 \text{ кВт за год} = 2\,230 \text{ грн}$$

$$D_{1 \text{ га за 1 рік}} = 2\,230 \text{ грн} \times 1\,950 \text{ год} = 4\,348\,500 \text{ грн}$$

$$D_{1 \text{ га за 10 років}} = 4\,348\,500 \text{ грн} \times 10 \text{ років} = 43\,485\,000 \text{ грн}$$

Операційні витрати розрахуємо на основі комерційної пропозиції компанії Solar-Tech, яка спеціалізується на встановленні мережевих СЕС

«під ключ» (табл. 3.17) (Мережева станція 1 МВт під зелений тариф, Веб-сайт компанії Solar-Tech, 2019).

Таблиця 3.17

Орієнтовний кошторис системи СЕС потужністю 1 МВт

№	Назва	Сума, USD*
1	Попередня оцінка можливості виконання проекту <ul style="list-style-type: none"> • виїзд на об'єкт; • оцінка потенціалу об'єкта; • аналіз документів; • підготовка попередньої комерційної пропозиції на основі зібраної інформації. 	-
2	Передпроектні та проектні роботи, оформлення "зеленого" тарифу та дозвільної документації <ul style="list-style-type: none"> • уточнення вихідних даних; • підготовка проектно-кошторисної документації; • узгодження проектно-кошторисної документації; • отримання ліцензії на виробництво електроенергії; • підключення "зеленого" тарифу; • юридичний супровід об'єкта. 	30 000
3	Обладнання:	860 000
3.1	Сонячні панелі, полікристал, з ТОП-10 світових лідерів ринку (Trina, Jinko, JA solar, Risen, Suntech и т.п.)	450 000
3.2	Інверторне обладнання з ТОП-10 світових лідерів ринку (ABB, Fronius, SMA и т.п.)	160 000
3.3	Система кріплення сонячних панелей	155 000
3.4	Система захисту та автоматики, кабельна продукція, витратні матеріали <ul style="list-style-type: none"> • розподільчі пристрої; • система захисту по постійному струму; • система захисту по змінному струму; • кабель по стороні постійного струму; • кабель по стороні змінного струму; • АСКУЕ; • витратні матеріали. 	40 000
4	Монтаж і пуско-налагоджувальні роботи	55 000
Всього		890 000

* Станом на 18.06.2019 року офіційний курс гривні до долара США становить 2619,04 гривень за 100 доларів США («Офіційний курс гривні щодо іноземних валют», Національний банк України).

Як зазначено вище, потужності СЕС 1 МВт відповідає площа її земельної ділянки 2 га. Шляхом складання математичної пропорції

визначаємо операційні витрати на будівництво наземної СЕС на відповідних площах.

Наприклад, станом на червень 2019 року для земельної ділянки площею 1 га операційні витрати становлять 11 654 728 грн (445 000 доларів США), а для земельної ділянки площею 30 га - 349 636 500 грн (13 349 796,10 доларів США). Варто зазначити, що сума операційних витрат залежить від вартості використаних матеріалів (вітчизняних або імпортованих) та курсу долара США, тому може змінюватися.

Рентний дохід з 1 га землі для певних видів сільськогосподарських угідь. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Про проведення загальнонаціональної (всеукраїнської) нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення» від 7 лютого 2018 р. № 105 було проведено природно-сільськогосподарське районування земель України. Зазначеною постановою передбачено, що нормативна грошова оцінка земель сільськогосподарського призначення визначається відповідно до нормативу капіталізованого рентного доходу на землях сільськогосподарського призначення природно-сільськогосподарських районів.

Рентний дохід – дохід, що може бути отриманий із землі як засобу виробництва залежно від якості та місця розташування земельної ділянки. Рентний дохід розраховується як різниця між очікуваним валовим доходом від реалізації продукції, отримуваної на земельній ділянці, та виробничими витратами і прибутком виробника (Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного стандарту №2 "Оцінка нерухомого майна"» №1442-2004-п, редакція від 15.04.2015).

Згідно «Методики нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2016 р. № 831 Заставнівський район входить до Кіцмансько-Кельменецького природно-сільськогосподарського

району, і для якого прийняті наступні (таблиця 3.18) нормативи капіталізованого рентного доходу.

Таблиця 3.18

Нормативи капіталізованого рентного доходу на землях сільськогосподарського призначення природно-сільськогосподарських районів (гривень за 1 га за рік)

Найменування природно-сільськогосподарського району, шифр району	Рілля, перелоги	Багаторічні насадження	Сіножаті	Пасовища	Несільськогосподарські угіддя
Кіцмансько-Кельменецький	40 461,02	79 847,78	8 696,44	7 206,11	28 449,21

Розрахуємо рентний дохід (грн.) з 1 га землі на період 10 років для сіножатей, пасовищ, земель промисловості та земель запасу у Заставнівському районі згідно значень нормативів капіталізованого рентного доходу з «Методики нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2016 (№831-2016-п, редакція від 27.02.2018) та даних нормативно-грошової оцінки земель несільськогосподарського призначення станом на 01.01.2018 року (Додаток D.2., Статистичний щорічник «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016-2017»).

Рентний дохід з 1 га сіножатей на період 10 років становить 86 964,40 грн, з 1 га пасовищ – 72 061,10 грн, з 1 га земель запасу – 284 492,10 грн, з 1 га промисловості - 10 213 420 грн.

Згодом була виконана часткова трансформація угідь, розташованих на територіях експериментальних земельних ділянок №1 та №2 (таблиця 3.19).

Трансформація обраних земельних ділянок у землі сонячної енергетики

Угіддя, що підлягають трансформації		Площа угідь, що придатні для трансформації, (га)	Запроектовані угіддя				
			Землі сонячної енергетики	Пасовища	Сіножаті	Землі промисловості	Землі запасу
Земельна ділянка №1							
<i>Сіножаті</i> , (га)		18,2	10	-	8,2	-	-
<i>Землі промисловості</i> , (га)		5,5	-	-	-	5,5	-
<i>Землі запасу</i> , (га)		32,4258	20	-	-	-	12,4258
Чистий операційний дохід з наземної СЕС за 10 років	Грн. з 1 га		31 830 450	-	-	-	-
	Грн. з усієї площі		954 913 500	-	-	-	-
Рентний дохід за 10 років у ПСГ районі	Грн. з 1 га		-	-	86 964,40	10 213 420	284 492,10
	Грн. з усієї площі		-	-	713 108,08	56 173 810	3 535 041,94
Земельна ділянка №2							
<i>Пасовища</i> , (га)		48,8378	40	8,8378	-	-	-
Чистий операційний дохід з наземної СЕС за 10 років	Грн. з 1 га		31 830 450	-	-	-	-
	Грн. з усієї площі		1 273 218 000	-	-	-	-
Рентний дохід за 10 років у ПСГ районі	Грн. з 1 га		-	72 061,10	-	-	-
	Грн. з усієї площі		-	636 861,60	-	-	-

Таблиця 3.20

Дохід з угідь ДО та ПСЛЯ проведення трансформації

Угіддя, що підлягають трансформації	Площа угідь, (га)	Чистий операційний дохід з наземної СЕС за 10 років, (грн.)	Рентний дохід за 10 років у ПСГ районі, (грн.)	Сума, (грн.)
Земельна ділянка №1				
ДО проведення трансформації				
Сіножаті	18,2	-	1 582 752,08	66 981 446,02
Землі промисловості	5,5	-	56 173 810	
Землі запасу	32,4258	-	9 224 883,94	
Землі сонячної енергетики	-	-	-	
ПСЛЯ проведення трансформації				
Сіножаті	8,2	-	713 108,08	1 015 335 460,02
Землі промисловості	5,5	-	56 173 810	
Землі запасу	12,4258	-	3 535 041,94	
Землі сонячної енергетики	30	954 913 500	-	
Земельна ділянка №2				
ДО проведення трансформації				
Пасовища	48,8378	-	3 519 305,59	3 519 305,59
Землі сонячної енергетики	-	-	-	
ПСЛЯ проведення трансформації				
Пасовища	8,8378	-	636 861,60	1 273 854 861,6
Землі сонячної енергетики	40	1 273 218 000	-	

Згідно таблиці 3.19 на експериментальній земельній ділянці №1 під землі сонячної енергетики запроєктовано 30 га, вилучених з сіножатей та земель запасу; землі промисловості не трансформувалися. Потужність наземної сонячної фотоелектричної електростанції, встановленої на цій площі, становитиме орієнтовно 15 МВт. Операційний прибуток з СЕС площею 30 га за 10 років становитиме 1 304 550 000 гривень; рентний дохід за 10 років з 8,2 га сіножатей становитиме 713 108,08 гривень, з 12,4258 га земель запасу - 3 535 041,94 гривень. До виконання трансформації сумарний дохід з усіх угідь за 10 років (табл. 3.20) становив

66 981 446,02 гривень, після виконання – 1 015 335 460,02 гривень – у 15 разів більше, ніж до виконання трансформації.

На експериментальній *земельній ділянці №2* (табл. 3.19) під землі сонячної енергетики запроєктовано 40 га, вилучених з пасовищ. Потужність спорудженої на даній земельній ділянці наземної СЕС - орієнтовно 20 МВт. Операційний прибуток з наземної СЕС за 10 років у цьому випадку становитиме 1 739 400 000 гривень, а рентний дохід за 10 років з залишку пасовищ (площею 8,8378 га) дорівнюватиме 636 861,60 гривень. До трансформації рентний дохід за 10 років з пасовищ площею 48,8378 га становив 3 519 305,59 гривень, що є у 362 разів менше, ніж дохід з земельної ділянки після виконання трансформації - 1 273 854 861,60 гривень (табл. 3.20).

3.3.3. Оцінка продуктивності сонячних електростанцій на обраних земельних ділянках

Для того, щоб підкреслити комерційну життєздатність трансформації обраних земельних ділянок, пропонується оцінити скільки енергії можна було б отримати, розташувавши на них сонячні фотоелектричні електростанції. Іншими словами, визначити продуктивність потенційної наземної сонячної електростанції.

Параметри кожної земельної ділянки та технології, які повинні бути використані в кожному випадку відповідно, наведені в таблиці 3.21.

Таблиця 3.21

Вхідні параметри для кожної земельної ділянки

№	Назва	Площа, (га)	Тип панелей	Пікова потужність фотоелектричних панелей, (кВт год)*	Мережеві втрати, (%)
1	Земельна ділянка №1	30	Crystalline Silicone (ефективність 11%)	≈ 33 000	14
2	Земельна ділянка №2	40	Crystalline Silicone (ефективність 11%)	≈ 44 000	14

* Пікова потужність фотоелектричних панелей, (кВт год) розрахована як добуток площі(м²) на значення ефективності певного типу фотоелектричних панелей (%) (PVGIS Frequently Asked Questions)

В якості інструменту для оцінки продуктивності наземних фотоелектричних сонячних електростанцій використовується веб-додаток «PVGIS» (Спільний дослідницький центр ЄС/(EU Joint Research Centre).

Цей інструмент дає можливість оцінити середньомісячне та щорічне виробництво енергії з фотоелектричної системи, підключеної до електромережі, без накопичення її у акумуляторах. Розрахунок враховує сонячну радіацію (інсоляцію), тип фотоелектричної панелі, місце розташування, температуру, швидкість вітру. Користувач може вибрати тип монтажу панелі - на фіксованому кріпленні при певному ухилі та експозиції схилу, або на трекерному кріпленні, що відстежує рух Сонця. PVGIS також може розрахувати оптимальний ухил і експозицію схилів, що максимізує річне виробництво енергії. Цей веб-додаток є безкоштовним та у вільному доступі.

Інтерфейс модуля «Продуктивність мережевих фотоелектричних систем» («Performance of Grid-Connected PV Systems») показаний на рис.3.36.

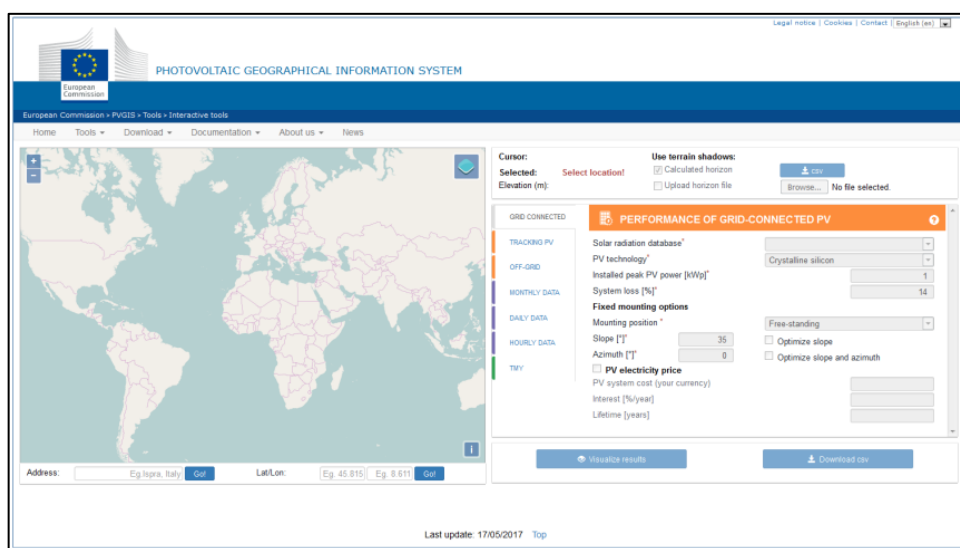
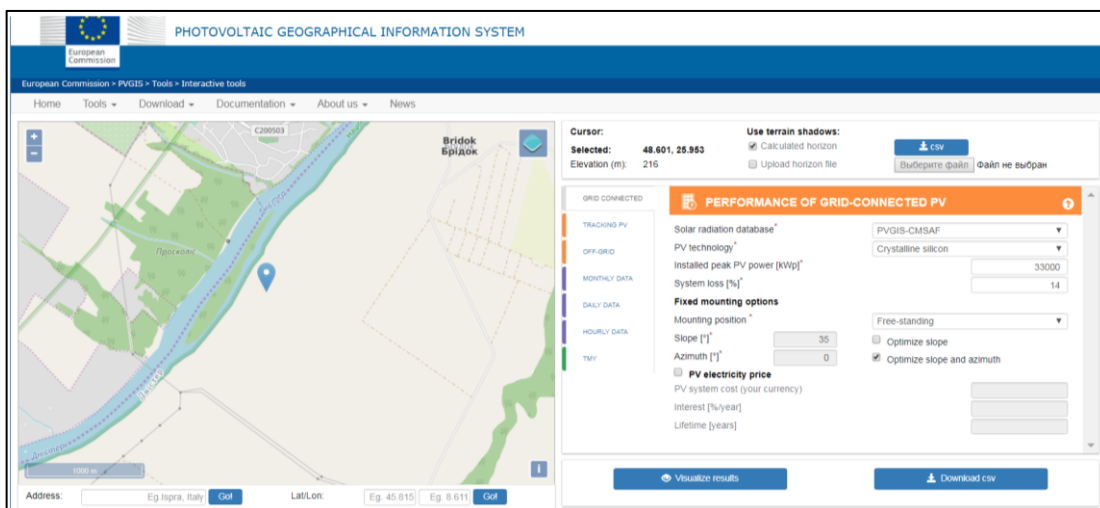


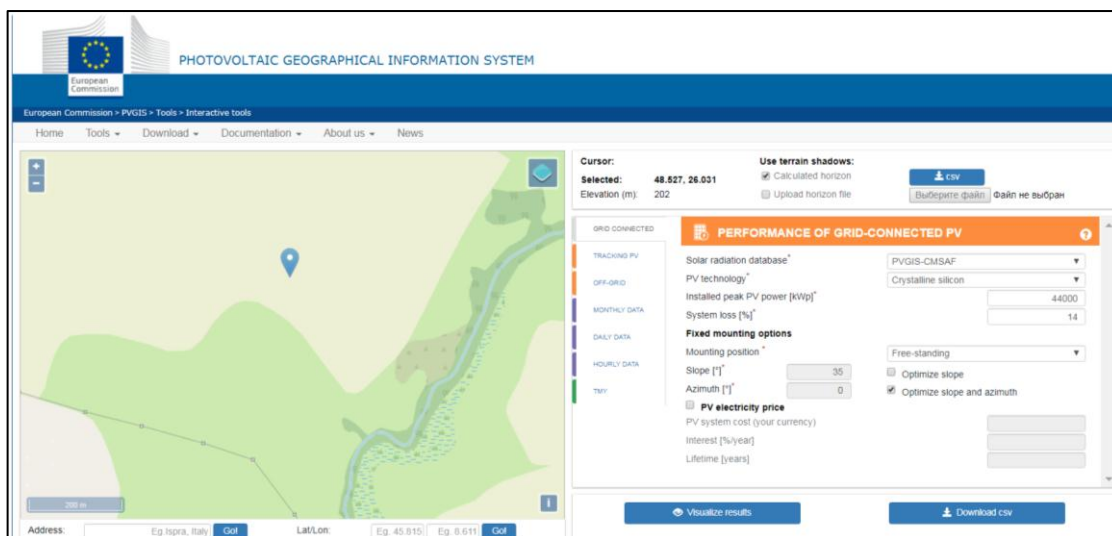
Рис. 3.36. Інтерфейс модуля «Performance of Grid-Connected PV Systems»

[Джерело: веб-додаток «PVGIS»]

Робота з додатком складається з двох кроків: 1 - знайти місце розташування обраної земельної ділянки на OpenStreetMap, 2 - заповнити ячейки параметрами. Ці дії були виконані для обох земельних ділянок (рис. 3.37 а, б).



а Земельна ділянка №1



б Земельна ділянка №2

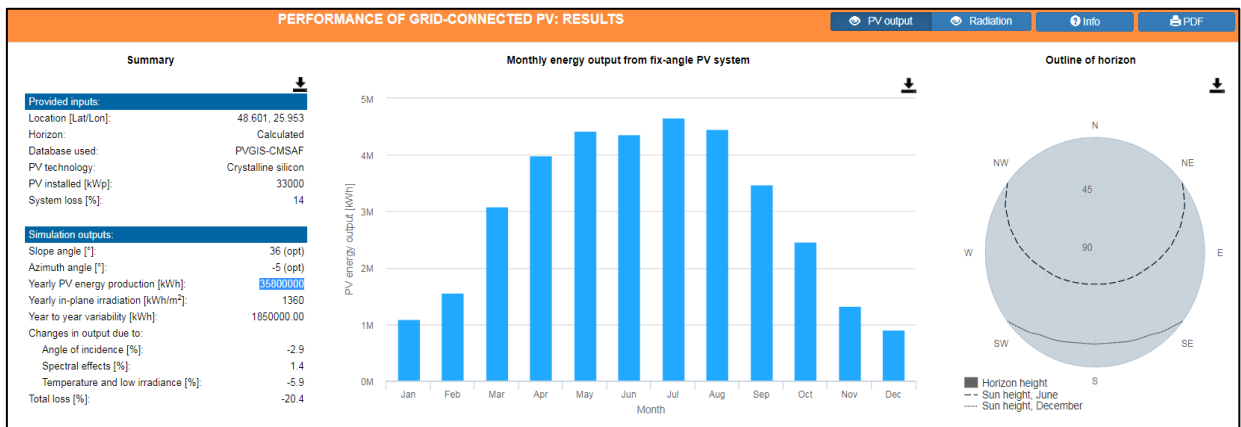
Рис. 3.37. Вхідні дані для додатка [Джерело: веб-додаток «PVGIS»]

PVGIS дозволяє користувачеві отримати результати у вигляді:

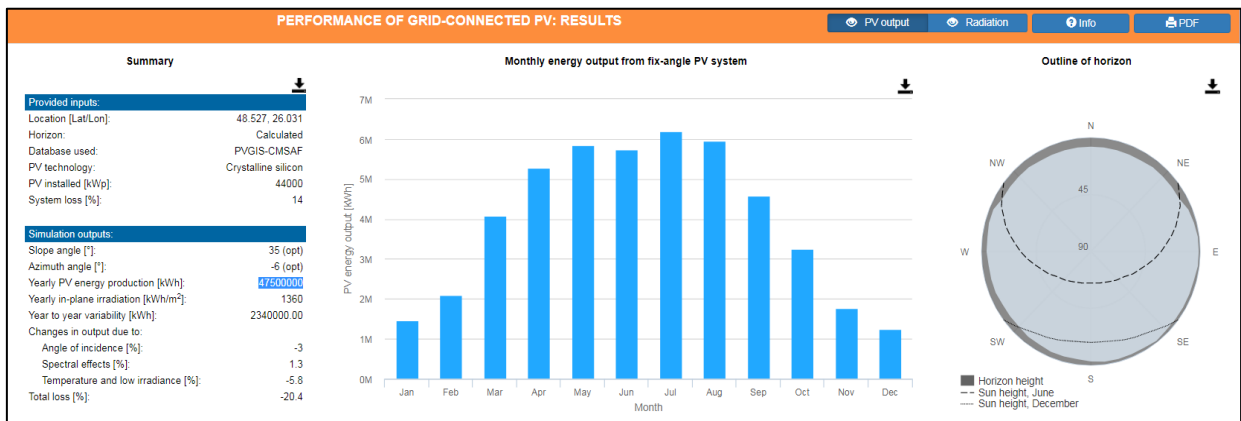
- ✓ як таблицю та графіки у веб-браузері. Всі графіки також можуть бути збережені у окремих файлах;
- ✓ у форматі CSV;

✓ у форматі документа PDF.

Результати для обох земельних ділянок показані на рис. 3.38 (а, б).



а Земельна ділянка №1



б Земельна ділянка №2

Рис. 3.38. Результати у PVGIS [Джерело: веб-додаток «PVGIS»]

Таким чином, річна продуктивність СЕС, встановленої на першій земельній ділянці становить 35,8 млн кВтгод при оптимальному нахилі панелей 36° . Загальні втрати в цьому випадку складають 20,4 %. Річна продуктивність СЕС, встановленої на другій земельній ділянці становить 47,5 млн кВтгод при оптимальному нахилі панелей 35° , при цьому загальні втрати становлять теж 20,4 %. Необхідно відзначити, що будь-які кремнієві фотоелектричні модулі з часом деградують, що позначається на річній генерації СЕС. Тому гарантована виробником генерація

електроенергії через 10 років експлуатації становитиме 90% від номіналу, а через 25 років - 80%.

Висновки до третього розділу

1. Доведено надійність методології вибору земельних ділянок для сонячної енергетики шляхом виконання дослідження на території «пілотного» Заставнівського району Чернівецької області загальною площею 615 кв.км :

- визначено критерії, що враховуються для оптимального розміщення наземної сонячної електростанції саме на даній території: 6 критеріїв оцінки - ухил та експозиція схилів земної поверхні, близькість до ліній електропередач (ЛЕП), підприємств, населених пунктів, дорожньої мережі та 1 критерій виключення - тип земної поверхні (земного покриву).
- використано дані дистанційного зондування Землі (Landsat 8 OLI/TIRS Collection 1 Level 1 Data Product та ASTER (GDEM2)) як джерело достовірної просторової інформації про земну поверхню, необхідної для опрацювання критеріїв вибору земельної ділянки для розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій.
- кожному з критеріїв оцінки визначено надійну вагу у прийнятті остаточного рішення. Цей процес складався з наступних етапів: визначення впливу кожного з шести критеріїв, визначення експерта з найвищим рангом, встановлення узгодженості експертних суджень, визначення відносної значущості критеріїв, і, насамкінець, ваги кожного критерію. Найбільші значення ваги має експозиція схилів земної поверхні та близькість до ліній електропередач (ЛЕП), найменші - близькість до дорожньої мережі та підприємств.
- у результаті виконання процедури впорядкованого зваженого усереднення створено початкову карту-схему придатності земель для

наземних фотоелектричних сонячних електростанцій, а на основі процедури контрольованої класифікації супутникового зображення створено маску непридатних земель для розташування СЕС – виключені землі лісів, водойм, забудови, рілля. Маска непридатних земель вилучила з території «пілотного» Заставнівського району непридатні землі площею 267,992 кв.км.

- створено остаточну карту-схему придатності земель з визначеними оптимальними місцями розташування сонячних електростанцій, що відображає 58 земельних ділянок загальною площею 7,56 кв.км (755,74 га), які придатні для розташування наземних фотоелектричних сонячних електростанцій.

2. Визначено ефективність трансформації двох обраних земельних ділянок у землі сонячної енергетики. На *земельній ділянці №1* під землі сонячної енергетики запроектовано 30 га, вилучених з сіножатей та земель запасу, до виконання трансформації сумарний дохід з усіх угідь за 10 років становив 66 981 446,02 гривень, після виконання – 1 015 335 460,02 гривень – у 15 разів більше, ніж до виконання трансформації. На *земельній ділянці №2* для розташування наземної СЕС запроектовано 40 га, вилучених з пасовищ, до трансформації рентний дохід за 10 років з пасовищ площею 48,8378 га становив 3 519 305,59 гривень, що є у 362 разів менше, ніж дохід з земельної ділянки після виконання трансформації - 1 273 854 861,60 гривень.

3. Визначено річну продуктивність наземних сонячних електростанцій розташованих на обраних земельних ділянках. Для СЕС, встановленої на першій земельній ділянці річна продуктивність становить 35,8 млн кВтгод; для СЕС, встановленої на другій земельній ділянці - 47,5 млн кВтгод.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливе завдання розроблення та обґрунтування методології ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики на основі даних дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій. За допомогою застосування даної методології були знайдені найбільш придатні місця для розташування наземних промислових сонячних фотоелектричних електростанцій на території Заставнівського району Чернівецької області.

Основні результати дисертаційної роботи:

1. Проаналізовано сучасний стан використання земельних ресурсів України. Визначено, що на території України є біля 10 % земель, які можуть бути потенційно придатними для розташування на них об'єктів альтернативної енергетики, а саме наземних сонячних фотоелектричних електростанцій, в тому числі 4-7% малопродуктивних та деградованих земель, та 1,7% відкритих земель без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом.
2. Встановлено, що державне стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії у вигляді «зеленого» тарифу, надбавки за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва та аукціонної ціни, позитивно впливає на розвиток ВДЕ. Особливо чітко це відображається на динаміці розвитку сонячної енергетики протягом 2016 – 2018 років, яка збільшилася на 36%.
3. На теоретичному рівні розроблено методологію для знаходження та аналізу земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики, а саме - для наземних промислових сонячних електростанцій

потужністю від 500 кВт і вище, які виробляють електроенергію за допомогою фотоелектричних панелей. Зокрема, запропоновано:

- створення технології вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних електростанцій;
 - застосування програмного забезпечення FOSS (Free and Open-Source Software), що розповсюджується за вільними ліцензійними угодами і з загальнодоступними (відкритими) вихідними кодами: база даних PostgreSQL Open Source Database з розширенням PostGIS, програмні забезпечення QGIS та MultiSpec; даних дистанційного зондування Землі та джерел даних, які є у вільному доступі, щоб всі зацікавлені інвестори, підприємці могли використати дану методологію та створити власну карту-схему придатності земель для наземних СЕС на безоплатній основі;
 - вдосконалення та обґрунтування методики вибору критеріїв та вимог щодо розміщення наземних фотоелектричних сонячних електростанцій;
 - застосування методу множинного коефіцієнта рангової кореляції – коефіцієнта конкордації та метод аналізу ієрархій для визначення узгодженості експертних суджень щодо оцінки критеріїв впливу та їх окремих ваг у остаточному рішенні.
4. Здійснено експериментальні дослідження на території Заставнівського району Чернівецької області загальною площею 615 кв.км, в результаті виконання яких на території району визначено 58 земельних ділянок загальною площею 7,56 кв.км, придатних для розташування наземних промислових фотоелектричних сонячних електростанцій.

5. Визначено ефективність трансформації земельних ділянок у землі сонячної енергетики. Встановлено, що за 10 років економічна ефективність трансформації земель у землі сонячної енергетики становитиме у межах 31 – 32 млн гривень за гектар, в залежності від типу встановленого обладнання на СЕС (вітчизняного або імпортованого) та курсу долара США. Для порівняння, економічна ефективність за 10 років з сіножатей буде дорівнювати близько 87 тисяч гривень за гектар, пасовищ – 72 тисячі гривень за гектар, земель запасу – 300 тисяч гривень за гектар, земель промисловості – 10,5 млн гривень за гектар.
6. Визначено річну продуктивність наземних сонячних електростанцій розташованих на обраних земельних ділянках. Для СЕС, встановленої на першій земельній ділянці площею 30 га річна продуктивність становить 35,8 млн кВтгод; для СЕС, встановленої на другій земельній ділянці площею 40 га - 47,5 млн кВтгод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Ahmed, R., Mourad, Z., Ahmed, B. H. and Mohamed, B. (2009). An Optimal Unsupervised Satellite image Segmentation Approach Based on Pearson System and kMeans Clustering Algorithm Initialization. *International Science Index*, Volume 3(11), pp. 948-955.
- Al-Ahmadi, F. S. and Hames, A. S. (2009). Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas, Kingdom of Saudi Arabia, *Journal of King Abdulaziz University-Earth Sciences*, Volume 20(1), pp. 167-191.
- Al-Yahyai, S., Charabi, Y., & Gastli, A. (2010). Estimating wind resource over Oman using meso-scale modeling. In: *IEEE International Energy Conference and Exhibition*, pp. 536-541, <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2010.5771740>.
- Aran, Carrion, J., Espin Estrella, A., Aznar Dols, F., and Ramos Ridaó, A. (2008a). The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain). *Renewable Energy*, Volume 33, pp.545–52.
- Aran Carrion, J., Espin Estrella, A., Aznar Dols, F., Zamorano Toro, M., Rodriguez, M., and Ramos Ridaó, A. (2008b). Environmental decision-support system for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 12, pp. 2358–80.
- Arnette, A. N., and Zobel, C. W. (2011). Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian mountains, *Renew. Energy*, Volume 36(11), pp. 2785– 2798.
- Aydin, N. Y., Kentel, E., and Duzgun, S. (2010). GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, pp. 364–373.
- Bagher, A.M., Abadi, Vahid, M. M., Mohsen, M. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, Volume 3(5), pp. 94-113, doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17

- Bahadori, A. and Nwaoha, C. (2013). A review on solar energy utilization in Australia, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, Volume 18, pp.1–5.
- Belfiore, F., Taylor, T., Moisan, B., Zappia, M., Cinarelli, E. (2013). Risks And Opportunities In The Operation Of Large Solar Plants. In: *Solar POWER-GEN 2013*, San Diego, CA, US. Available at: http://www.golder.com/en/modules.php?name=Publication&sp_id=300.
- Benjamin, Attia (2017): Global Solar Demand Monitor: Q1 2017 – *Report*. [online] Available at: <https://www.greentechmedia.com/research/report/global-solar-demand-monitor-q1-2017> [Accessed 12.03.2018].
- Bodie, Z., Kane, A. and Marcus, A. J. (2004). Essentials of Investments, *McGraw Hill Irwin*, p. 452, ISBN 0-07-251077-3.
- Borgogno Mondino, Enrico, Fabrizio, Enrico, and Chiabrando, Roberto (2015). Site Selection of Large Ground-Mounted Photovoltaic Plants: A GIS Decision Support System and an Application to Italy. *International Journal of Green Energy*, Volume 12(5), pp. 515-525, DOI:10.1080/15435075.2013.858047
- Brewer, J., Ames, D. P., Solan, D., Lee, R., and Carlisle, J. (2015). Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renew. Energy*, Volume 81, pp. 825–836.
- Broesamle, H., (1999). Solar Thermal Power Stations. Localization and Assessment of the Potential with the Planning Tool STEPS. *Doctoral Thesis* (in German), *University of Vechta* (1999).
- Burrough, P. A., and McDonell, R. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York, P.190.
- Burshtynska, Kh., Zayac, I., Tretyak, S., Halochkin, M. (2017). Monitoring of the riverbed of river Dniester of the Carpathian Region using GIS technologies. *7 Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 29, pp. 25-36. <https://doi.org/10.14681/afkit.2017.002>
- Canote, D., Evans, J., German, S., Carden-Jessen, M., Johnson, C., and Mutrux, M. A. (2013). Energy Producing Systems: Solar Power. *Energy For Missouri: Today and Tomorrow*, Missouri Department of Economic Development Division of Energy, Jefferson City, Missouri, pp. 33-39.

Castillo, C. P., Batista e Silva, F., and Lavallo, C. (2016). An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. *Energy Policy*, Volume 88, pp. 86–99.

Centre of Sustainable Building & Construction Authority, Singapore, 2011: Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems – Handbook, 2011. [online] Available at: https://www.bca.gov.sg/publications/others/handbook_for_solar_pv_systems.pdf [Accessed 12.02.2018].

Charabi, Y. and Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, Volume 36, pp. 2554–2561.

Clifton, J. and Boruff, B. J. (2010). Assessing the potential for concentrated solar power development in rural Australia. *Energy Policy*, Volume 38, pp. 5272–5280.

Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, Volume 20(1), pp. 37–46.

Colby, J.D. (1991). Topographic normalization in rugged terrain. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Volume 57, pp.531–537.

Dominguez Bravo, J., Garcia Casals, X., and Pinedo Pascua, I. (2007). GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies. *Energy Policy*, Volume 35, pp. 4879–4892.

Eastman, J.R., et al. (1995). Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Volume 61 (5), pp. 539-547.

Elkind, E., Strittholt, J. (2016). Location, location: Solar PV and the San Joaquin Valley. *Capitol Weekly* [Online]. Available at: <http://capitolweekly.net/solar-pvsan-joaquin-electricity-power/> [Accessed 24.04.2017].

Fluri, T. P. (2009). The potential of concentrating solar power in South Africa. *Energy Policy*, Volume 37, pp.5075 –5080.

Georgiou, A., Skarlatos, D. (2016). Optimal site selection for sitting a solar park using multicriteria decision analysis and geographical information systems, *Geoscientific Instrumentation Methods & Data Systems*, Volume 5, pp. 321-332.

Georgiou, A., Polatidis, H., and Haralambopoulos, D. (2012). Wind energy resource assessment and development: Decision analysis for site evaluation and application, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Volume 34, pp. 1759–1767.

Georgopoulou, E., Lalas, D., Papagiannakis, L. (1997). Multicriteria decision aid approach for energy planning problems: the case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research*, Volume 103, pp. 38–54.

GIS «GISENERGY» of energy objects in Chernivtsi region. [online] Available at: <http://maps.oblenergo.cv.ua/#9/48.2026/26.2214> [Accessed 30.03.2018]

Haralambopoulos, D.A., Polatidis, H. (2003). Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable energy*, Volume 28, pp. 961–973.

Hernandez, R. R. et al. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Volume 29, pp. 766–779.

Horning, N. (2004). Land cover classification methods, Version 1.0. *American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation*. [online] Available at: <http://biodiversityinformatics.amnh.org> [Accessed 18.10.2018]

Huang, J.P., Poh, K.L., Ang, B.W. (1995). Decision analysis in energy and environmental modeling. *Energy*, Volume 20(9), pp. 843–855.

Hurtado, J. P., Fernandez, J., Parrondo, J. L., and Blanco, E. (2004). Spanish method of visual impact evaluation in wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 8, pp. 483–491.

Janke, J. R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renew. Energy*, Volume 35 (10), pp. 2228–2234.

Jraidi, M., Hamrouni, N., Chérif et A., Dhouib, A. (2004). Modélisation et Simulation des Systèmes de Pompage Photovoltaïque avec de Nouvelles Stratégies de Commande, *JTEA'2004*, Hammamet, Tunisie.

Karlsson, Anders (2003). Classification of high resolution satellite images. [online] Available at: http://infoscience.epfl.ch/record/63248/files/TPD_Karlsson.pdf [Accessed 05.03.2019].

Kereush, D., Perovych, L. (2019). Technology of optimal site selection for Solar PV power plants. *Monography - LAP Lambert Academic Publishing* – P.80, ISBN 978-613-9-45145-6.

Kereush, D., Perovych, I. (2017). Determining criteria for optimal site selection for solar power plants. *International Scientific Journal "Geomatics, Landmanagement and Landscape"* (Index Copernicus), Volume 4, pp. 39–54, ISSN 2300-1496, <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2017.4.39>.

Kereush, D., Perovych, L. (2017). Technology of optimal site selection for solar photovoltaic power plants using GIS and Remote Sensing techniques. *Interdepartmental scientific and technical review "Geodesy, Cartography and Aerial Photography"* (Index Copernicus), Volume 86, pp. 73-79, ISSN: 2415-3001 online, <https://doi.org/10.23939/istcgcap2017.02>.

Kereush, D., Perovych, I. (2015). Transformation of agricultural lands. *International Scientific Journal "Geomatics, Landmanagement and Landscape"* (Index Copernicus), Volume 1, pp.45-54, ISSN 2300-1496, DOI: 10.15576/GLL/2015.1.45.

Kokhan, S., Moskalenko, A., & Drozdivskyi, O. (2018). Quantitative Land Suitability Mapping for Crop Cultivation. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, Volume 20(3), pp.77-83, ISSN 1335-4205.

Kontos, Th., Komilis, D., & Halvadakis, K. (2005). Sitting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology, *Waste Manage*, Volume 25, pp. 818–832.

Krieger, T., Curtis, W. & Haase, J. (2011). Global Validation of the ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) Version 2. *Report to the ASTER GDEM Version 2 Validation Team*.

La Gennusa, M., Lascari, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., and Sorrentino, G. (2011). A model for predicting the potential diffusion of solar energy systems in complex urban environments. *Energy Policy*, Volume 39, pp. 5335–5343.

Malanchuk, M., Malashevskyi, M., Palamar, A., Bugaienko, O., Tarnopolsky, E. (2018). The opportunities for use the peer land exchange during land management in Ukraine. *Geodesy and Cartography*. – 2018. – Vol. 44, Issue 4, p. 129–133.

Masera, O., Ghilardi, A., Drigo, R., and Trossero, M. A. (2006). WISDOM: A GIS-based supply demand mapping tool for woodfuel management, *Biomass and Bio-energy*, Volume 30, pp. 618–637.

Mendelsohn, M., Lowder, T., and Canavan, B., (2012). Utility-Scale Concentrating Solar Power and Photovoltaics Projects. *A Technology and Market Overview*, United States Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.

Multispec 3.31 Documentation. [online] Available at: https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/MultiSpec_Intro_9_11.pdf [Accessed 23.09.2018].

Niblick, B., and Landis, A. E. (2016). Assessing renewable energy potential on United States marginal and contaminated sites. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Volume 60, pp. 489–497.

Ouammi, A., Ghigliotti, V., Robba, M., Mimet, A., and Sacile, R. (2012). A decision support system for the optimal exploitation of wind energy on regional scale. *Renewable Energy*, Volume 37, pp.299–309.

Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). [online] Available at: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109.pdf> [Accessed 24.20.2017].

Perovych, I., Kazanivska, O., and Kereush, D. (2015). The accuracy of determining of the zones of restricted use of territories along the transmission lines taking into account the magnetic field influence. *International Scientific Journal “Baltic Surveying”* (Agris, CABI CAB Abstracts), Volume 1, pp.40-44, ISSN 2255 – 999X.

Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS (EU, JRC, Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit). [online] Available at: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html [Accessed 19.02.2018]

PostgreSQL 9.5.7 Documentation. [online] Available at: <https://www.postgresql.org/docs/9.5/static/index.html> [Accessed 23.09.2017]

PVGIS Frequently Asked Questions (2019). Photovoltaic Geographical Information System, Joint Research Centre of European Commission [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/en/FAQ.html.

QGIS 2.18 Documentation. [online] Available at: http://docs.qgis.org/2.18/en/docs/user_manual/ [Accessed 23.09.2017].

Ramachandra, T. V., Vamsee Krishna S., and Shruthi, B. V. (2005). Decision support system to assess regional biomass energy potential. *International Journal of Green Energy*, Volume 1, pp.407–428.

Ramirez-Rosado, I. J., Fernandez-Jimenez, L. A., Monteiro, C., Garcia-Garrido, E., and Zorzano-Santamaria, P. (2011). Spatial long-term forecasting of small power photovoltaic systems expansion. *Renewable Energy*, Volume 36, pp. 3499–3506.

Riaco, D., Chuvieco, E., Salas, J., and Aguado, I. (2003). Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 41, pp. 1056–1061.

Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J., and Aguado, I. (2003). Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 41, pp. 1056–1061.

Saaty, T.A. (1997). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, pp. 234-281.

Saaty, T.A. (1992). Decision-Making for Leaders. *2nd Ed. RWS Publication*, Pittsburgh, USA. United States Geological Survey (USGS), Shuttle Radar Topography Mission.

Sanchez-Lozano, M. J., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, L. P., and Garcia-Cascales, S. M. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in southeastern Spain, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, Volume 24, pp. 544–556.

Shepherd, J. D., and Dymond, J. R. (2003). Correcting satellite imagery for the variance of reflectance and illumination with topography. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 24, pp.3503–3514.

Shi, X., Elmore, A., Li X., Gorence, N. J., Jin H., Zhang, X., and Wang, F. (2008). Using spatial information technologies to select sites for biomass power

plants: A case study in Guangdong Province, China. *Biomass and Bioenergy*, Volume 32, pp.35–43.

Schroeder, T. A., Cohen, W. B., Song, C., Canty, M. J., and Yang, Z. (2006). Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment*, Volume 103, pp.16–26.

Social and economic passport of Zastavna district - official document. [online] Available at: http://zastavnaeconomy.at.ua/index/prezentacija_rajonu/0-45 [Accessed 29.11.2017]

Stoms, D. M., Dashiell, S. L., and Davis, F. W. (2013). Siting solar energy development to minimize biological impacts. *Renew. Energy*, Volume 57, pp. 289–298.

Story, M., Congalton, R. (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Volume 52, pp. 397 – 399.

Stupen, N., Stupen, M., Stupen O. (2018). «Electronic agricultural maps formation on the basis of GIS and earth Remote Sensing». *Scientific Papers Series “Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development“*, Volume 18, Issue 4/2018, p. 347-352, PRINT ISSN 2284-7995, E-ISSN 2285-3952.

Tahri, M., Hakdaoui, M., and Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Volume 51, pp. 1354–1362.

Tavana, Madjid, J.Santos Arteaga, Francisco, Mohammadi, Somayeh, Alimohammad, Moslem (2017). A fuzzy multi-criteria spatial decision support system for solar farm location planning. *Energy Strategy Reviews*, Volume 18, pp. 93-105, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.09.003>.

Tegou, L., Polatidis H., and Haralambopoulos D. A. (2012). A multi-criteria framework for an isolated electricity system design with renewable energy sources in the context of distributed generation: The case study of Lesvos island, Greece. *International Journal of Green Energy*, Volume 9, pp. 256–279.

Terrados, J., Almonacid, G., Pérez-Higueras, P. (2009). Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, pp.2022–2030.

Torres Sibille, A., Cloquell-Ballester V., and Ramirez M. A. (2009). Aesthetic impact assessment of solar power plants: An objective and subjective approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, pp.986–999.

Tso, B. and Mather, P. M. (2009). Classification Methods for Remotely Sensed Data. *2nd Ed. Chapter 2-3, Taylor and Francis Group, America.*

Typical Meteorological Year (TMY) Generator - PVGIS (EU, JRC, Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit). [online] Available at: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/intro_tools.html [Accessed 27.12.2018].

US Environmental Protection Agency, “RE-Powering America’s Land.” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/re-powering>. [Accessed: 24-Apr-2017].

Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Volume 28, pp. 11–17.

Xinyang, Liu (2013). GIS-Based Local Ordered Weighted Averaging: A Case Study in London, Ontario. *Electronic Thesis and Dissertation Repository*, Paper 1227. [online] – Available at: <http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=2599&context=etd> [Accessed 17.03.2018].

Young, N., Anderson, R., Chignell, S., Vorster, A., Lawrence, R., Evangelista, P. (2017). A survival guide to Landsat preprocessing. *ECOLOGY – Ecological Society of America*, Volume 98 (4), pp. 920–932.

Zhang, F., Johnson D. M., and Sutherland J. W. (2011). A GIS-based method for identifying the optimal location for a facility to convert forest biomass to biofuel. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, pp.3951–61.

Архів даних Геологічної служби США (U.S. Geological Survey), [online] – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Доступ 14.09.2017]

Бавровська, Н. М., Мартин, А. Г. (2012). Еколого-економічне обґрунтування раціонального землекористування територіальних

соціально-природних комплексів регіону. *Наук. монографія* - К. : Медінформ, 307 с., ISBN 978-966-409-110-4.

Балюк, С.А., Тімченко, Д.О., Гічка, М.М., Куценко, М.В. (2008). Концепція охорони ґрунтів від ерозії в Україні. *КП "Друкарня № 13"*. Харків, 2008, 60с.

Богіра, М.С. (2018). Шляхи удосконалення системи управління земельними ресурсами в сільському господарстві. *Збалансоване природокористування*, Випуск №1/2018, С.130-134.

Бурштинська, Х., Денис, Ю., Мадяр, Ю., Поліщук, Б. (2016). Методика двоетапної класифікації лісів за космічними зображеннями високого розрізнення. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, Вип.1, С. 148-155, ISSN 1819-1339.

Бурштинська, Х., Поліщук, Б., Фіковська, О. (2014). Гібридна класифікація лісів за космічними знімками високого розрізнення. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, Вип. 1 (22), С. 86-93, ISSN 1819-1339.

Бурштинська, Х.В., Третяк, С.К., Шевчук, В.М. (2017). Дослідження меандрування ріки Дністер з використанням геоінформаційних технологій. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, Випуск I (33), С. 131-138. ISSN 1819-1339.

Волощук, М. (2017). Деградація ґрунтів – глобальна екологічна проблема, ISSN 2078-6441. *Вісник Львівського університету*, Серія географічна, Випуск 51, С. 63–70.

Гавриленко, О.П. (2008). Екогеографія України. *Навч. посіб.* Рекомендовано МОН— К., 2008, 646 с., ISBN: 978-966-346-472-5.

Горлачук, В.В., В'юн, В.Г., Сохнич, А.Я. (2002). Управління земельними ресурсами: [навчальний посібник], Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 316 с.

Горлачук, В.В., Гаркуша, О.М., В'юн, В.Г. та ін. (2006). Управління землекористуванням. *Підручник* – За ред. В.В. Горлачука – Миколаїв, Вид-во «Іліон», 376 с.

Горлачук, В.В., Рудий Р.М. (2017). Сучасний стан та механізм вибору цивілізаційно-орієнтованого шляху розвитку земельних відносин.

[Електронний ресурс] *Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського*. Серія : Економічні науки, Випуск № 2, С. 65-72. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvmduce_2017_2_13.

Громова, Н.М., Громова, Н.И. (2007). Основы экономического прогнозирования: *учеб.пособие* - М.: Академия Естествознания, 2007. – 112 с.

Довкілля для Європи: Національна доповідь України про гармонізацію життєдіяльності суспільства у навколишньому природному середовищі (2003). *Спецвипуск до 5 Всеєвропейської конференції Міністерства навколишнього середовища*, Київ, 138 с.

Дорожня карта розвитку сонячної енергетики на період до 2020 року, (2016). Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2016. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/pressroom/1133>.

Дорош, О. С. (2013). Методологічні засади формування інституціонального середовища територіального планування землекористування в Україні. [Електронний ресурс] *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, Випуск № 1-2, С.13-18. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2013_1-2_4.

Дорош, О. С., Фоменко, В. А., Мельник, Д. М. (2018). Ключова роль землеустрою у плануванні розвитку системи землекористувань у межах територіальних громад. [Електронний ресурс] *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, Випуск № 2, С. 22-32 - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2018_2_5.

Енергетична стратегія України (ЕСУ) на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (2017). Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>.

Закон України «Про альтернативні джерела енергії» (№555-IV, редакція від 22.05.2019). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15/print>.

Закон України «Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності» (№1559-VI, редакція від 25.03.2018). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1559-17>.

Закон України «Про використання земель оборони» (№1345-IV, редакція від 06.05.2012). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1345-15>.

Закон України «Про електроенергетику» (№575/97-ВР, редакція від 01.01.2019). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/575/97-%D0%B2%D1%80>.

Закон України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів» (№2480-VI, редакція від 01.01.2019). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2480-17>.

Закон України «Про ринок електричної енергії» (№ 2019-VIII, редакція від 22.05.2019). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.

Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, (2018). Офіційний веб-сайт НКРЕКП. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=31942>.

Земельний кодекс України (із змінами внесеними Законом України №2666-VIII від 20.12.2018). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.

Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України у грудні та за 2018 рік, (2019). Міністерство енергетики та вугільної промисловості України.

[Електронний ресурс] - Режим доступу:
http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245343597.

Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за березень та 3 місяці 2019 року, (2019). - Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. [Електронний ресурс] - Режим доступу:
http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245366291&cat_id=35081 .

Карта та Довідник назв агровиробничих груп ґрунтів, (2018). Портал «Загальнонаціональна (всеукраїнська) нормативна грошова оцінка земель сільськогосподарського призначення». [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ngo.land.gov.ua/uk/catalog/>.

Компанія Rentechno (2019). Сонячна електростанція "Комишувате", Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс] - Режим доступу:
<https://rentechno.ua/ua/portfolio/solar-plants/komyshuvate.html>.

Компанія Solar-Tech (2019). Мережева станція 1 МВт під зелений тариф, Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/ua/complete-systems/setevye-stancii/setevaya-stanciya-1000-kvt-pod-zelenyi-tarif.html>

Кохан, С.С., Востоков, А.Б. (2018). Дистанційний моніторинг земельних ресурсів. *Навчальний посібник*. - Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. - Київ : Компринт, 2018. - 263 с., ISBN 978-966-929-814-0.

Кохан, С.С., Москаленко, А.А. (2015). Розроблення структури бази знань системи геоінформаційного моніторингу для оцінювання якісного стану земель сільськогосподарського призначення. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (Східно-Європейський журнал передових технологій)*, Вип. 5/2 (77), С. 32–37.

Митний кодекс (із змінами внесеними Законом України № 2725-VIII від 16.05.2019). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17>.

Офіційний курс гривні щодо іноземних валют (2019). Національний банк України. [Електронний ресурс] - Режим доступу:
<https://bank.gov.ua/control/uk/curmetal/detail/currency?period=daily>.

Перович, І. Л. (2013). Достовірність експертних суджень в оцінці нерухомості. *Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник* - Львів : Видавництво Львівської політехніки, Випуск 77, С. 20–23.

Перович, І. Л., Винарчик, Л.В. (2013). Економіко-математичний підхід до оцінки землі населених пунктів на основі їх функціональнопланувальної структурию *Геодезія, картографія і аерофотознімання: міжвідомчий науково-технічний збірник* – Львів: Видавництво Львівської політехніки, Випуск 78, С. 241-247.

Податковий кодекс України (із змінами внесеними Законом України № 2725-VIII від 16.05.2019). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.

Портал «Загальнонаціональна (всеукраїнська) нормативна грошова оцінка земель сільськогосподарського призначення» (2018). [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ngo.land.gov.ua/uk/>.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Методики нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення» (№831-2016-п, редакція від 27.02.2018). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/831-2016-%D0%BF>.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного стандарту №2 "Оцінка нерухомого майна"» (№1442-2004-п, редакція від 15.04.2015). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1442-2004-%D0%BF>.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Правил охорони електричних мереж» (№ 209-97-п, редакція від 22.03.2017). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/209-97-%D0%BF>.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про проведення загальнонаціональної (всеукраїнської) нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення» (№ 105-2018-п від 7 лютого 2018). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-

портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/105-2018-%D0%BF?lang=uk>.

Проект «Підтримка реформ у сільському господарстві та земельних відносинах в Україні», Моніторинг: База даних 2016-2017, Київська школа економіки. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.kse.org.ua/uk/research-policy/land/governance-monitoring/database-2016-2017/>.

Публічний звіт Держгеокадастру за 2017 рік (2018). [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://land.gov.ua/wp-content/uploads/2018/03/pub_rep_2018.pdf.

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”» (№ 605-р від 18.08.2017). [Електронний ресурс] // Верховна Рада України, офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.

Сохнич, А.Я., Кульбака, В.М, (2016). Роль земельних ресурсів у формуванні ринкової економіки. [Електронний ресурс] *Збалансоване природокористування*, Випуск № 2., С.123-127. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zp_2016_2_27.

Сохнич, А.Я., Сохнич С. (2013). Застосування ГІС в управлінні земельними ресурсами. [Електронний ресурс] *Вісник Львівського національного аграрного університету*, Сер : Економіка АПК, Випуск № 20(2), С. 10-13. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlnau_econ_2013_20\(2\)_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlnau_econ_2013_20(2)_4).

Соціально-економічний паспорт Заставнівського району (2015). Заставнівська районна державна адміністрація Чернівецької області, [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://zastavnaeconomy.at.ua/index/prezentacija_rajonu/0-45.

Статистичний щорічник «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016-2017», Додаток Д.2. (2018). Держгеокадастр, Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://land.gov.ua/derzhheokadastr-prezentuvav-monitorynh-zemelnykh-vidnosyn-v-ukraini-za-2016-2017-roky/>.

Стищенко, Е.А. (2017). Возможности распознавания сельскохозяйственных угодий с использованием методики совместной автоматизированной обработки разносезонных многозональных космических изображений. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, Выпуск № 5, С. 172–183, [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2017t5/172-183.pdf

Ступень, М.Г. (2017 а). Сучасні геоінформаційні технології як інструмент актуалізації земельного кадастру. *Вісник Львівського національного аграрного університету*, Серія : Економіка АПК, Випуск № 24(2), С. 5-11 - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlnau_econ_2017_24%282%29__4.

Ступень, М. Г. (2017 б). Напрями формування сталого землекористування в населених пунктах. *Збалансоване природокористування*, Випуск № 4, С. 85-89. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zp_2017_4_19.

Ступень, М. Г., Гулько, Р., Ступень, Н., Бахур, О. (2013). Економіко-екологічне стимулювання ефективного використання та охорони земель. [Електронний ресурс] *Вісник Львівського національного аграрного університету*, Сер : Економіка АПК, Випуск № 20(2), С.85-93 - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlnau_econ_2013_20\(2\)__19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlnau_econ_2013_20(2)__19).

Третяк, А.М. (2008). Зміна пріоритетів земельної реформи у зв'язку з удосконаленням економічних відносин власності на землю. *Вісник аграрної науки*, Випуск № 2, С. 5-9.

Третяк, А.М., Калганова, І. Г. (2016). До питання про економічну сутність поняття інновацій та інноваційної діяльності у сфері землеустрою. [Електронний ресурс] *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, Випуск № 3, С. 54-64. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2016_3_10.

Укрінформ, FAO запускає в Україні проект по боротьбі з деградацією ґрунтів (2018 а). [Електронний ресурс] - Режим доступа: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2454995-fao-zapuskae-v-ukraini-proekt-po-borotbi-z-degradacieu-gruntiv.html>, доступ 20.06.2019

Укрінформ, Про перше засідання Координаційної ради з питань боротьби з деградацією земель та опустелюванням (2018 б). [Електронний ресурс] -

Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2454101-ukraina-vtracae-soroku-cerez-degradaciu-zemel-ponad-20-milardiv-semerak.html>.



EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL HUMAN RESOURCES AND SECURITY
Directorate HR.AMC – Account Management Centre
HR.DDG.AMC 8

Petten, 25 April 2018

CERTIFICATE OF TRAINEESHIP

This is to certify that

Ms. Daria KEREUSH

Nationality: Ukrainian
Date of birth: 24.11.1993
Place of birth: Beltsy, Republic of Moldova

Underwent an in-service training period in the European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, Transport and Climate.

Starting date: 01.12.2017
Ending date: 01.05.2018
Place of employment: Petten, The Netherlands
Position: Trainee
Type of contract: Traineeship, Full Time

This certificate is issued for all authorized purposes.


Mrs Noella Coster

HR-assistant, AMC8 Petten

Visiting address: Westerdinweg 3, NL-1755 LE Petten, The Netherlands
Postal address: Postbus Nr. 2, NL-1755 ZG Petten, The Netherlands
Internet: <http://iet.jrc.ec.europa.eu/>

1. Коефіцієнт "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням джерел енергії сонячного випромінювання, встановлюється на рівні:

Категорії об'єктів електроенергетики, для яких застосовується "зелений" тариф	Коефіцієнт "зеленого" тарифу для об'єктів або його черг/пускових комплексів, введених в експлуатацію										
	по 31.03.2013 включно	з 01.04.2013 по 31.12.2014	з 01.01.2015 по 30.06.2015	з 01.07.2015 по 31.12.2015	з 01.01.2016 по 31.12.2016	з 01.01.2017 по 31.12.2019	з 01.01.2020 по 31.12.2020	з 01.01.2021 по 31.12.2021	з 01.01.2022 по 31.12.2022	з 01.01.2023 по 31.12.2024	з 01.01.2025 по 31.12.2029
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання наземними об'єктами електроенергетики, встановлена потужність яких становить 10 МВт або менше	8,64	6,30	5,67	3,15	2,97	2,79	2,09	2,02	1,95	1,88	1,81
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання наземними об'єктами електроенергетики, встановлена потужність яких перевищує 10 МВт	4,80	3,50	3,15		2,97	2,79	2,09	2,02	1,95	1,88	1,81
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на	8,28	6,48	5,83	-			-				-

дах та/або фасадах будівель та інших капітальних споруд, встановлена потужність яких перевищує 100 кВт												
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на дахах та/або фасадах будівель та інших капітальних споруд, встановлена потужність яких не перевищує 100 кВт	7,92	6,66	5,99		-			-				-
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на дахах та/або фасадах будівель та інших капітальних споруд	-	-	-	3,35	3,20	3,04	2,28	2,20	2,13	2,05		1,98

2. Коефіцієнт "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої генеруючими установками приватних домогосподарств з використанням джерел енергії сонячного випромінювання, встановлюється на рівні:

Категорії генеруючих установок приватних домогосподарств, для яких застосовується "зелений" тариф	Коефіцієнт "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої генеруючими установками приватних домогосподарств, заява-повідомлення про встановлення яких зареєстрована енергопостачальником								
	по 31.03.2013 включно	з 01.04.2013 по 31.12.2014	з 01.01.2015 по 30.06.2015	з 01.07.2015 по 31.12.2015	з 01.01.2016 по 31.12.2016	з 01.01.2017 по 31.12.2018	з 01.01.2019 по 31.12.2019	з 01.01.2020 по 31.12.2024	з 01.01.2025 по 31.12.2029
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлена потужність яких не перевищує 30 кВт	-	6,66	5,99	3,72	3,53	3,36	3,36	-	-
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлена потужність яких не перевищує 50 кВт, за умови їх розташування на дахах та/або фасадах будівель та інших капітальних споруд	-	-	-	-	-	-	3,36	3,02	2,69

3. Коефіцієнт "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої генеруючими установками споживачів, у тому числі енергетичних кооперативів, встановлена потужність яких не перевищує 150 кВт, встановлюється на рівні:

Категорії генеруючих установок споживачів, у тому числі енергетичних кооперативів, для яких застосовується "зелений" тариф	Коефіцієнт "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої генеруючими установками споживачів, у тому числі енергетичних кооперативів, встановлена потужність яких не перевищує 150 кВт							
	по 31.03.2013 включно	з 01.04.2013 по 31.12.2014	з 01.01.2015 по 30.06.2015	з 01.07.2015 по 31.12.2015	з 01.01.2016 по 31.12.2018	з 01.01.2019 по 31.12.2019	з 01.01.2020 по 31.12.2024	з 01.01.2025 по 31.12.2029
для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками споживачів, у тому числі енергетичних кооперативів, встановлена потужність яких не перевищує 150 кВт, за умови їх розташування на дахах та/або фасадах будівель та інших капітальних споруд	-	-	-	-	-	3,04	2,28	1,98