

АТЛАС

ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ



КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"
Кафедра відновлюваних джерел енергії



АТЛАС

ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

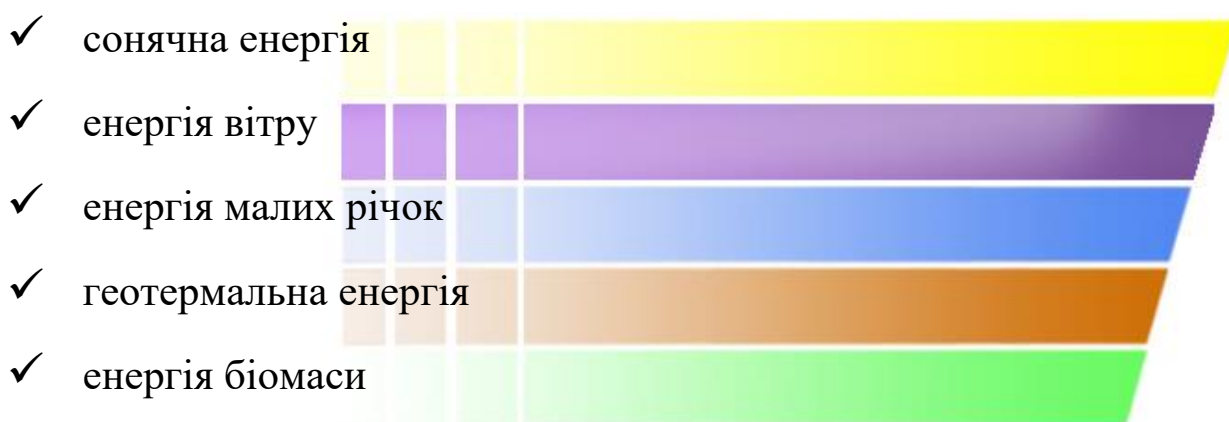
ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Видання третє, оновлене

За загальною редакцією

члена -кореспондента Національної академії наук України

С. О. Кудрі



КИЇВ – 2024

УДК 620.9
А92
України

Рекомендовано до публікації Вченою радою
Інституту відновлюваної енергетики НАН

Протокол № 24 від 27.11.2024

Авторський колектив:

Суржик Т. В., Матях С. В., Бондаренко Д. В., Дьяченко О. С., Пундєв В. О.,
Шевчук В. І., Шейко І. О. – 1 розділ;
Петренко К. В., Яценко Л. В., Кудря С. О., Мхітарян Н. М., Кузнецов М. П.,
Коханевич В. П., Шихайлов М. О., Аушева Н. М., Кардашов О. В., Іванченко І. В.,
Кармазін О. О., Ткаченко Д. Ю., Молибог О. Г., Коханевич В. В., Репкін О. О.,
Борсук В. В., Лисак О. В. – 2 розділ;
Васько П. Ф., Мороз А. В. – 3 розділ;
Морозов Ю. П., Барило А. А., Зур'ян О. В. – 4 розділ;
Четверик Г. О., Жовмір М. М., Новицька Є. Г., Ключ В. П., Лобунець Ю. М. – 5 розділ

*За загальною редакцією
Кудрі С. О.*

A92 **Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України:** Видання третє, оновлене/за заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2024. – 56 с.

ISBN 978-966-999-034-2

В Атласі енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України представлено осучаснені показники середньорічного технічно досяжного енергетичного потенціалу відновлюваних джерел України, який можна реалізувати за допомогою технічних засобів для наступних напрямів освоєння: енергія вітру, сонячна енергія, енергія малих річок, геотермальна енергія, енергія біомаси.

Інформаційно-аналітична система оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України являє собою єдине інформаційне середовище із взаємозв'язаною картографічною і цифровою інформацією, довідковим, методичним та програмним забезпеченням. У межах цієї структури в Атласі застосовано сучасні засоби комп'ютерного картографування інформації. Інформаційну підтримку реалізовано через розробку нових і вдосконалення відомих методик, а також використання лише валідних даних довгострокових спостережень.

Матеріали, подані в Атласі, призначено для використання в процесі проведення науково-дослідних, пошукових та проєктувальних робіт під час розробки, створення та впровадження обладнання відновлюваної енергетики за основними напрямками їх освоєння для викладачів, аспірантів та студентів енергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, всіх органів вищої державної влади, що займаються проблемами розвитку в Україні низьковуглецевої економіки, зокрема для працівників центральних і регіональних органів виконавчої влади, а також для представників територіальних громад та фізичних осіб.

ISBN 978-966-999-034-2

© Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2024

Для України розвиток відновлюваної енергетики є одним із першочергових завдань для підвищення енергетичної та екологічної безпеки держави. Досить швидким темпам цього розвитку сприяє науковий і практичний доробок у цій галузі, набутий протягом останніх 40 років фахівцями Інституту відновлюваної енергетики НАН України, отриманий унаслідок фундаментальних та прикладних наукових досліджень та міжнародної співпраці. Значний внесок у розвиток відновлюваної енергетики зробили Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», низка інститутів НАН України та представників органів влади, насамперед закладів Міністерства енергетики України.

Першочерговим завданням для успішного впровадження техніки й технологій відновлюваної енергетики є визначення енергетичного потенціалу кожного з видів відновлюваних джерел на всій території України. В Інституті відновлюваної енергетики НАН України створено й постійно оновлюється атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії, перспективних для освоєння в Україні: сонячна енергія, енергія вітру, енергія малих річок, енергія біомаси, геотермальна енергія та енергія довілля.

Перша редакція Атласу енергетичного потенціалу України, що вийшов друком 2001 року, розроблена в межах виконання роботи «Створення інформаційно-аналітичної системи оцінки потенціалу відновлюваних джерел енергії України» і була спрямована на виконання заходів Програми державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики. Проєкт «Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України» нагороджено дипломом Всеукраїнського конкурсу «Лідер паливно-енергетичного комплексу» в номінації «Природоохоронний проєкт». В атласі було наведено дані щодо розподілу енергетичного потенціалу в областях України та визначено загальний річний технічно досяжний енергетичний потенціал відновлю-

ваних джерел України, освоєння якого забезпечувало на той час скорочення використання традиційних енергоносіїв до 50 %.

Використання створеної на цей час інформаційно-аналітичної системи оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України дозволяє проводити щорічне відслідкування та уточнення кількісних параметрів енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії на всій території України з отриманням результатів у вигляді картографічної інформації з візуалізацією результатів як картографічної та атрибутивної бази даних. Відслідкування й аналіз поточної та багаторічної інформації має на меті також видачу рекомендацій для застосування як вже освоєних, так і нових відновлюваних джерел енергії на всій території України.

У представлений редакції Атласу енергетичного потенціалу України застосовано сучасні засоби комп'ютерного картографування інформації, отриманої внаслідок проведення розрахунково-аналітичних досліджень щодо встановлення показників енергетичного потенціалу сонячної енергії, енергії вітру, енергії малих річок, енергії біомаси та геотермальної енергії. У процесі досліджень проводилась розробка нових і вдосконалення відомих розрахункових методик, а також використовувались лише валідні дані довгострокових спостережень надходження енергії відновлюваних джерел й уточнених технічних показників енергетичного обладнання на їх основі.

Розширені можливості використання енергії ВДЕ можна спрямувати не тільки на виробництво електричної та теплової енергії, але й на створення довгострокових запасів енергії у вигляді водню. Інститут відновлюваної енергетики НАН України займається визначенням енергетичного потенціалу виробництва водню, встановленням перспективних напрямів його використання, зокрема для створення балансувальних потужностей для енергетики України.

Директор Інституту відновлюваної енергетики НАН України,
член-кореспондент НАН України
С. О. Кудря

Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України являє собою один з елементів візуалізації інформації, представленої в інформаційно-аналітичній системі оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії.

В атласі на основі бази розрахункових даних представлено осучаснені показники технічно досяжного енергетичного потенціалу ВДЕ – частку енергії загального потенціалу ВДЕ України, яку можна реалізувати за допомогою сучасних технічних засобів для таких напрямів освоєння:

- енергія вітру,
- сонячна енергія,
- енергія малих річок,
- геотермальна енергія,
- енергія біомаси.

Інформаційно-аналітична система оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України являє собою єдине інформаційне середовище із взаємозв'язаною картографічною і цифровою інформацією, довідковим, методичним та програмним забезпеченням.

Розробка дає змогу оперативно обробляти щорічну й додаткову інформацію без знищення поточної. Представлені в атласі енергетичні показники відновлюваних джерел енергії України можуть використовуватись замовниками та проєктувальниками енергетичного обладнання як базові з урахуванням відповідних щорічних поправок. Крім енергетичного потенціалу під час впровадження обладнання відновлюваної енергетики в конкретній місцевості необхідно враховувати також інфраструктурні передумови, місцеві та конструктивні фактори, зокрема:

- рівень забезпечення енергоресурсами;
- структуру системи енергопостачання та енерговикористання конкретного об'єкта;
- вимоги до якісних показників електричної й теплової енергії;
- тип і параметри енергонавантаження;

- вимоги до погодинного графіка енергопостачання;
- економічні та екологічні фактори.

Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України призначено для використання в процесі проведення науково-дослідних, пошукових та проєктних робіт під час розробки, створення та впровадження обладнання відновлюваної енергетики за основними напрямками їх освоєння.

Видання атласу енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України сприятиме поширенню інформації щодо можливості освоєння енергії відновлюваних джерел на всій території країни та підвищенню рівня проєктних розробок завдяки правильному вибору та комплектації устаткування. Важливим є інформування не тільки зацікавлених організацій з розробки, випуску та впровадження устаткування відновлюваної енергетики, але й органів влади – від вищих до місцевих – для подолання упереженості щодо впровадження нових енергетичних технологій та підвищення рівня освоєння енергії відновлюваних джерел.

Виконавець –
Інститут відновлюваної енергетики
НАН України

Під загальною редакцією
Кудрі Степана Олександровича

Авторський колектив:

Розділ 1 – Суржик Т. В., Матях С. В.,
Бондаренко Д. В., Дьяченко О. С.,
Пундєв В. О., Шевчук В. І., Шейко І. О.

Розділ 2 – Петренко К. В., Яценко Л. В.,
Кудря С. О., Мхітарян Н. М., Коханевич В. П.,
Шихайлов М. О., Аушева Н. М., Кардашов О.
В., Іванченко І. В., Кармазін О. О.,
Ткаченко Д. Ю., Молибог О. Г.,
Коханевич В. В., Репкін О. О., Борсук В. В.,
Лисак О. В.

Розділ 3 – Васько П. Ф., Мороз А. В.

Розділ 4 – Морозов Ю. П., Барило А. А.,
Зур'ян О. В.

Розділ 5 – Четверик Г. О., Жовмір М. М.,
Новицька Є. Г., Ключ В. П., Лобунець Ю. М.

Розділ 8 – Кузнєцов М. П., Бенменні Мухуб.

*Передрукування даної печатної продукції без
відома виконавця та використання без відпо-
відних посилань є незаконним.*

ЗМІСТ

1. ПОТЕНЦІАЛ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	6
2. ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ	11
3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МАЛИХ РІЧОК	26
4. ПОТЕНЦІАЛ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	31
5. ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГІЇ БІОМАСИ.....	38
5.1. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БІОГАЗУ	38
5.2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РІДКОГО БІОПАЛИВА	44
5.3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТВЕРДОЇ БІОМАСИ І ТОРФУ В УКРАЇНІ.....	47
6. ПОТЕНЦІАЛ ПОТУЖНОСТІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ, МВт	53
7. ПОТЕНЦІАЛ СЕРЕДНЬОРІЧНОГО ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ, МЛН КВт·год/рік	55
8. ПОТЕНЦІАЛ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ УКРАЇНИ.....	57

1. ПОТЕНЦІАЛ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Сонячна енергетика – одна з найперспективніших і найдинамічніших галузей сучасної відновлюваної енергетики. В Україні існують достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що потрапляє на 1 м² поверхні, на території України перебуває в межах від 1070 кВт·год/м² в її північній частині до 1400 кВт·год/м² і вище на півдні України. Розподіл основних кліматичних показників такий: радіаційний режим території характеризується зміною тривалості сонячного сяйва в середньому за рік від 1690–1850 год у західних районах Полісся та Лісостепу до 2150–2450 год у Криму та на узбережжях Чорного й Азовського морів. Кількість сумарної радіації – енергії, що потенційно може бути використана на формування всіх природних процесів, – перебуває в межах від 1064,9 кВт·год/м² на рік на заході (Прикарпаття) до 1551,7 кВт·год/м² на півдні Кримського півострова. Величини середніх річних значень радіаційного балансу, тобто сонячної енергії, засвоєної діяльним шаром земної поверхні, змінюються по території від 330 кВт год/м² на Волині до 580 кВт·год/м² на узбережжях Чорного й Азовського морів і в Криму. За даними [1] для обласних центрів України було побудовано карту розподілу по всій території України.

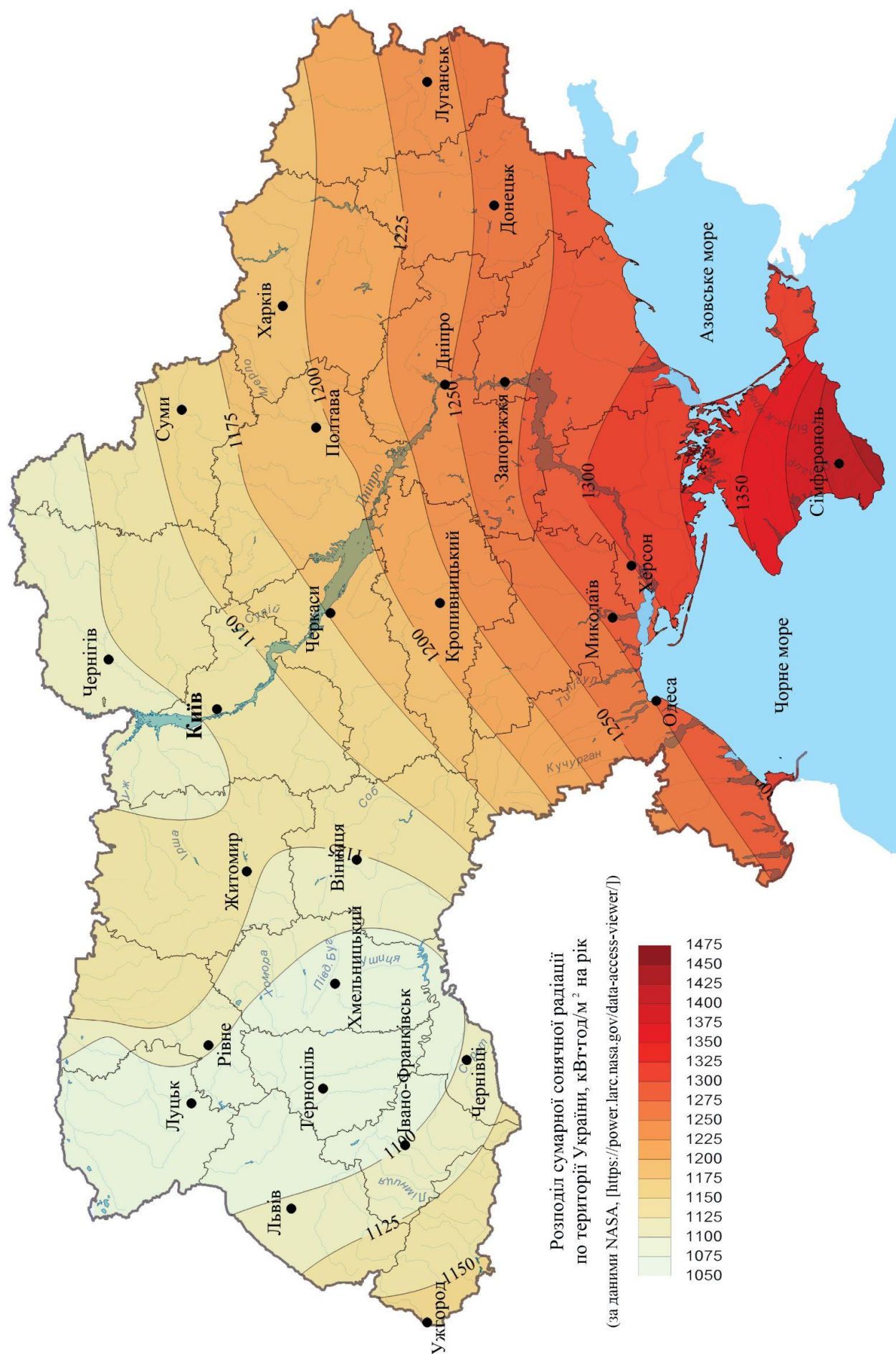
Для розрахунку потенціалу потужності встановлення СЕС використовуються не лише показники надходження сонячної радіації, а також доступна площа для будівництва станцій [2] та коефіцієнт потужності СЕС, який залежить від типу та розташування фотоелектричних панелей, відстані між рядами панелей тощо. За результатами наукових досліджень, потенціал потужності встановлення сонячних панелей становить 2449 тис. МВт, а потенціал річної сонячної електрогенерації СЕС в Україні становить близько 3082 млрд кВт·год/рік (табл. 1.1).

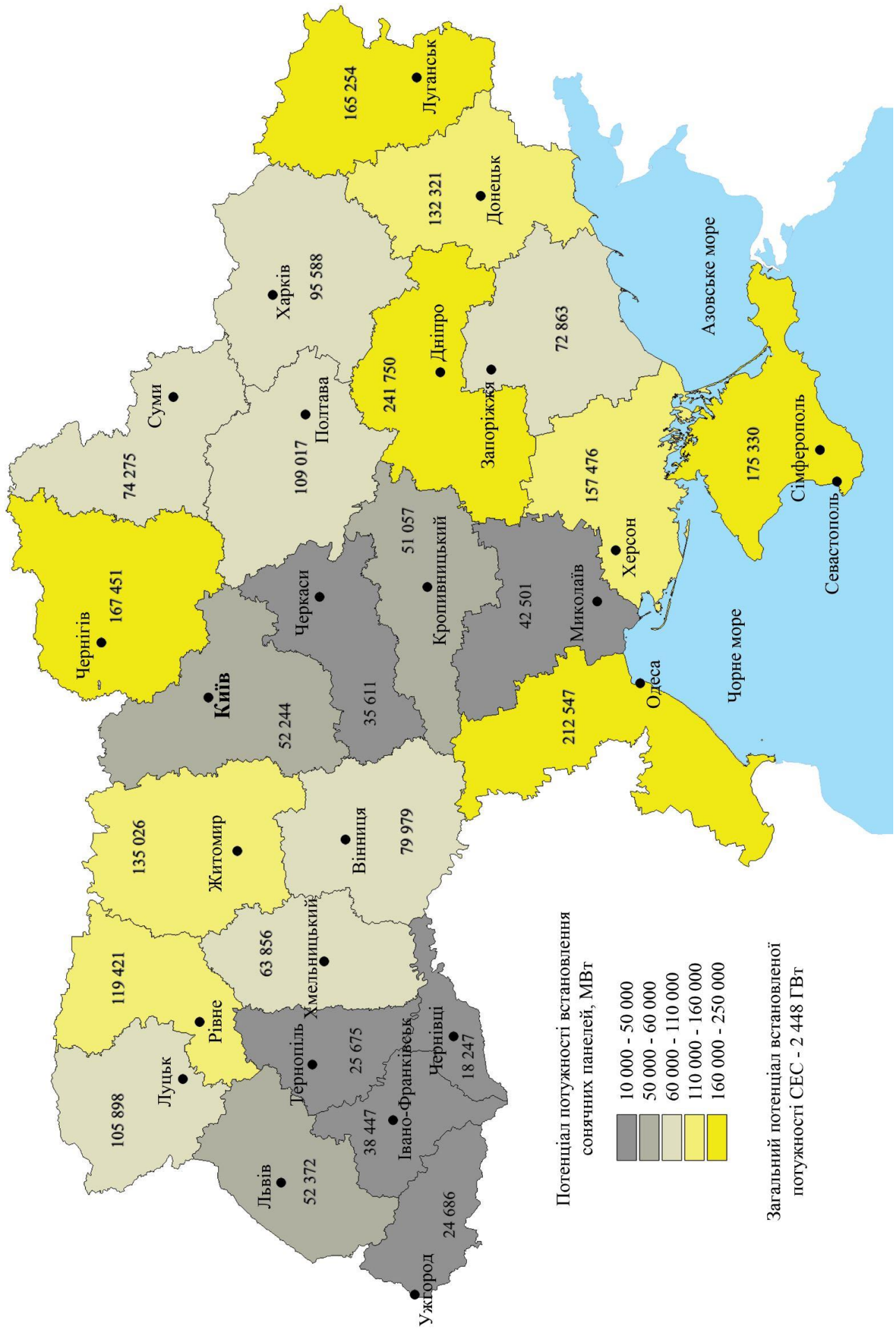
Перелік посилань:

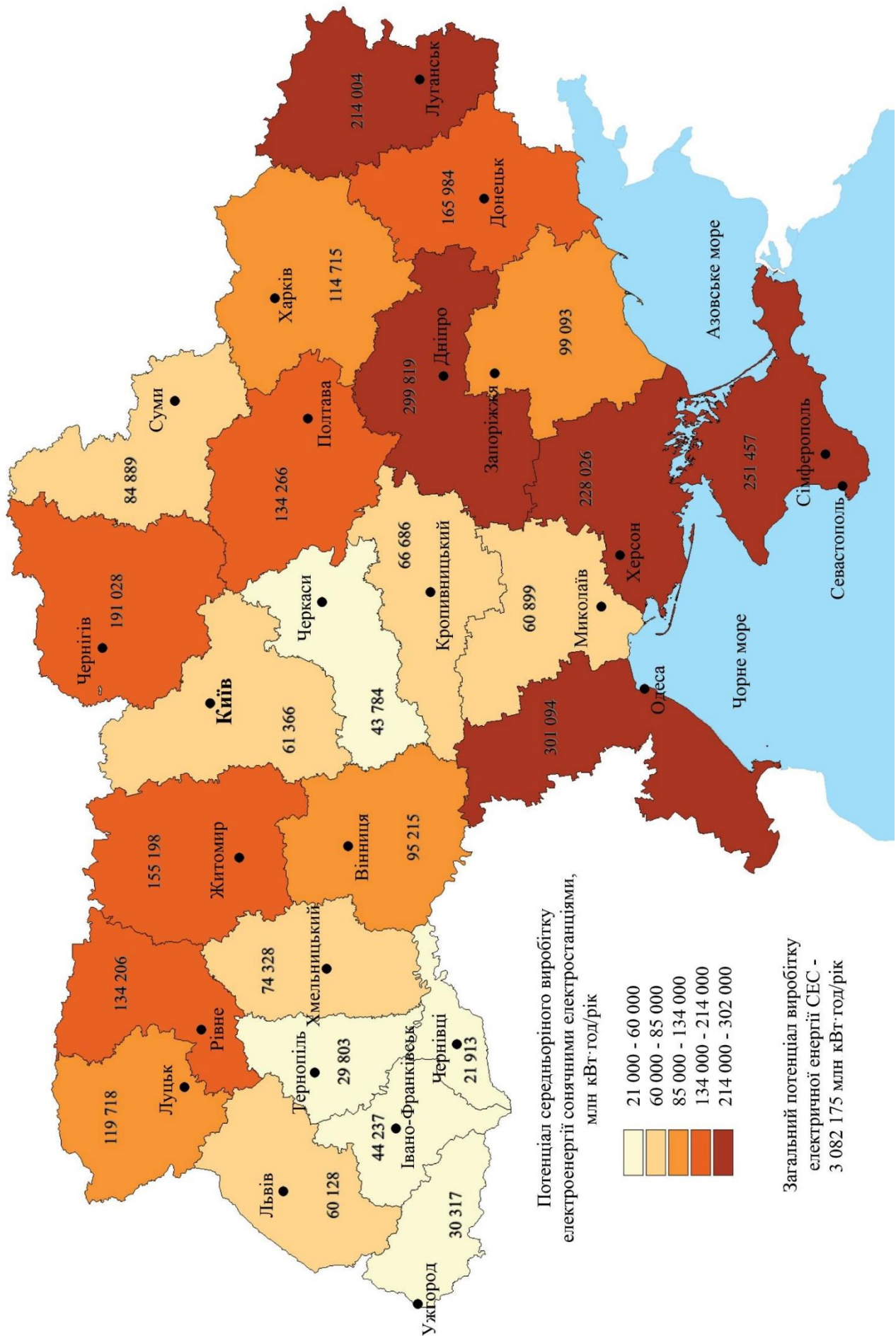
1. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
2. Дані паспортів областей України [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/>

Таблиця 1.1. Теоретично встановлена потужність та потенціал середньорічного виробітку електричної енергії СЕС в Україні

№	Область	Площа, теоретично доступна для монтажу ФЕМ, тис. км ²	% площі області	Теоретично досяжна площа встановлених ФЕМ, тис. км ² ФЕМ	Теоретично досяжна потужність встановлення сонячних панелей, МВт	Теоретично досяжна річна сонячна генерація, млн кВт·год
1	АР Крим	1,90269	7,29	0,88	175 330	251 458
2	Вінницька	1,0335	3,9	0,40	79 979	95 215
3	Волинська	1,4271	7,1	0,53	105 898	119 718
4	Дніпропетровська	3,003672	9,41	1,21	241 750	299 819
5	Донецька	1,644054	6,2	0,66	132 321	165 984
6	Житомирська	1,81963	6,1	0,68	135 026	155 198
7	Закарпатська	0,30672	2,4	0,12	24 686	30 317
8	Запорізька	0,872544	3,2	0,36	72 863	99 093
9	Івано-Франківська	0,477696	3,43	0,19	38 447	44 237
10	Київська	0,70405	2,5	0,26	52 244	61 366
11	Кіровоградська	0,63437	2,58	0,26	51 057	66 686
12	Луганська	2,05323	7,69	0,83	165 254	214 004
13	Львівська	0,676761	3,1	0,26	52 372	60 128
14	Миколаївська	0,4916	2	0,21	42 501	60 899
15	Одеська	2,458499	7,38	1,06	212 547	301 094
16	Полтавська	1,40875	4,9	0,55	109 018	134 266
17	Рівненська	1,483774	7,4	0,60	119 421	134 206
18	Сумська	1,000944	4,2	0,37	74 275	84 889
19	Тернопільська	0,331776	2,4	0,13	25 675	29 803
20	Харківська	1,288159	4,1	0,48	95 588	114 715
21	Херсонська	1,821504	6,4	0,79	157 476	228 026
22	Хмельницька	0,82516	4	0,32	63 856	74 328
23	Черкаська	0,460174	2,2	0,18	35 611	43 784
24	Чернівецька	0,226716	2,8	0,09	18 247	21 913
25	Чернігівська	2,3606	7,4	0,84	167 451	191 028
Всього		30,71367		12,24	2 448 894	3 082 175







2. ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ

Україна має потужні ресурси вітрової енергії. Розподіл потенціалу енергії вітру по території є доволі нерівномірним і залежить насамперед від:

- розподілу швидкості та напрямку вітру біля земної поверхні;
- вертикального профілю вітру, що зумовлений типом підстильної поверхні (параметром вертикального профілю вітру, α);
- рельєфу підстильної поверхні та відстані до великих водойм.

Аналіз багаторічної динаміки середньорічної швидкості вітру за період 2011–2020 рр. на 70 метеорологічних станціях (МС), дані спостережень яких були визнані валідними [1], показав, що середня багаторічна швидкість вітру на території України змінюється від 1,8 до 5,3 м/с на висоті флюгера (≈ 10 м) і в середньому становить 3,1 м/с. Для акваторії України (виключної морської економічної зони) середня швидкість вітру за 10 років на висоті 10 м за даними реаналізу [2] становить 5,6 м/с.

Найвищі швидкості вітру є характерними для Приазовської височини, Причорноморської низовини, Кримських та Карпатських гір, Подільської, Придніпровської та Донецької височин. Західні вітри є переважними для західних, центральних та північних областей, тоді як для східних та південних областей і Автономної Республіки Крим переважними є східні та північні вітри.

Потужність вітрового потоку на території України та в акваторіях Чорного й Азовського морів на висоті 10 м за середніми багаторічними даними змінюється від 12 до 291 Вт/м², а на висоті 100 м – від 65 до 1866 Вт/м².

Впродовж останніх десятиліть технології GIS є загальноприйнятим і практично обов'язковим інструментом, який застосовується під час виконання оцінки географічного і технічного потенціалів вітроенергетичних ресурсів регіону [3–9].

Для оцінки географічного вітроенергетичного потенціалу території та акваторії України для кожної з областей та акваторії морів у геоінформаційному програмному продукті ArcGIS було проведено аналіз площ, доступних для будівництва вітрових електричних станцій (ВЕС). Для вирішення цієї задачі з загальної площі регіону потрібно вилучити площі об'єктів та їх буферних зон, на території яких існують обмеження на будівництво ВЕС відповідно до законодавства України [10–18]. Перелік таких обмежень та їх буферних зон для суходолу наведено в табл. 2.1.

Для оцінки площі акваторії, придатної для розміщення офшорних вітрових електричних установок (ВЕУ), із загальної площі акваторії необхідно вилучити площі об'єктів, що не можуть бути використані, включно з буферними зонами навколо них:

- відступ від берегової лінії на відстані 10 км;
- об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ), розташування яких прийнято відповідно до [19] та [20].
- основні морські транспортні шляхи з шириною коридору 5 км, відповідно до [9].

Площі, доступні для будівництва ВЕС, для кожної з областей та ділянок акваторії наведені в табл. 2. і 2.3.

Таблиця 2.1. Об'єкти, що обмежують доступну територію України для розміщення ВЕУ

Назва об'єкта	Буферна зона
Ухили рельєфу, більші за 30°	-
Абсолютні висоти понад 1900 м	-
Малі річки, струмки, ставки	25 м
Великі річки, озера, водосховища	500 м
Об'єкти природо-заповідного фонду	500 м
Ліси	500 м
Торф'яні родовища	-
Населені пункти	1 км
Автомобільні дороги	60 м
Залізниці	500 м
Лінії електропередачі	250 м
Аеропорти	15 км
Державний кордон України	5 км

За результатами розрахунків:

- майже 22 % території суходолу України (132 372 км²) потенційно могли б бути використані під будівництво ВЕС. При застосуванні обмеження КВНП $\geq$ 0,2 (коефіцієнт використання номінальної потужності) цей відсоток зменшується до 14,4 % (95 954 км²), а площа придатних територій з КВНП $\geq$ 0,25 становить лише 8,2 % (51 884 км²);
- найбільше придатних для будівництва ВЕС площ (при КВНП $\geq$ 0,25) є в Херсонській (31 %), Миколаївській (22 %) та Донецькій (19 %) областях, найменше – в Сумській, Чернігівській, Львівській та Івано-Франківській;
- в акваторії Азовського моря (S1) для розташування об'єктів вітрової енергетики на фіксованих фундаментах доступно 3285 км² з глибинами до 15 м;
- в акваторії Чорного моря (S2+S3+S4+S5) для розташування об'єктів вітрової енергетики на фіксованих фундаментах доступно 12 412 км² з глибинами до 50 м;
- в акваторії Чорного моря (S6+S7+S8) для розташування об'єктів вітрової енергетики на плавучих фундаментах доступно 13 038 км² з глибинами від 50 до 100 м;
- в акваторії Чорного моря (S9) для розташування об'єктів вітрової енергетики на плавучих фундаментах доступно 1338 км² з глибинами від 100 до 200 м;
 - виключна морська економічна зона України в межах акваторії Чорного моря (S10+S11+S12+S13+S14) – 49 776 км² з глибиною морського дна понад 200 м. В межах цього дослідження акваторія з глибинами понад 200 м не враховувалась.

Таблиця 2.2. Географічний потенціал території України

№	Область	Площа області, км ²	Географічний потенціал будівництва ВЕС, км ²	Частка площ фічного потенціалу будівництва ВЕС, %	Площі в межах географічного потенціалу з КВНП≥0,2, км ²	Частка площ географічного потенціалу з КВНП≥0,2, %	Площі в межах географічного потенціалу з КВНП≥0,25, км ²	Частка площ географічного потенціалу з КВНП≥0,25, км ²
1	Автономна Республіка Крим	27 064	6335	23,4	6234	23,0	4424	16,3
2	Вінницька	26 513	5724	21,6	3613	13,6	2871	10,8
3	Волинська	20 144	841	4,2	96	0,5	96	0,5
4	Дніпропетровська	31 914	9288	29,1	6933	21,7	927	2,9
5	Донецька	26 517	7758	29,3	7675	28,9	5125	19,3
6	Житомирська	29 832	2611	8,8	1230	4,1	1230	4,1
7	Закарпатська	12 777	252	2,0	91	0,7	91	0,7
8	Запорізька	27 180	12 461	45,8	11 828	43,5	3659	13,5
9	Івано-Франківська	13 900	260	1,9	259	1,9	31	0,2
10	Київська	28 970	3967	13,7	1769	6,1	1769	6,1
11	Кіровоградська	24 588	8425	34,3	5039	20,5	3724	15,1
12	Луганська	26 684	4847	18,2	1597	6,0	1597	6,0
13	Львівська	21 833	838	3,8	53	0,2	13	0,1
14	Миколаївська	24 598	10 831	44,0	8937	36,3	5390	21,9
15	Одеська	33 310	10 730	32,2	8295	24,9	2548	7,6
16	Полтавська	28 748	6889	24,0	6382	22,2	332	1,2
17	Рівненська	20 047	653	3,3	224	1,1	224	1,1
18	Сумська	23 834	3303	13,9	389	1,6	0	0,0
19	Тернопільська	13 823	2333	16,9	2201	15,9	2136	15,5
20	Харківська	31 415	9209	29,3	7708	24,5	3405	10,8
21	Херсонська	28 461	12 230	43,0	9577	33,6	8742	30,7
22	Хмельницька	20 645	3168	15,3	1730	8,4	1730	8,4
23	Черкаська	20 900	4033	19,3	2224	10,6	1514	7,2
24	Чернівецька	8097	686	8,5	324	4,0	305	3,8
25	Чернігівська	31 865	4702	14,8	1546	4,9	1	0,0
	Сумарна площа	603 659	132 372		95 954		51 884	
	Середній відсоток			21,9		14,4		8,2

Таблиця 2.3. Географічний потенціал акваторії України

	Полігон	Площа полігону, км ²	Акваторія моря	Глибина, м	Тип інсталяції ВЕУ
1	S1	3285	Азовське	< 15 м	Фіксований
2	S2	1265	Чорне	15...30 м	Фіксований
3	S3	3090	Чорне	15...30 м	Фіксований
4	S4	7773	Чорне	20...50 м	Фіксований
5	S5	284	Чорне	20...50 м	Фіксований
6	S6	2700	Чорне	50...100 м	Плавучий
7	S7	3674	Чорне	50...100 м	Плавучий
8	S8	6664	Чорне	50...100 м	Плавучий
9	S9	1338	Чорне	100...200 м	Плавучий
10	S10*	3 963	Чорне	200...1000 м	Плавучий
11	S11**	4 391	Чорне	1000...2000 м	Плавучий (Спец.)
12	S12**	11 596	Чорне	1000...2000 м	Плавучий (Спец.)
13	S13**	4 931	Чорне	1000...2000 м	Плавучий (Спец.)
14	S14***	24 895	Чорне	>2000 м	Особливий

* наразі вважається економічно недоцільним облаштування фундаментів плавучого типу (Floating) для глибин від 200 до 1000 м;

** облаштування фундаментів плавучого типу для глибин від 1000 до 2000 м потребує особливих умов проектування та використання спеціальних матеріалів;

*** облаштування фундаментів для глибин, що перевищують 2000 м в межах цього дослідження не враховувалась.

Для оцінки технічного потенціалу вітроенергетичних ресурсів застосовували такі параметри:

- Параметр моделі вертикального профілю вітру α був розрахований на базі даних реаналізу [1] для висот 10 та 50 м. Цей параметр змінюється від 0,1 до 0,28 для суходолу та від 0,05 до 0,15 для акваторії.
- КВНП – був розрахований з використанням кривої потужності ВЕУ 6 МВт класу з діаметром вітроколеса 162 м і висотою осі ротора 120 м для суходолу та ВЕУ 9,5 МВт з діаметром вітроколеса 164 м і висотою осі ротора 105 м для акваторії. Для розрахунку технічного потенціалу встановленої потужності та середньорічного виробітку ВЕС було проведено обмеження територій за показником КВНП 0,2 та 0,25 та закладено 15 % на втрати потужності.
- Характеристики вітрового режиму території визначалися через побудову діаграми Вороного для 70 МС України та 20 віртуальних точок з рівномірним кроком для акваторії.
- Для оцінки потенціалу встановленої потужності ВЕУ на суходолі було використано такі схеми розстановки ВЕУ (d – діаметр вітроколеса ВЕУ):
 - ✓ $3d \times 8d$ – для суходолу за наявності переважного напрямку вітру на МС, щільність розстановки 1,59 ВЕУ/км², щільність потужності 8,89 МВт/км²;
 - ✓ $5d \times 6d$ – для суходолу за відсутності переважного напрямку вітру на МС, щільність розстановки 1,27 ВЕУ/км², щільність потужності 7,11 МВт/км² [21];
 - ✓ $10d \times 10d$ – для акваторії, тобто щільність розстановки 0,37 ВЕУ/км², щільність потужності становить 3,5 МВт/км², що є стандартною щільністю для офшорних ВЕУ [22].

Результати розрахунків наведено в табл. 2.4.

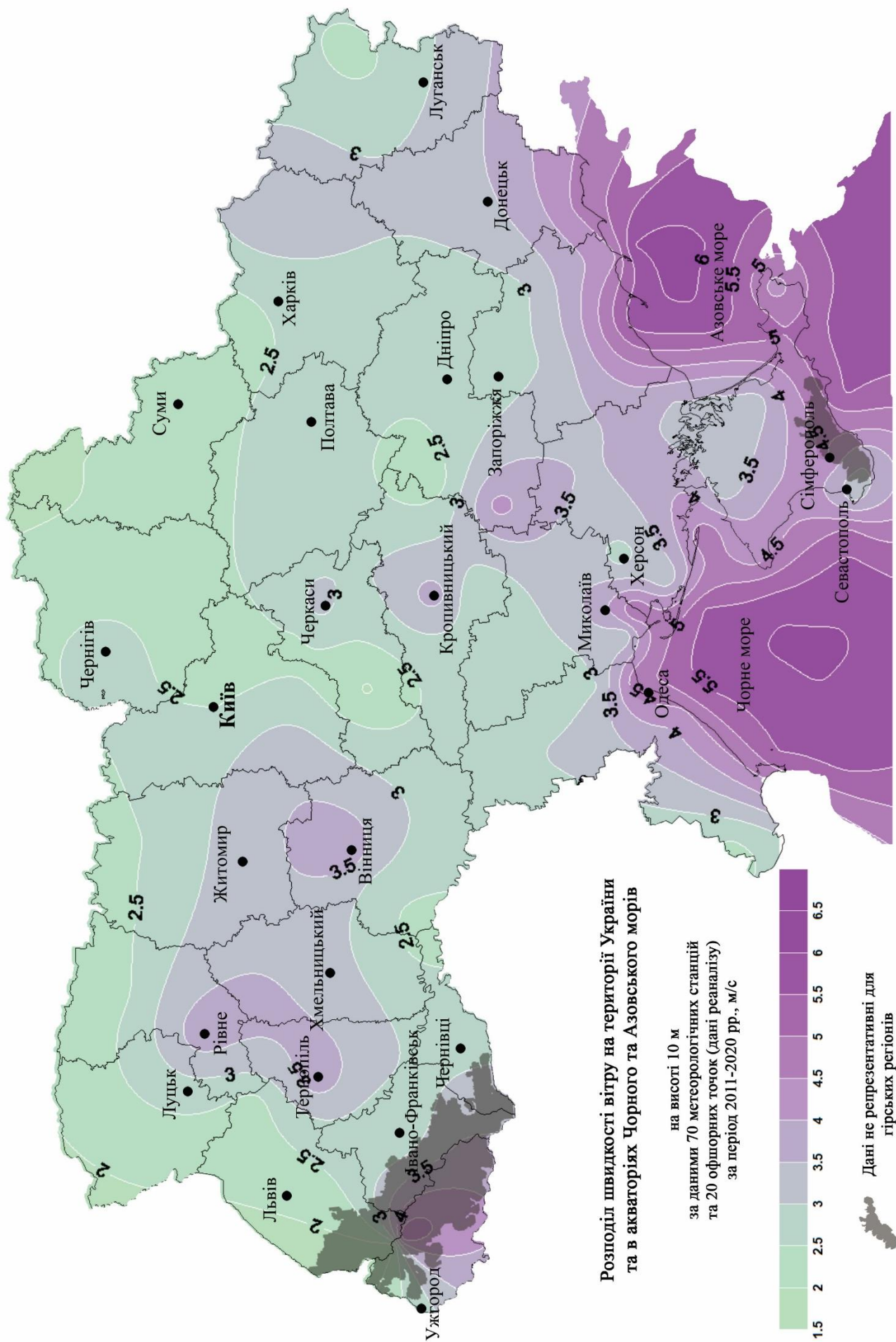
Таблиця 2.4. Потенціали встановленої потужності та середньорічного виробітку електричної енергії ВЕС на території та в акваторії України

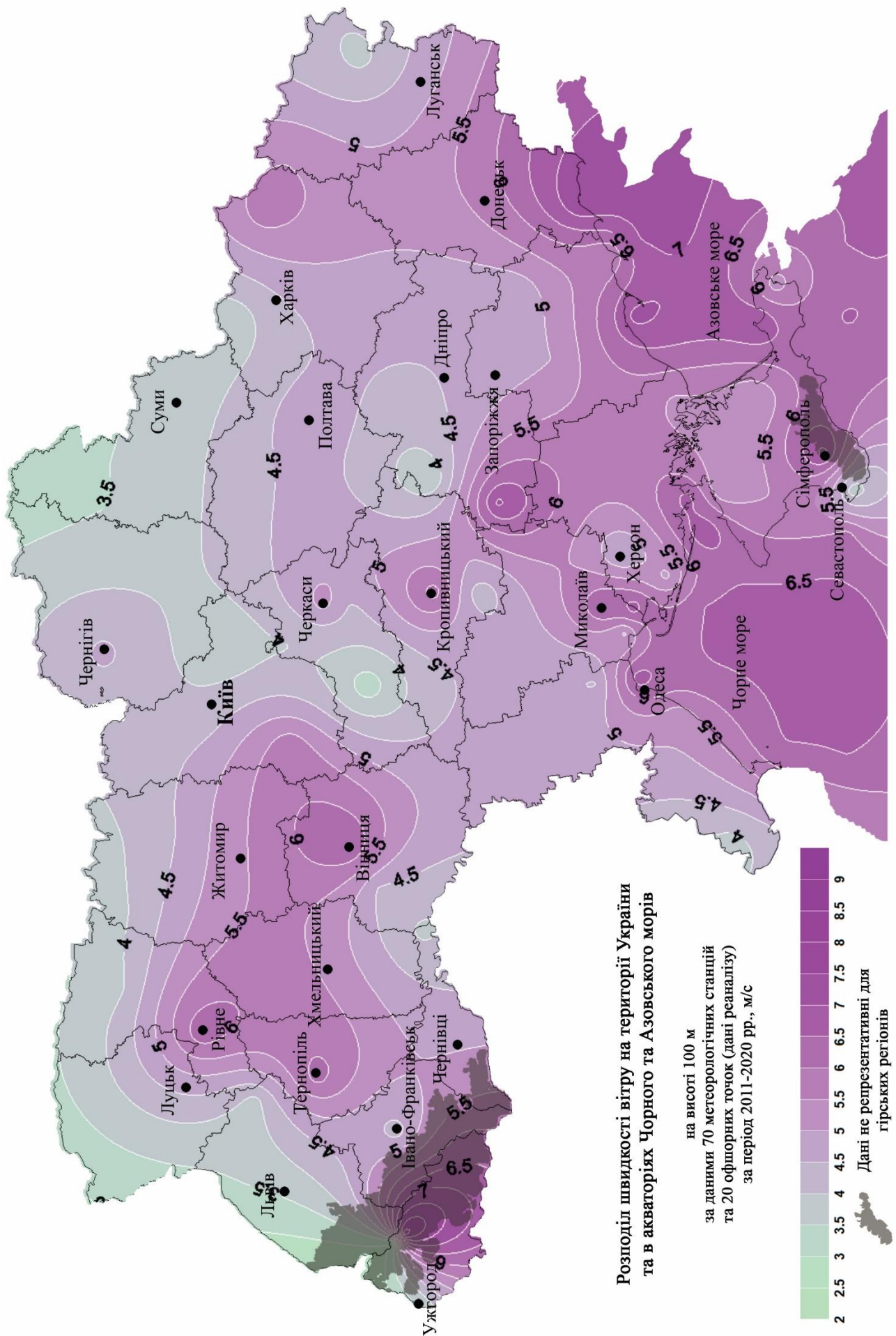
№	Область	Потенціал встановленої потужності КВНП $\geq$ 20 %, МВт	Потенціал виробітку КВНП $\geq$ 20 %, 15 % втрат, млн кВт·год/рік	Потенціал встановленої потужності КВНП $\geq$ 0,25, МВт	Потенціал виробітку КВНП $\geq$ 0,25, 15 % втрат, млн кВт·год/рік
1	Автономна Республіка Крим	51 852	115 004	38 944	91 618
2	Вінницька	25 687	69 597	20 410	60 585
3	Волинська	852	2400	852	2400
4	Дніпропетровська	49 293	96 352	6588	20 472
5	Донецька	61 705	167 692	43 575	135 575
6	Житомирська	8742	24 377	8742	24 377
7	Закарпатська	812	2762	812	2762
8	Запорізька	88 295	172 634	30 210	68 341
9	Івано-Франківська	2305	4182	279	808
10	Київська	12 574	31 565	12 574	31 565
11	Кіровоградська	35 824	85 444	26 480	70 196
12	Луганська	11 353	25 417	11 353	25 417
13	Львівська	469	986	118	401
14	Миколаївська	68 600	149 416	41 928	105 440
15	Одеська	67 681	125 651	22 620	50 364
16	Полтавська	45 373	77 815	2363	4890
17	Рівненська	1991	5591	1991	5591
18	Сумська	2764	4696	0	0
19	Тернопільська	19 567	54 030	18 991	53 070
20	Харківська	54 801	115 789	24 207	60 710
21	Херсонська	70 760	171 113	64 820	160 655
22	Хмельницька	15 379	34 148	15 379	34 148
23	Черкаська	15 813	31 498	10 762	23 581
24	Чернівецька	2882	7931	2713	7649
25	Чернігівська	10 990	18 658	9	19
Загалом для суходолу		726 365	1 594 749	406 721	1 040 634
26	Полігон S1	11 498	25 450	11 498	25 451
27	Полігон S2	4428	8191	4428	8191
28	Полігон S3	10815	20234	10815	20 234
29	Полігон S4	27 206	54 099	27 206	54 099
30	Полігон S5	994	1992	994	1992
31	Полігон S6	9450	18 654	8194	16 369
32	Полігон S7	12 859	23 487	5117	10 283
33	Полігон S8	23 324	46 862	23 324	46 862
34	Полігон S9	4683	8018	102	204
Загалом для акваторії		105 256	206 989	91 676	183 685
Разом		831 621	1 801 738	498 397	1 224 319

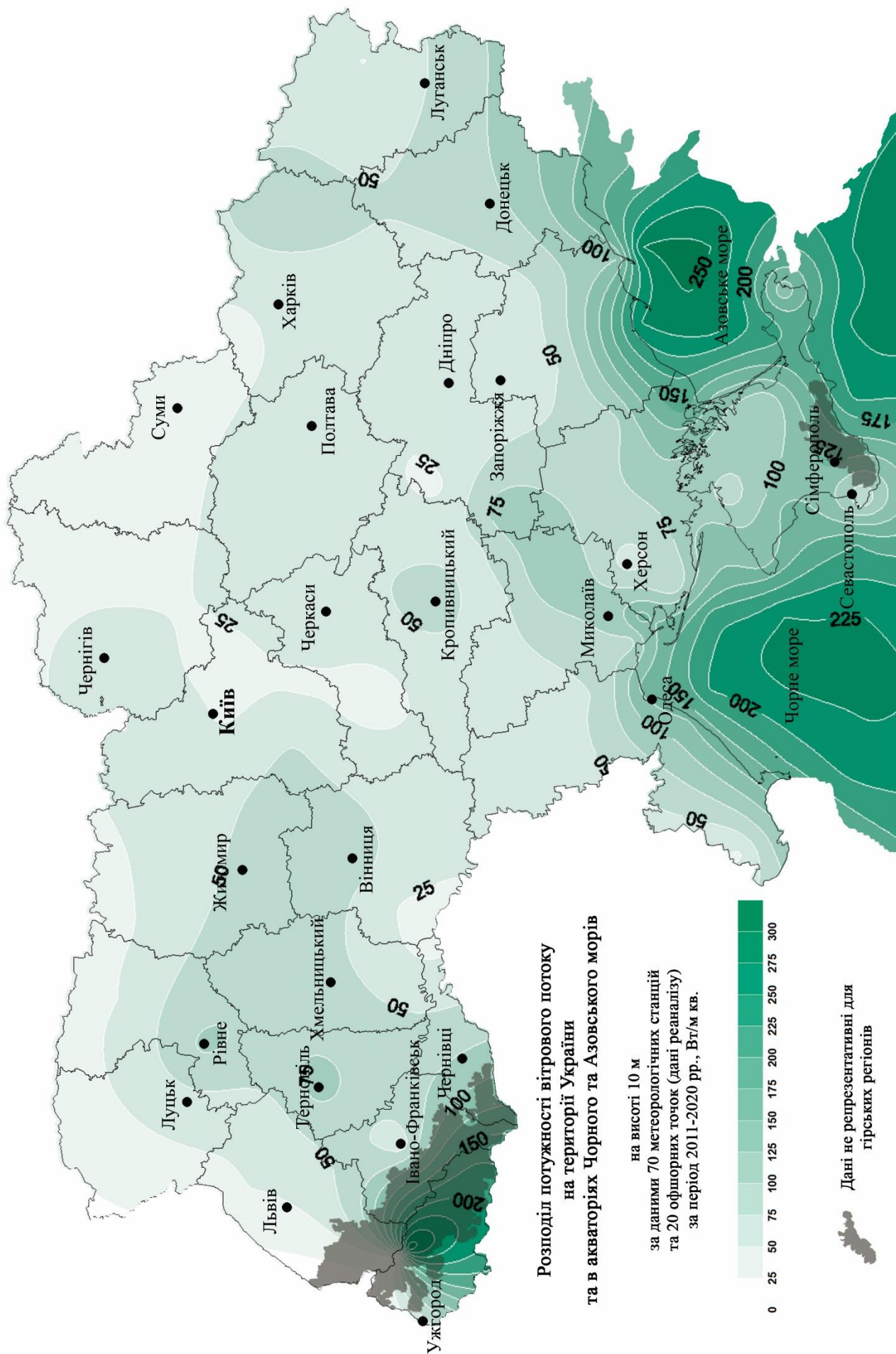
Перелік посилань:

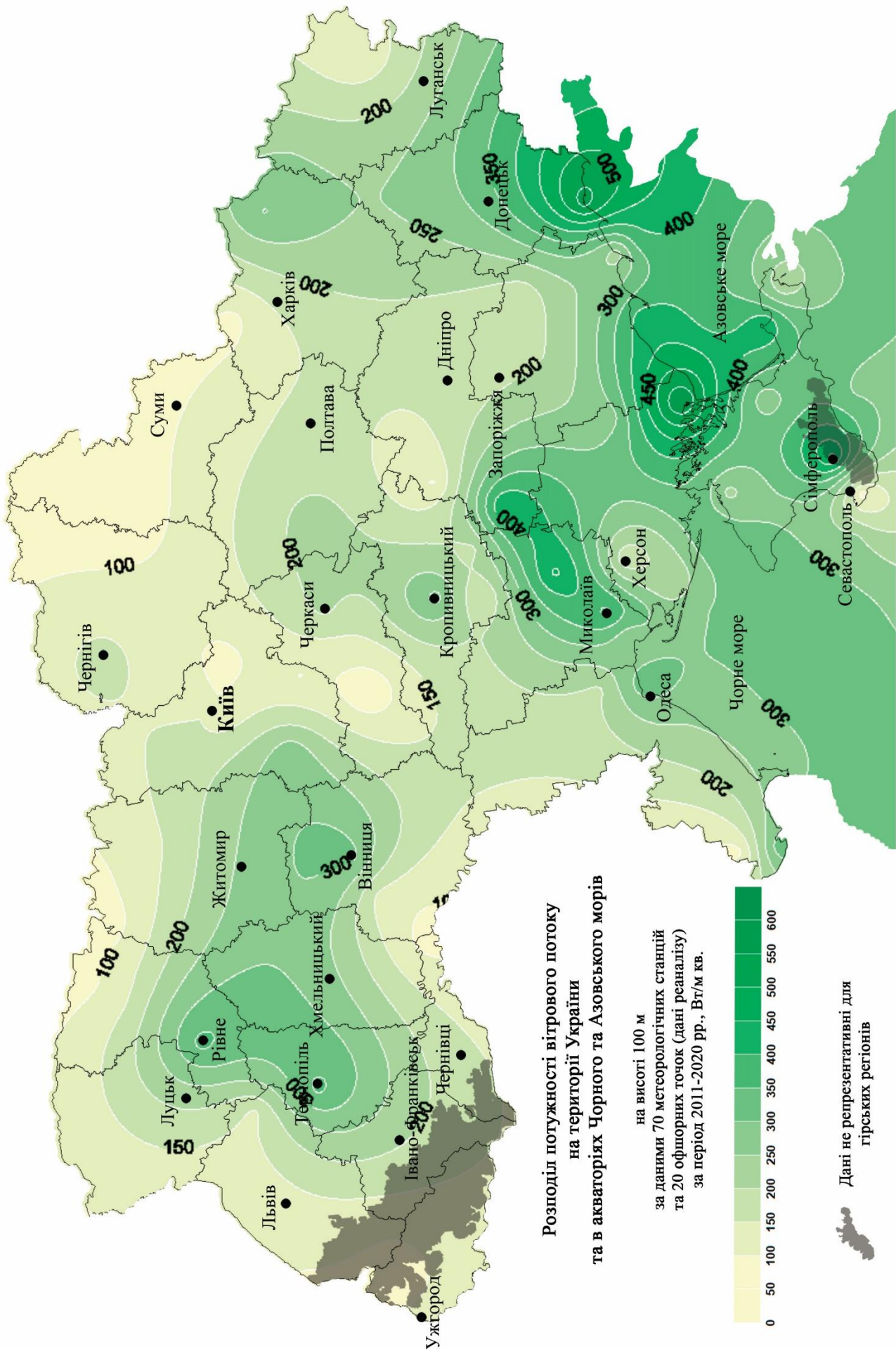
1. Вітроенергетика / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2023. 135 с.
2. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
3. Estimating the Renewable Energy Potential in Africa: A GIS-based approach. IRENA 2014 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/IRENA_Africa_Resource_Potential_Aug2014.pdf
4. Yildiz, S. S. Determining Wind Energy Potential Using Geographic Information System Functions: A Case Study in Balıkesir, Turkey. Appl. Sci. 2023, 13, 9183. <https://doi.org/10.3390/app13169183>
5. Europe's onshore and offshore wind energy potential An assessment of environmental and economic constraints, EEA Technical report No 6/2009 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-onshore-and-offshore-wind-energy-potential>
6. GOING GLOBAL Expanding Offshore Wind to Emerging Markets OCTOBER 2019 2009 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf>
7. Lu, X., McElroy, M. B., & Kiviluoma, J. (2009). Global potential for wind-generated electricity. Proceedings of the National Academy of Sciences, PNAS July 7, 2009. Vol. 106. No. 27. 10933–10938. doi:10.1073/pnas.0904101106
8. Bosch, J., Staffell, I., & Hawkes, A. D. (2017). Temporally-explicit and spatially-resolved global onshore wind energy potentials. Energy, 131, 207–217. doi:10.1016/j.energy.2017.05.052
9. McKenna, Russell, et al. "High-resolution large-scale onshore wind energy assessments: A review of potential definitions, methodologies and future research needs." Renewable Energy 182 (2022): 659–684.
10. ВОДНИЙ КОДЕКС УКРАЇНИ [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
11. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#top>
12. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень ДБН 360-92. П.7.8. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/08/DBN-360-92.pdf>
13. Планування та забудова територій ДБН-Б22-12-2019 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/07/DBN-B22-12-2019.pdf>
14. Про затвердження Порядку створення охоронних зон для збереження біорізноманіття у лісах та Порядку створення охоронних зон для збереження об'єктів Червоної книги України [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/499-2023-%D0%BF#Text>
15. ЛІСОВИЙ КОДЕКС УКРАЇНИ [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>
16. ЗАКОН УКРАЇНИ Про державний кордон України, Стаття 22 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-12#Text>

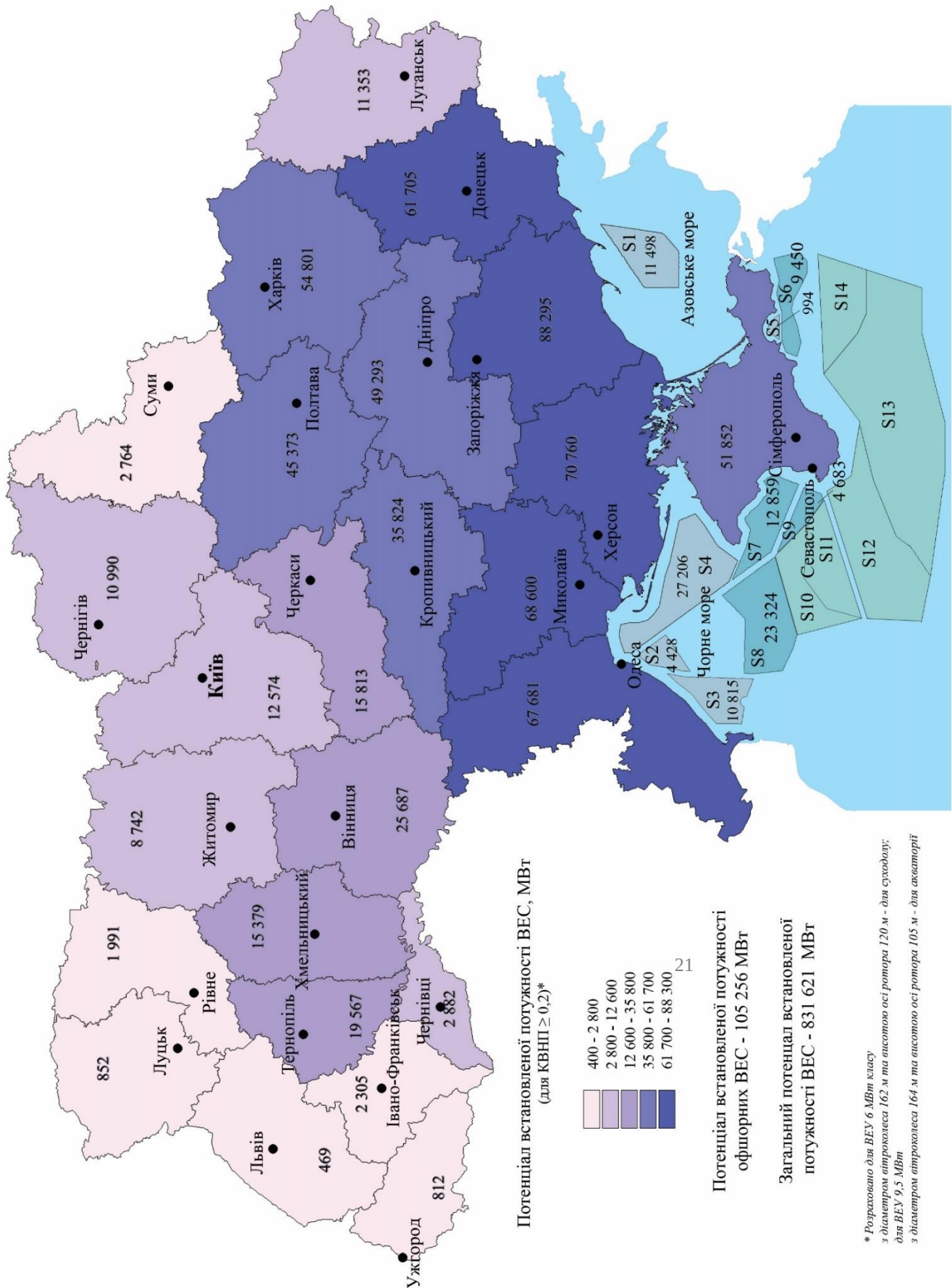
17. ЗАКОН УКРАЇНИ Про охорону культурної спадщини. Стаття 14 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>
18. СЕРТИФІКАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО ЦИВІЛЬНИХ АЕРОДРОМІВ УКРАЇНИ. Наказ Державіаслужби від 17.03.2006 № 201 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2017/04/Sertifikatsijni-vimogi-do-tsivilnih-aerodromiv.pdf>
19. Відкриті дані земельного кадастру України [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://kadastr.live/>
20. The Emerald Network Viewer [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.coe.int/en/web/bern-convention/emerald-viewer>
21. ГКД 341.003.001.002-2000. Правила проектування вітрових електричних станцій / Жовмір М. М., Симонов А. С. та інші. Строк перевірки 2004 р. Київ: Мінпаливоенерго України, 2001. 52 с.
22. Elsner, P. (2019). Continental-scale assessment of the African offshore wind energy potential: Spatial analysis of an under-appreciated renewable energy resource. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 394–407. doi:10.1016/j.rser.2019.01.034

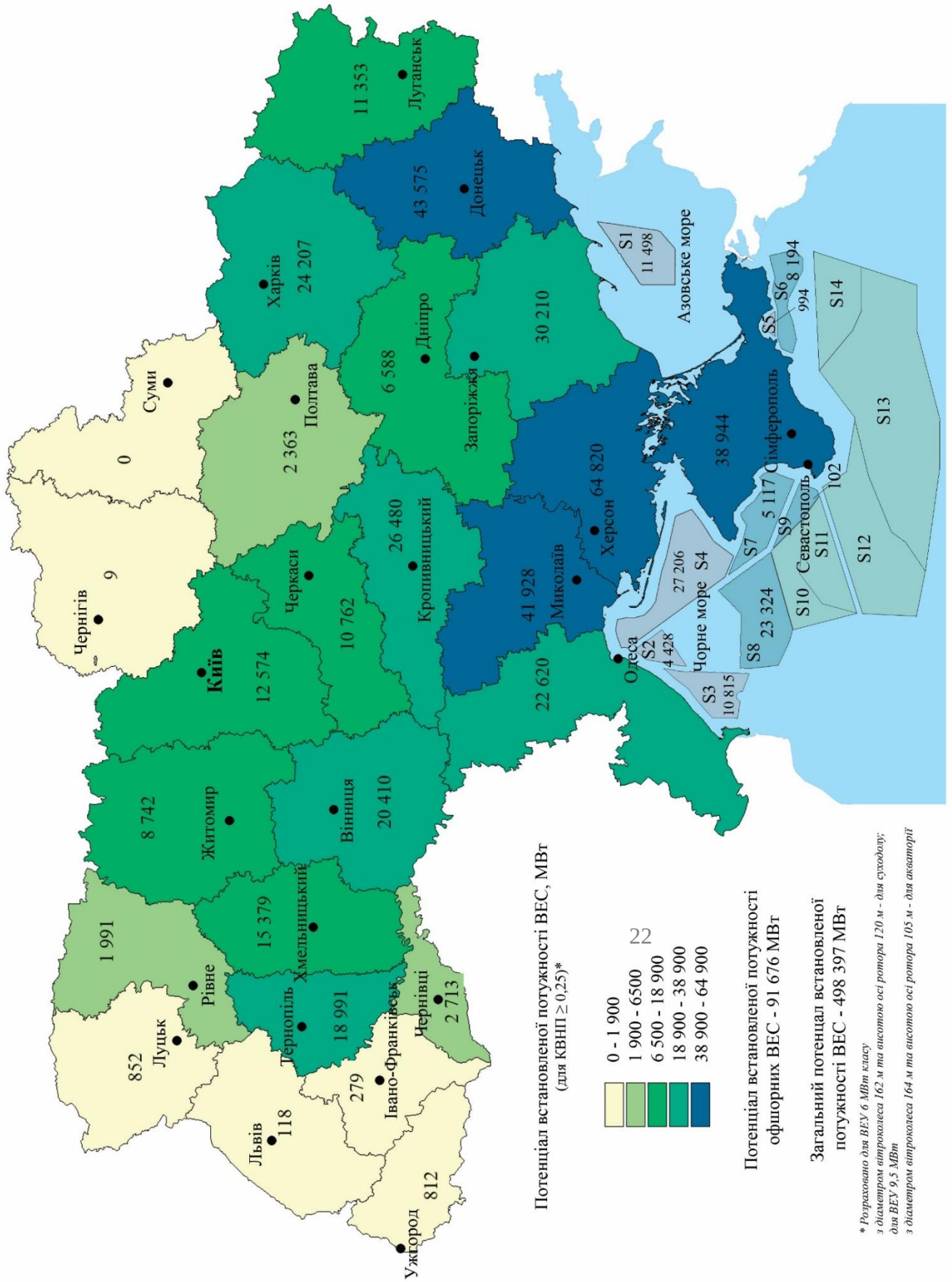


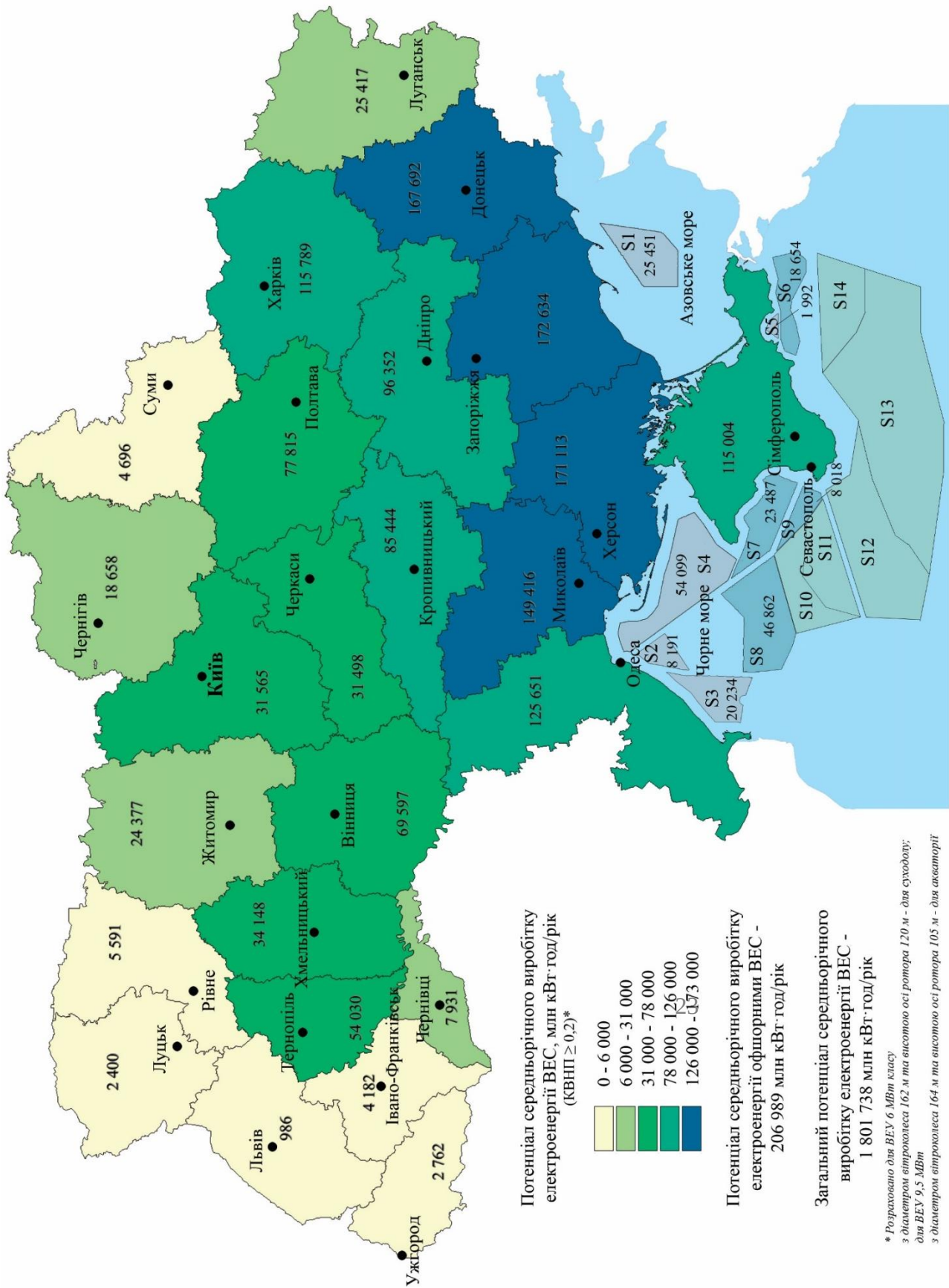


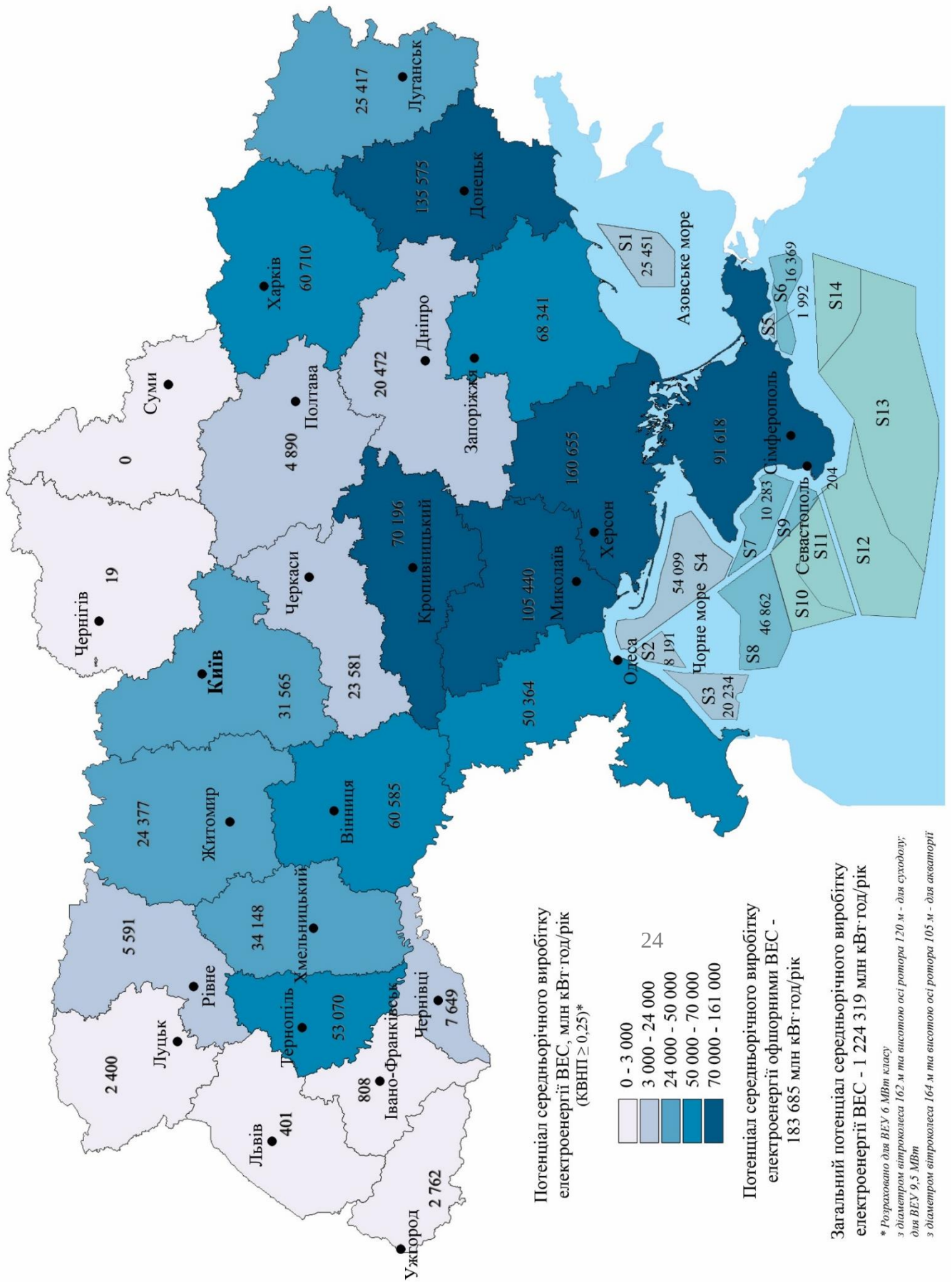












3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МАЛИХ РІЧОК

Гідроенергетика належить до освоєних способів виробництва електроенергії без використання викопного органічного та ядерного палива, має досить прогнозований відновлюваний енергоресурс, найменшу собівартість серед традиційних та більшості нетрадиційних технологій, унікальні маневрові та мобільні властивості, характеризується значним експлуатаційним ресурсом. Виробництво електроенергії на гідроелектростанції (ГЕС) відбувається без споживання робочого тіла, тобто води. Вода з верхнього водосховища тече через гідротурбіну до русла річки без зміни свого об'єму. Технологічні втрати води в процесі виробництва електроенергії на ГЕС відсутні.

Згідно з Законом України № 601-VI до малих гідроелектричних станцій (ГЕС) відносять станції, що виробляють електричну енергію внаслідок перетворення механічної енергії потоку води на електроенергію, встановлена потужність яких не перевищує 10 МВт.

Гідроелектростанції впливають на економічний та соціальний розвиток прилеглих територій завдяки створенню умов для водопостачання населених пунктів і господарств, судноплавства, рекреації, риборозведення, зрошення. Розвиток малої гідроенергетики сприяє зменшенню паливної складової енергосистеми, зниженню техногенного навантаження на навколишнє середовище та залученню додаткових інвестицій до місцевих бюджетів. Будівництво каскадів малих ГЕС надає можливість ефективного перетворення гідроенергетичного потенціалу на електроенергію і участі в керованому захисті територій від повеней. Проєкти малих ГЕС повинні відповідати принципам дбайливого використання й охорони природних ресурсів.

Інститутом відновлюваної енергетики НАН України досліджувався технічний потенціал малої гідроенергетики країни з урахуванням чинної нормативно-правової бази в електроенергетичній та природоохоронній сферах. Природоохоронні обмеження на використання гідроенергетичного ресурсу річки були зведені до трьох типів:

- обмеження на використання території для спорудження гідроелектростанцій (національні природні парки, заповідники, пам'ятки природи, місця покладів корисних копалин та мінеральних вод, історико-культурні території, земельні ділянки спеціального призначення);
- обмеження на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС (санітарний попуск, безперервне функціонування рибоходів, межень, повені та паводки, оперативні заходи з регулювання водного потоку через гідроспоруди).
- обмеження на використання гідроенергетичних ресурсів малих річок за ухилом вертикального профілю, з метою унеможливлення затоплення значних територій у разі спорудження ГЕС.

Обмеження на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС урахувалися застосуванням імовірнісного підходу до визначення рівнів забезпеченості відповідних витрат води стоку річки, а обмеження на використання територій для будівництва станцій – відповідним вибором критеріїв екологічної цінності передбачуваних територій.

Для всіх гідрологічних зон на території країни були систематизовані характеристики стоку малих річок з урахуванням прийнятих обмежень. Розрахунки виконувались з використанням гідрологічної інформації по 273 пунктах виміру середньорічних витрат стоку малих річок, яка отримана від Центральної геофізичної обсерваторії Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ЦГО) за період спостережень 1950–2010 рр., та була доповнена іншими довідниковими даними. Загальна кількість гідрологічних пунктів – 320, а кількість досліджуваних річок становила 166 одиниць.

За результатами проведених досліджень технічний потенціал малих річок оцінено на рівні 1270 млн кВт·год/рік (близько 375 МВт встановленої потужності малих ГЕС). Розподіли потенціалу за гідрологічними зонами та за адміністративно-територіальним устроєм країни наведено нижче на ілюстраціях. Найбільшими значеннями технічного потенціалу характеризуються Закарпатська (35 %), Івано-Франківська (16 %), Львівська (12 %), Чернівецька (6 %), Вінницька (6 %) і Кіровоградська (4 %) областях. Найменші значення притаманні Одеській (0,37 %), Волинській (0,27 %) областям, АР Крим (0,25 %) та Херсонській (0,19 %), Чернігівській (0,15 %), Запорізькій (0,06 %) областям.

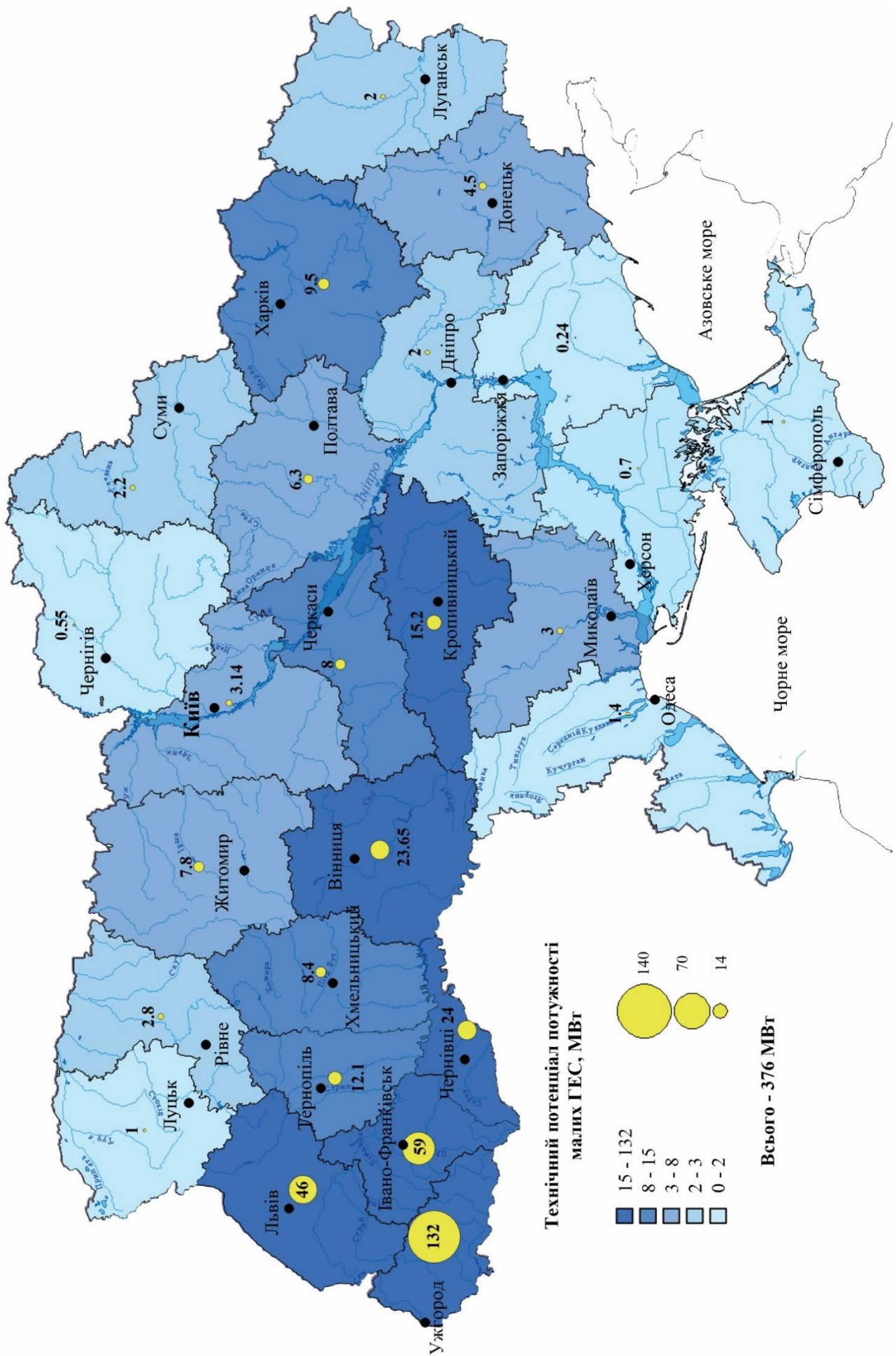
Станом на середину 2024 року в Україні перебувають в експлуатації 182 малі ГЕС загальною встановленою потужністю 122 МВт із середньорічним обсягом виробництва електроенергії близько 280 млн кВт·год/рік.

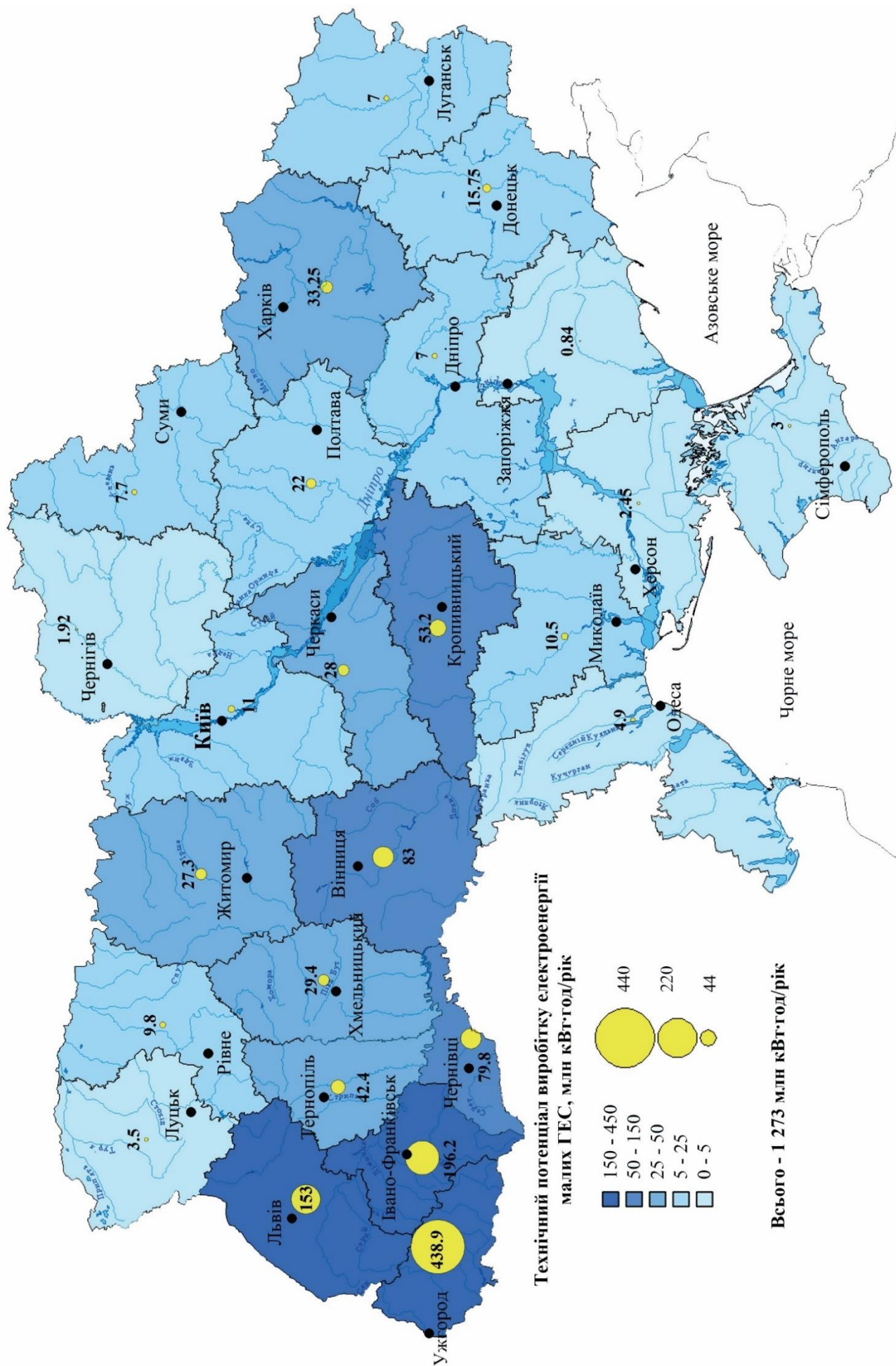


Рис. 3.1. Розподіл технічного потенціалу малої гідроенергетики за гідрологічними зонами

Таблиця 3.1. Потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок

№ з/п	Області	Технічний потенціал потужності малих ГЕС, МВт	Технічний потенціал виробітку електроенергії малих ГЕС, млн кВт·год/рік
1	АР Крим	0,95	3,26
2	Вінницька	23,65	82,78
3	Волинська	1	3,50
4	Дніпропетровська	2	7,00
5	Донецька	4,5	15,75
6	Житомирська	7,8	27,30
7	Закарпатська	132	438,90
8	Запорізька	0,24	0,84
9	Івано-Франківська	59	196,18
10	Київська	3,14	10,99
11	Кіровоградська	15,2	53,20
12	Луганська	2	7,00
13	Львівська	46	152,95
14	Миколаївська	3	10,50
15	Одеська	1,4	4,90
16	Полтавська	6,3	22,05
17	Рівненська	2,8	9,80
18	Сумська	2,2	7,70
19	Тернопільська	12,1	42,35
20	Харківська	9,5	33,25
21	Херсонська	0,7	2,45
22	Хмельницька	8,4	29,40
23	Черкаська	8	28,00
24	Чернівецька	24	79,80
25	Чернігівська	0,55	1,92
Всього		376	1273





4. ПОТЕНЦІАЛ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ

На відміну від інших відновлюваних джерел енергії темпи нарощування виробничих потужностей геотермальної енергетики в Україні значно повільніші. Це обумовлено додатковими початковими капітальними вкладеннями, включно з затратами на енергетичне обладнання для перетворення геотермальних джерел енергії, а також і витратами на бурильні роботи.

Однак собівартість теплової та електричної геотермальної енергії має низькі показники завдяки високому коефіцієнту використання (0,8–0,95) та малим експлуатаційним витратам. Крім цього, геотермальні джерела енергії не залежать від часу доби та пори року.

Україна має достатню ресурсну базу і розвинуті геотермальні технології для вилучення та освоєння таких видів геотермальних джерел енергії:

- субгеотермальні – тепло верхніх шарів Землі до глибини 300 м, яке використовується за допомогою теплонасосних установок;
- гідротермальні – тепло глибинних підземних термальних вод і парагідротерм, яке використовується за допомогою тепло- і електрогенерувальних установок;
- петротермальні – тепло перегрітих «сухих» гірських порід, яке використовується за допомогою свердловинних теплообмінників або створення штучних підземних проникних колекторів.

На цей час найрозвиненішим в Україні є напрям використання тепла верхніх шарів Землі за допомогою теплонасосних установок. Дані фіскального обліку митної служби України щодо імпорту теплових насосів та їх комплектуючих, а також відомості про понад 300 впроваджених теплонасосних установок одиничною потужністю від 6 до 500 кВт дають змогу приблизно оцінити сумарну теплову потужність теплових насосів, що використовуються в Україні, на рівні 1500–1600 МВт.

Згідно з виконаною ІВЕ НАНУ прогновною оцінкою, енергетичний потенціал видобування теплоти за рахунок енергії верхніх шарів Землі на об'єктах нового будівництва становить 26,8 млн т у.п.

У 2016 році Кабінетом Міністрів були затверджені зміни до Закону «Про альтернативні джерела енергії» (№ 1711-VIII від 01.11.2016), які регламентують умови віднесення теплових насосів до обладнання, що використовує відновлювані джерела енергії. Згідно з Законом, використання теплових насосів підлягає пільговому тарифоутворенню, що сприятиме подальшому розвитку цього напрямку геотермальної енергетики.

Найбільш поширеним і придатним для технічного використання джерелом геотермальної енергії в Україні сьогодні є гідротермальні ресурси. Затверджені Міністерством екології та природних ресурсів України потенційні геотермальні ресурси теплоенергетичних вод становлять 27,3 млн м³/добу, а їх теплоенергетичний потенціал – близько 84 млн Гкал/рік.

Розвиток геотермальних технологій з експлуатації глибинних підземних вод відбувався у 80–90-х роках минулого століття і в основному був зосереджений на

півострові Крим, а також частково у Херсонської та Закарпатської областях. Створено дев'ять геотермальних теплових станцій для теплопостачання комунально-побутових господарств, адміністративних споруд та парникових господарств з загальною потужністю 11,2 МВт. На цей час функціонують три установки.

Найсприятливішими геотермічними умовами для освоєння гідротермальних ресурсів характеризуються Передкарпатський (Львівська, Івано-Франківська, частково Чернівецька області) та Закарпатський (Закарпатська обл.) прогини, Дніпровсько-Донецька западина (Чернігівська, Полтавська, Сумська, Харківська, Дніпропетровська області), Степовий Крим та узбережжя Чорного моря (Херсонська та Одеська області).

Петрогеотермальні ресурси поширені на всій території України, але найменша глибина їх залягання спостерігається в Закарпатті, внутрішній зоні Прикарпаття й південної частині Одеської та Херсонської областей.

Системи петрогеотермального енергопостачання доцільно створювати у системі теплопостачання великих міст України й окремих районів з аномально високими геотермальними градієнтами, до яких насамперед належать: Закарпатський прогин, Зовнішня зона Прикарпатського прогину та узбережжя Чорного моря.

За розрахунками ІВЕ НАНУ річний технічно досяжний енергетичний потенціал теплової геотермальної енергії в Україні є еквівалентним 8,4 млн т н.е., а його використання дозволить заощадити близько 10 млрд м³ природного газу. Геотермальна енергія використовується для виробництва електроенергії, теплопостачання житлових, комунально-побутових та промислових об'єктів, а також у технологічних процесах на підприємствах промислового та агропромислового комплексу (сушіння, виробництво холоду, тепла обробка матеріалів і продукції, теплично-парникові господарства тощо). Використання геотермальних джерел енергії дасть змогу скоротити споживання традиційного органічного палива та зменшити негативний вплив на довкілля.

Таблиця 4.1. Діючі об'єкти геотермальної енергетики в Україні

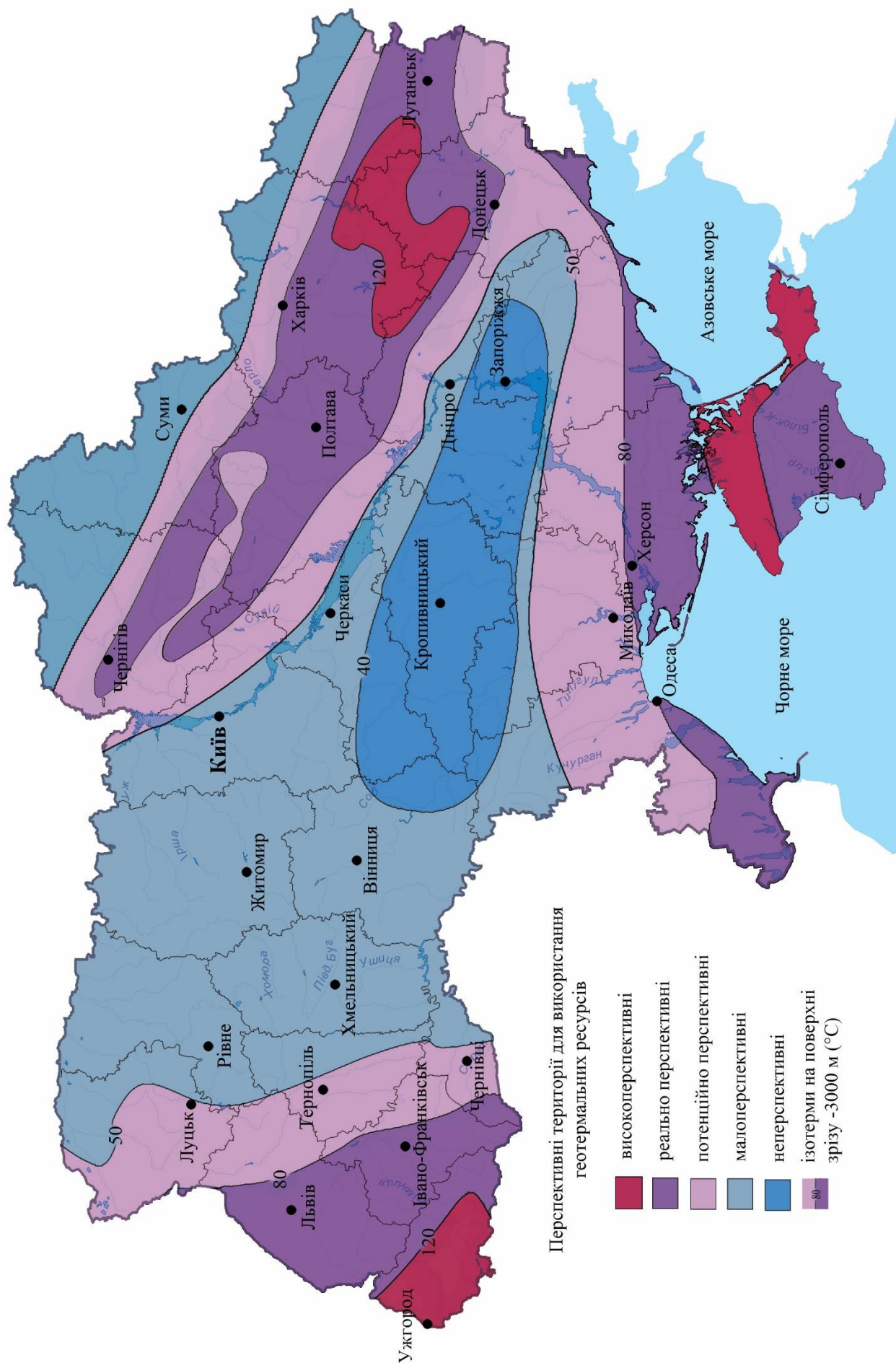
№ з/п	Назва об'єкта, місцезнаходження	Встановлена потужність
1	Геотермальна теплова станція, Берегівський р-н, с. Косино, Закарпатська область	0,25 МВт
2	Геотермальна теплова станція, Берегівський р-н, м. Берегове, Закарпатська область	0,25 МВт

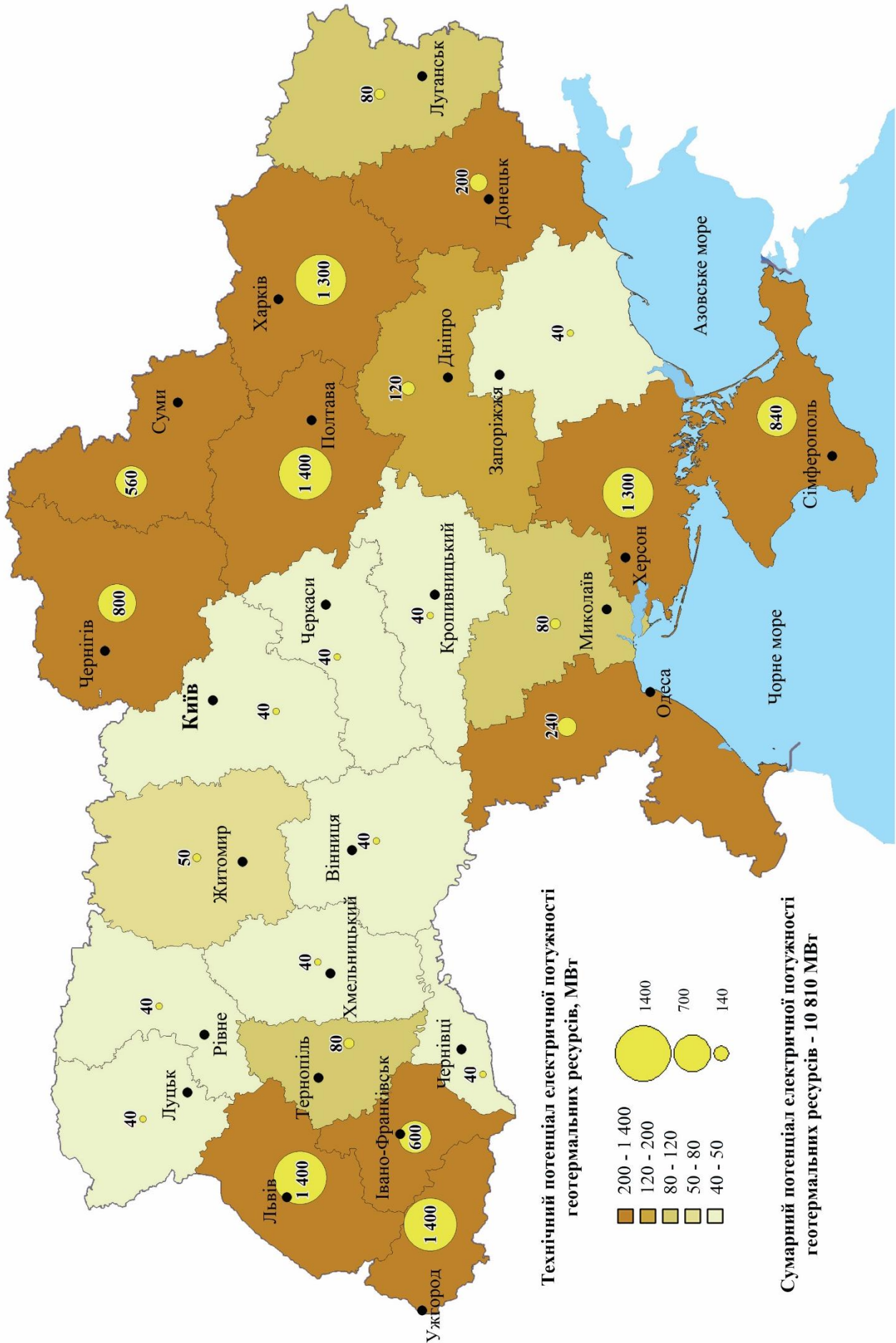
Таблиця 4.2. Потенційні об'єкти геотермальної енергетики в Україні

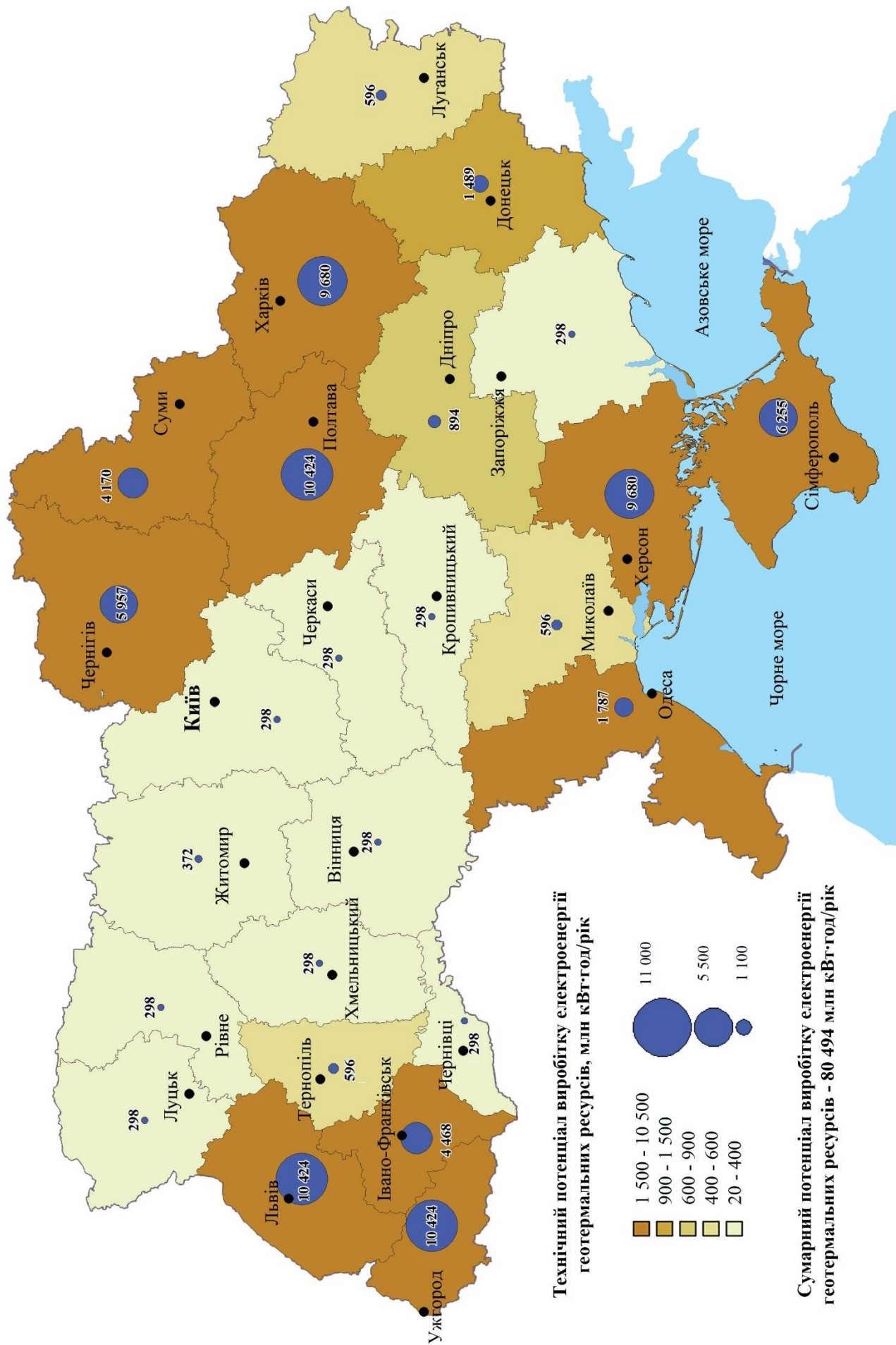
№ з/п	Назва об'єкта, місцезнаходження	Потенційна встановлена потужність
Херсонська область		
1	Геотермальна теплова станція, Генічеський р-н, м. Генічеськ	1,3 МВт
2	Геотермальна теплова станція, Генічеський р-н, с. Чонгар	1,5 МВт
Закарпатська область		
3	Геотермальна теплова станція, Мукачівський р-н, с. Косино	1 МВт
4	Геотермальна когенераційна станція, Тячевський р-н, с. Теремля	5 МВт
5	Геотермальна теплова станція, Хустський р-н, с. Велятино	6 МВт
6	Геотермальна теплова станція, Виноградівський р-н, с. Велика Паладь	3 МВт
7	Геотермальна теплова станція, Берегівський р-н, с. Велика Бакта	2 МВт
8	Геотермальна теплова станція, Ужгородський р-н, м. Ужгород	5 МВт
9	Геотермальна теплова станція, м. Берегове	4,7 МВт
10	Геотермальна електрична станція, Ужгородський р-н, с. Руські Комарівці	6 МВт
Львівська область		
11	Геотермальна теплова станція, Самбірський р-н, с. Пиняни	3 МВт
12	Геотермальна електрична станція, Мостиський р-н, м. Мостиська	12,5 МВт
Полтавська область		
13	Геотермальна когенераційна станція, Гадяцький р-н, м. Гадяч	14,2 МВт
Чернігівська область		
14	Геотермальна теплова станція, Ічнянський р-н, с. Монастирище	11 МВт
Харківська область		
15	Геотермальна електрична станція, Ізюмський р-н, м. Ізюм	10 МВт

Таблиця 4.3. Потенціал геотермальної енергії України

№	Область	Потенціал електричної потужності, МВт	Потенціал виробітку, млн кВт*год/рік
1	АР Крим	840	6255
2	Вінницька	40	298
3	Волинська	40	298
4	Дніпропетровська	120	894
5	Донецька	200	1489
6	Житомирська	50	372
7	Закарпатська	1400	10 424
8	Запорізька	40	298
9	Івано-Франківська	600	4468
10	Київська	40	298
11	Кіровоградська	40	298
12	Луганська	80	596
13	Львівська	1400	10 424
14	Миколаївська	80	596
15	Одеська	240	1787
16	Полтавська	1400	10 424
17	Рівненська	40	298
18	Сумська	560	4170
19	Тернопільська	80	596
20	Харківська	1300	9680
21	Херсонська	1300	9680
22	Хмельницька	40	298
23	Черкаська	40	298
24	Чернівецька	40	298
25	Чернігівська	800	5957
Всього		10 810	80 494







5. ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГІЇ БІОМАСИ

Розрахунки технічно досяжного енергетичного потенціалу для таких біоенергетичних ресурсів як органічна фракція побутових відходів, осади стічних вод, гній / послід худоби і птиці, буряковий жом для отримання біогазу, насіння ріпаку для отримання біодизеля, зерно кукурудзи і меляса для отримання біоетанолу, сільськогосподарські відходи, тверді побутові відходи, торф для виробництва твердого біопалива, виконані для 2021 року за винятком тимчасово окупованих територій АР Крим і частини Донецької і Луганської областей, для яких розрахунки потенціалу виконані на основі статистичних даних 2013 року. Розрахунки технічно досяжного енергетичного потенціалу для таких біоенергетичних ресурсів як силос для отримання біогазу, енергетичні культури, тверді побутові відходи, деревна біомаса для виробництва твердого біопалива, виконані на основі статистичних даних за 2021 рік для всіх регіонів України.

5.1. Енергетичний потенціал біогазу

Біогаз – це суміш газів, що утворюється внаслідок метанового зброджування біомаси і складається з метану, двоокису вуглецю, домішок сірководню, аміаку та інших газів. Виробництво енергії з біогазу не шкідливе для оточуючого середовища, оскільки не спричиняє додаткової емісії парникового газу CO₂ і сприяє зменшенню кількості органічних відходів. На відміну від енергії вітру і сонячного випромінювання, біогаз можна отримувати незалежно від погодних умов, а на відміну від викопних палив, біогаз в Україні має значний відновлюваний потенціал.

Перспективною біогазовою сировиною є гній / послід, стічні води, побутові відходи, буряковий жом, рослинний силос. Станом на 30.12.2021 в Україні збудовано та введено в експлуатацію 77 промислових біогазових станцій, із них: на 34 станціях біогаз отримують з агросировини; на 31 станції біогаз збирають на полігонах ТПВ; на 9 станціях біогаз отримують внаслідок анаеробного очищення промислових стічних вод; на одній станції біогаз отримують з осадів господарсько-побутових стічних вод на 3 станціях отримують генераторний газ. Переважна більшість біогазових станцій оснащена когенераційними установками, при цьому використовують понад 260 млн м³ біогазу за рік (111,4–133,7 тис. Т н.е./рік) для генерації електричної енергії.

Гній / послід. Ефективним шляхом доповнення та заміни традиційних ПЕР, особливо в сільській місцевості, є виробництво та використання біогазу, який утворюється внаслідок використання технологій метанового зброджування тваринницької біомаси.

Рослинний силос. Використання рослинного силосу сумісно з гноєм / послідом дає змогу інтенсифікувати процес метанового зброджування й отримувати значно більший вихід біогазу. Наразі використання силосу кукурудзи в енергетичних цілях обмежене в країнах ЄС і не стимулюється, на відміну від використання інших видів біогазової сировини. Тому вироблений біогаз / біометан

із сумішевих органічних субстратів, що містять рослинний силос, можна використовувати лише в Україні, що з огляду на поточну ситуацію є важливим на найближчу перспективу. Також до гною / посліду можна додавати солому або поживні рештки сільськогосподарського призначення.

Побутові відходи. Іншим джерелом біогазу є анаеробне розкладання біомаси сміття. У ЄС прийнято до виконання Директиву ЄС у сфері поводження з відходами та Директиву 1999/31/ЄС про захоронення відходів, згідно з якими прописано такий порядок дій поводження з відходами: попередження утворення відходів, повторне використання, біологічне перероблення, отримання енергії, захоронення. Зокрема, відходи, що біологічно розкладаються, заборонені до захоронення на полігонах. Вони можуть бути перероблені з використанням керованих біотехнологічних процесів, у яких відбувається часткове або повне перетворення речовин.

Кабінет Міністрів України схвалив Національну стратегію управління відходами до 2030 року. Стратегія передбачає збільшення обсягів відходів, спрямованих на перероблення до 50 %. Розроблено план заходів, направлених на зменшення обсягів захоронення побутових відходів, що біологічно розкладаються, і збільшення обсягів відходів, спрямованих на перероблення: роздільне збирання твердих побутових відходів; введення в експлуатацію сміттесортувальних ліній; запровадження проєктів з біологічного перероблення змішаних побутових відходів.

Для отримання біогазу використовують органічну фракцію з полігонів ТПВ, а органічну фракцію сортованих муніципальних побутових відходів після роздільного збирання ТПВ використовують для виготовлення брикетів RDF; харчові відходи компостують.

Осади стічних вод. Відстій стічних вод містить велику кількість органічних речовин, а їхня анаеробне перероблення забезпечує одночасне вирішення як технологічних задач, так і важливих екологічних, енергетичних і соціальних проблем міст, особливо мегаполісів.

Жом цукрових буряків. Буряковий жом належить до побічної продукції виробництва цукру. Його використовують для приготування корму, виробництва пектинового концентрату і клею, харчових волокон. Одним зі способів енергетичного використання бурякового жому є його метанове зброджування для отримання біогазу.

Річний технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу становить 4,3 млн т н.е.; з них біогазу з гною / посліду – 0,91 млн т н.е.; з полігонів ТПВ – 0,39 млн т н.е.; з осадів каналізаційних стоків – 0,06 млн т н.е.; з жому цукрових буряків – 0,38 млн т н.е.; з силосу кукурудзи і сорго – 2,57 млн т н.е.

Сумарний енергетичний потенціал біогазу є найбільшим у Київській, Дніпропетровській, Черкаській та Вінницькій областях – тобто в урбанізованих областях та областях з інтенсивним тваринництвом та птахівництвом – і становить від 244,0 до 378,8 тис. т н.е./рік.

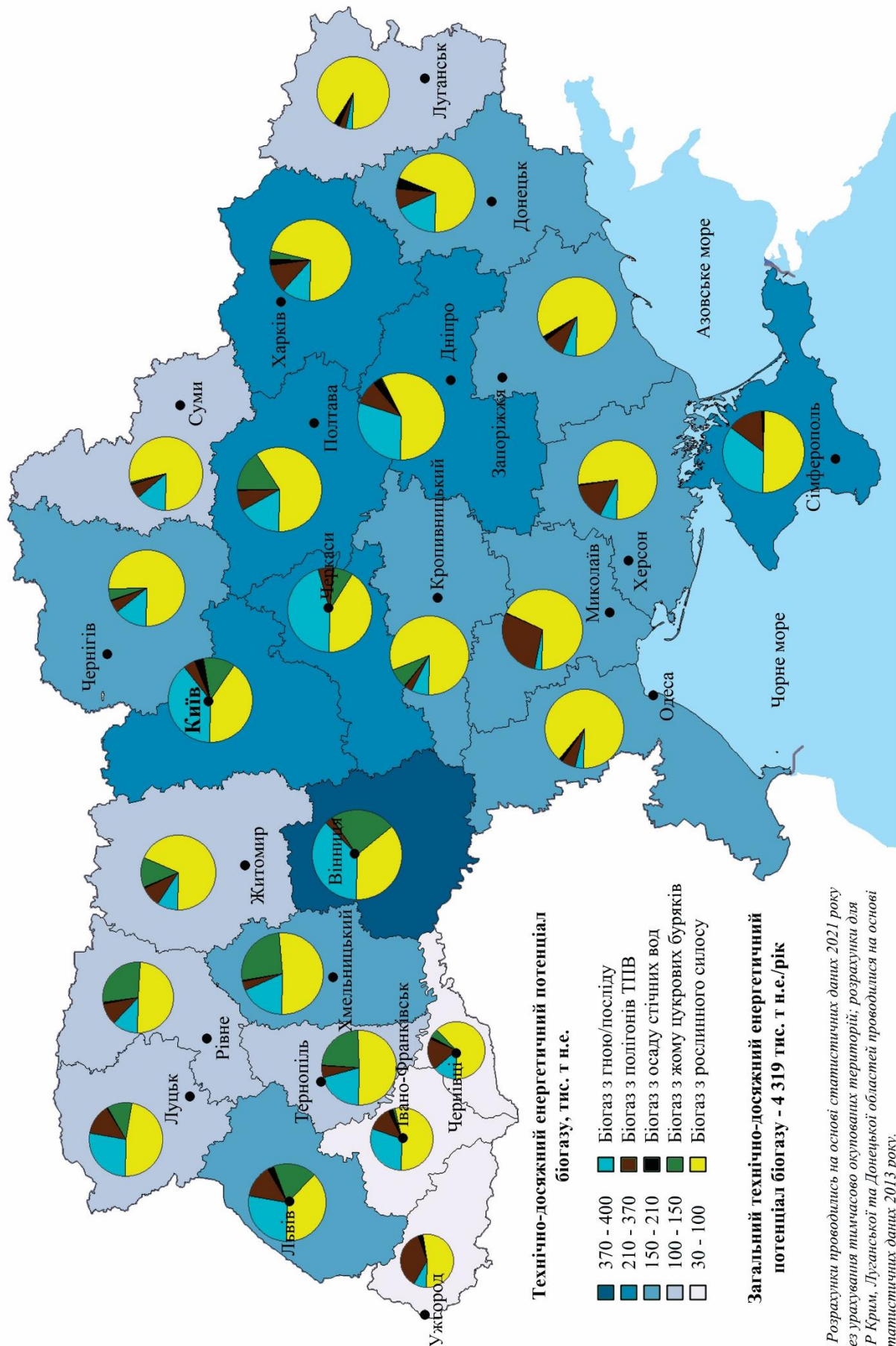
Використання біогазу / біометану. За рахунок використання біогазу можна замінити такі види палива:

- природний газ, що закачується в газотранспортну систему;
- природний газ, що використовується в когенераційних установках для виробництва електричної енергії для постачання в загальнодержавну енергосистему, та теплової енергії для задоволення локальних потреб;
- бензин, дизельне паливо та гас у стаціонарних і транспортних двигунах внутрішнього згоряння.

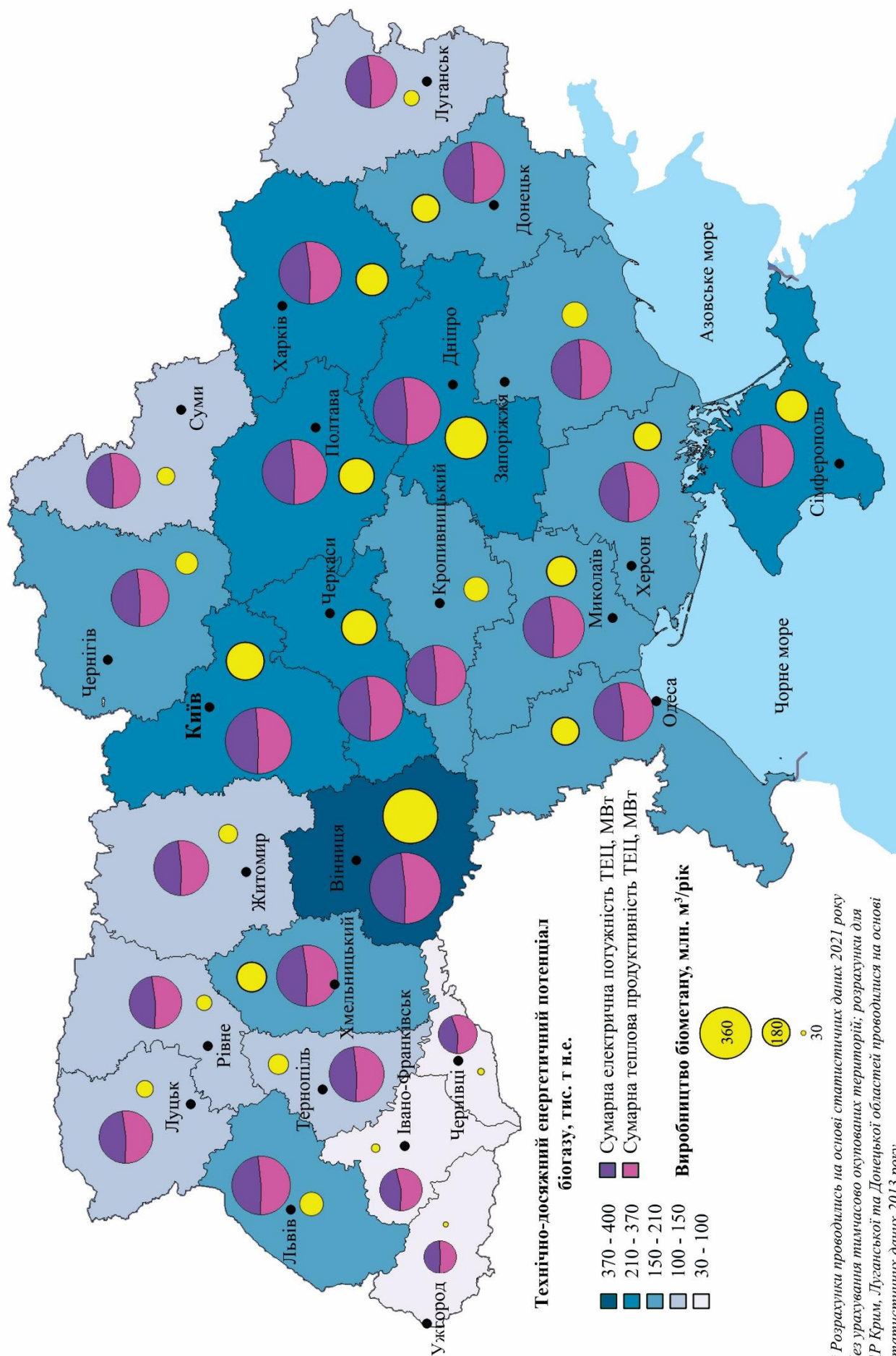
З використанням всіх видів біогазу можна отримати 4,0 млрд м³ біометану і створити ТЕЦ сумарною електричною продуктивністю 528 МВт і теплопродуктивністю теплоутилізаційних установок 560 МВт, при цьому річне виробництво електричної енергії з використанням біогазів може досягнути 4,2 ТВт·год, а теплової енергії – 4,5 ТВт·год.

Таблиця 5.1. Технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу

№	Адміністративна одиниця	Біогаз з гною / пос- ліду, тис. т н.е./рік	Біогаз з полгонів ТПВ, тис. т н.е./рік	Біогаз з осаду стічних вод, тис. т н.е./рік	Біогаз з жому цук- рових бу- ряків, тис. т н.е./рік	Біогаз з рослин- ного си- лосу, тис. т н.е./рік	Всі види біогазу разом, тис. т н.е./рік	Вироб- ництво біоме- тану, млн м ³ /рік	Виробниц- тво електро- енергії ТЕЦ, ГВт·год/рік	Виробниц- тво тепло- вої енергії ТЕЦ, ГВт·год/рік	Сумарна електрична потужність ТЕЦ, МВт	Сумарна теплова продук- тивність ТЕЦ, МВт
1	АР Крим*	78,8	30,1	2,5	0	108,0	219,4	204,9	215	229	27	28
2	Вінницька	143,6	9,9	0,9	88,2	136,2	378,8	353,7	372	395	46	49
3	Волинська	31,5	14,9	0,7	11,9	52,9	111,9	104,5	110	117	14	15
4	Дніпропетровська	88,8	25,9	9,5	1	167,5	292,7	273,3	288	305	36	38
5	Донецька*	34,3	15,4	8,2	0,3	126,6	184,8	172,5	182	193	23	24
6	Житомирська	12,2	11,8	0,9	17,1	90,1	132,1	123,3	130	138	16	17
7	Закарпатська	2,5	11,1	0,9	0	15,7	30,2	28,2	30	31	4	4
8	Запорізька	10,4	15,6	3,7	0	149,7	179,4	167,5	176	187	22	23
9	Івано-Франківська	18,2	7,6	1,5	0,7	31,6	59,6	55,6	59	62	7	8
10	Київська	102,4	11,5	9,4	30,7	104	258	240,9	253	269	32	33
11	Кіровоградська	12,5	5,6	0,7	14,3	139,3	172,4	161	169	180	21	22
12	Луганська*	3,2	3,4	3,1	0	97,6	107,3	100,2	105	112	13	14
13	Львівська	45,1	22,6	4,4	28,5	60,7	161,3	150,6	158	168	20	21
14	Миколаївська	5,8	57,4	0,8	0	134,5	198,5	185,3	195	207	24	26
15	Одеська	6,5	10,5	3,1	0	163,5	183,6	171,4	180	191	22	24
16	Полтавська	41,2	19,1	1,3	38,7	143,1	243,4	227,3	239	254	30	32
17	Рівненська	12,9	10,6	1	29,8	51,8	106,1	99,1	104	111	13	14
18	Сумська	16,8	8,1	0,8	0,8	97,2	123,7	115,5	122	129	15	16
19	Тернопільська	28	6,8	0,5	31,3	67	133,6	124,7	131	139	16	17
20	Харківська	24,8	24,8	5,5	7,6	152,5	215,2	200,9	211	224	26	28
21	Херсонська	13,2	28,5	0,7	0	140,1	182,5	170,4	179	190	22	24
22	Хмельницька	38	7,2	0,9	54	104,4	204,5	190,9	201	213	25	27
23	Черкаська	111,7	13,3	1,3	17,6	100,1	244	227,8	240	254	30	32
24	Чернівецька	5,9	7,7	0,6	2,1	26,1	42,4	39,6	42	44	5	6
25	Чернігівська	22	7,8	0,8	7,9	114,6	153,1	143	150	160	19	20
	Всього	910,3	387,2	63,7	382,5	2574,8	4318,5	4032,1	4242	4500	528	560



* Розрахунки проводилися на основі статистичних даних 2021 року без урахування тимчасово окупованих територій; розрахунки для АР Крим, Луганської та Донецької областей проводилися на основі статистичних даних 2013 року.



5.2. Енергетичний потенціал рідкого біопалива

Біодизель – метилові та/або етилові естери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент у суміші з нафтовим паливом на транспорті.

Біоетанол – спирт етиловий зневоднений, виготовлений з біомаси або спирту етилового – сирцю, що використовується як біопаливо або біокомпонент у суміші з нафтовим паливом на транспорті.

У 2018 році була прийнята Директива ЄС 2018/2001 (RED II), в якій поставлено за мету досягти частки енергії з відновлюваних джерел на транспорті в кінцевому енергоспоживанні сектору транспорту ЄС не менше 14 % до 2030 року, зокрема встановлено мінімальну ціль у 3,5 % для «advanced» біопалива і біогазу.

Термін «advanced» застосовується для рідких біопалив, що отримані з видів сировини, перелічених в Частині А Додатку IX Директиви RED II. Ця сировина містить різні види лігноцелюлозної біомаси, як-от солома, лушпиння, качани кукурудзи, кора, тирса, трав'янисті й деревоподібні енергорослини тощо. «Advanced» біопалива мають менший вплив на землекористування та біорізноманіття.

Директива RED II обмежує частку рідких біопалив, вироблених з харчової / кормової сировини в досягненні цілей з ВДЕ на транспорті. Частка таких біопалив в окремо взятій країні ЄС може бути не більше ніж на 1 % вище частки цих біопалив у валовому кінцевому споживанні енергії дорожнім та залізничним транспортом цієї країни у 2020 році, але не більше за 7 %.

Положення Директиви RED II в 2021 році стали обов'язковими для України відповідно до Рішення міністерської Ради Енергетичного Співтовариства D/2021/14/MC-EnC. Згідно з цим рішенням Україна як Договірна сторона повинна ввести в дію закони, постанови та адміністративні положення, необхідні для дотримання вимог RED-II. В Україні розроблено Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року (НПДВЕ-2), згідно з яким планується, що до 2030 року частка енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому обсязі споживання енергії в транспортному секторі становитиме 14 %, або 651 тис. т н.е./рік. При цьому Україна планує в 2030 році використовувати на транспорті до 40 % енергії, отриманої з харчових та кормових культур, і до 10 % енергії біопалив 2-го покоління.

Україна має необхідні умови для виробництва рідких біопалив як за земельними ресурсами і рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей. Технічно досяжний енергетичний потенціал рідкого біопалива становить 892,4 тис. т н.е./рік біоетанолу та 832,1 тис. т н.е./рік біодизельного палива. Найбільший потенціал рідких біопалив зосереджений у Вінницькій, Хмельницькій, Чернігівській, Одеській областях, де він становить понад 80 тис. т н.е./рік.

Україна має значний потенціал біомаси, доступної для виробництва біопалив, зокрема моторних – сільськогосподарські залишки (солома, стебла кукурудзи

і соняшника, лушпиння соняшника та ін., великі обсяги лігноцелюлозної сировини – деревної біомаси різного походження, деревоподібних та трав'янистих енергетичних рослин), частина цієї сировини може бути використана для отримання рідких біопалив 2-го покоління.

Наявний енергетичний потенціал рідких біопалив як 1-го, так і 2-го покоління достатній для виконання намічених показників їх використання. При загальній світовій тенденції до збільшення цін на нафту розширення вирощування рапсу та організація виробництва біодизельного палива з насіння рапсу із застосуванням новітніх світових технологій та обладнання є одним з пріоритетних стратегічних завдань держави в галузі енергетики.

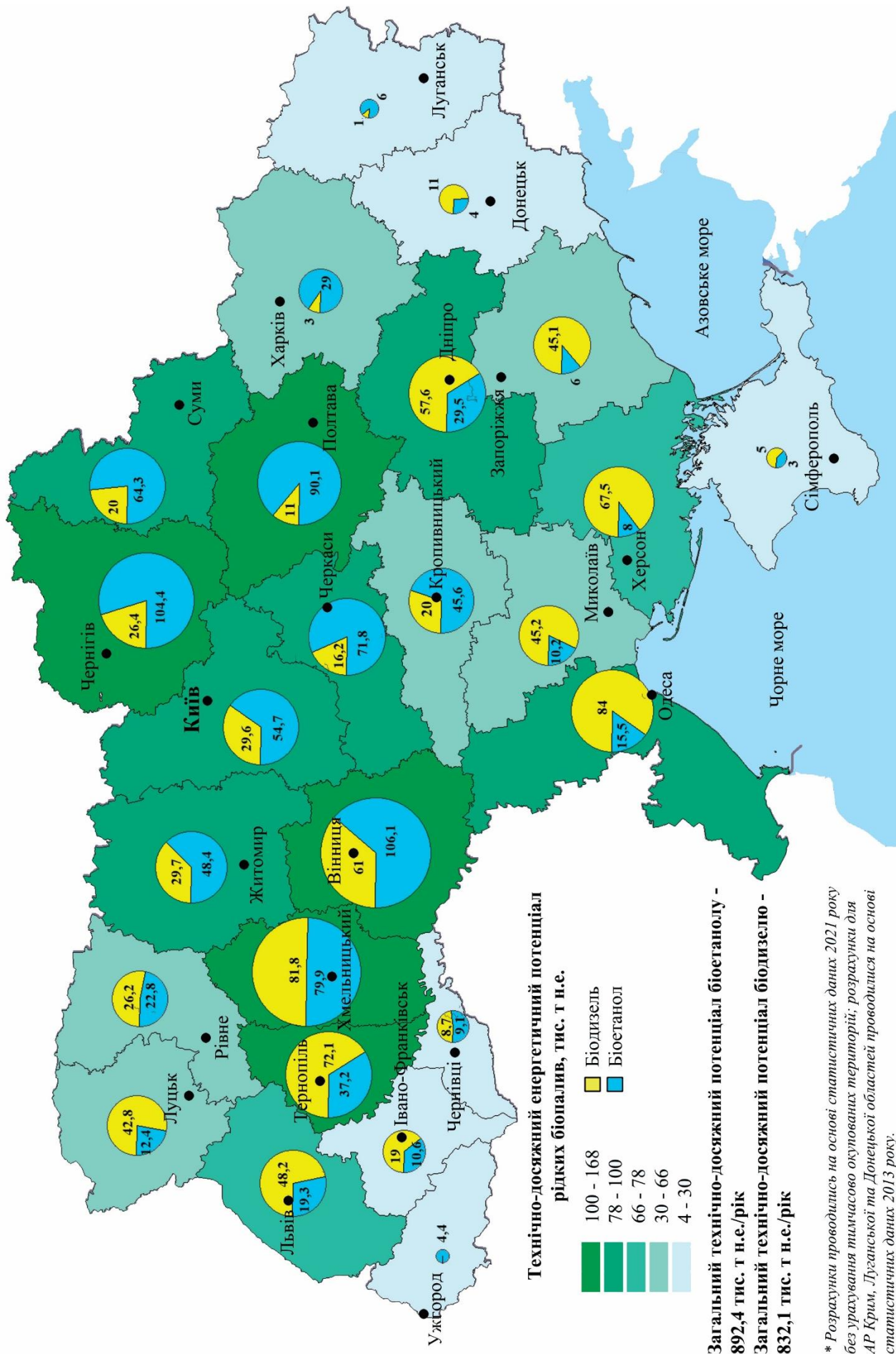
Сьогодні майже все зібране насіння ріпаку експортується, проте потужності вітчизняних підприємств достатні для його переробки на олію як проміжну сировину для виробництва біопалива.

Виробництво біоетанолу становить 51,1 тис. т н.е./рік, біодизельне пальне не виробляють станом на 2021 рік. Відповідно до звітів, наданих Секретаріату Енергетичного Співтовариства, Україна досягла рівня 2,5 % ВДЕ на транспорті, з яких частка саме біопалив становила 1 %.

Таблиця 5.2. Технічно досяжний енергетичний потенціал рідких біопалив

№	Адміністративна одиниця	Біоетанол, тис. т н.е./рік	Біодизель, тис. т н.е./рік
1	АР Крим	3,0	5,0
2	Вінницька	106,1	61,0
3	Волинська	12,4	42,8
4	Дніпропетровська	29,5	57,6
5	Донецька	4,0	11,0
6	Житомирська	48,4	29,7
7	Закарпатська	4,4	0,0
8	Запорізька	6,0	45,1
9	Івано-Франківська	10,6	19,0
10	Київська	54,7	29,6
11	Кіровоградська	45,6	20,0
12	Луганська	6,0	1,0
13	Львівська	19,3	48,2
14	Миколаївська	10,2	45,2
15	Одеська	15,5	84,0
16	Полтавська	90,1	11,0
17	Рівненська	22,8	26,2
18	Сумська	64,3	20,0
19	Тернопільська	37,2	72,1
20	Харківська	29,0	3,0
21	Херсонська	8,0	67,5
22	Хмельницька	79,9	81,8
23	Черкаська	71,8	16,2
24	Чернівецька	9,1	8,7
25	Чернігівська	104,4	26,4
Всього	892,4	832,1	

* розрахунок з використанням статистичних даних за 2013 р.



* Розрахунки проводились на основі статистичних даних 2021 року без урахування тимчасово окупованих територій; розрахунки для АР Крим, Луганської та Донецької областей проводились на основі статистичних даних 2013 року.

5.3. Енергетичний потенціал твердої біомаси і торфу в Україні

Основними постачальниками твердої біомаси для енергетичних потреб є сільське та лісове господарство. Річне виробництво зернових та зернобобових культур в Україні сягає більше ніж 60 млн т, при цьому в значних обсягах утворюються такі побічні продукти, як солома і рослинні відходи. Можна відмітити тенденцію до зростання потенціалу твердої біомаси, що зумовлено збільшенням продуктивності сільського господарства, змінами у веденні лісового господарства, змінами у поводженні з побутовими та промисловими відходами.

Сільськогосподарська тверда біомаса. Для визначення виходу соломи і рослинних залишків використовують коефіцієнт відходів – відношення кількості соломи або рослинних залишків до урожаю зерна / насіння. За різними оцінками, на кожную тонну зерна / насіння можна отримати 1,5–2,0 т соломи або рослинних залишків. Значна частина соломи подрібнюється і приорується для удобрення ґрунтів. Відійшла в минуле практика спалювання соломи в полях. У сільському господарстві набувають поширення технології вирощування зернових культур без оранки (no-till) з використанням рослинних решток як мульчі, що буде зменшувати заготівлю соломи та її потенційну доступність для енергетичних потреб.

У сільському господарстві найпоширенішою технологією заготівлі соломи стало її тюкування. Обсяги заготівлі тюкованої соломи злакових культур визначаються попитом. Тюковану солому використовують на сільськогосподарські потреби сільгоспдприємств, присадибних господарств населення. Тюковану солому злакових культур також використовують як паливо в котельних установках. В Україні виробляють гранули із соломи злакових культур в обсязі 120 тис. т/рік, що значно менше можливостей існуючих пелетних заводів. Розширення використання солом'яних гранул потребує вдосконалення котельних установок. Обсяги соломи злакових культур та сої, потенційно доступних для енергетичних потреб, становлять до 11,7 млн т н.е.

Солому рапсу до недавнього часу залишали на полях, але зараз її широко використовують для виробництва гранул, які мають прийнятні паливні властивості і їх успішно спалюють в котельних установках з рухомими колосниками. Обсяги рапсової соломи, потенційно доступної для енергетичних потреб, становлять до 1,46 млн т н.е.

Стебла кукурудзи та сояшнику залишають на полях після збирання врожаю. Вони також є перспективним енергетичним ресурсом в обсязі до 20 млн т н.е.

Під час переробки насіння сояшнику відділяються лушпиння та сторонні рослинні частки. Обсяги лушпиння сояшнику, доступного для енергетичних потреб, оцінюються величиною до 1,06 млн т н.е. На підприємствах олійної промисловості спалюється близько 500 тис. т лушпиння сояшнику, ще більш ніж 700 тис. т гранулюється. Подрібнене лушпиння сояшнику успішно використовують у промислових печах, а гранули – в котельних установках.

Деревна біомаса. Лісистість території України становить близько 16 %, а заготівля ліквідної деревини в 2021 році становила 16,67 млн щільних м³ (далі –

щ. м³), з них діловий круглий ліс – 8,21 млн щ. м³ та паливна сировина – 8,45 млн щ. м³. Крім того, обсяги неліквідної сировини становили 982 тис. щ. м³. На енергетичні потреби традиційно використовують дрова і відходи виробництва пиломатеріалів та інші відходи деревообробки. Резервом для збільшення обсягів заготівлі паливної деревини може бути неліквідна деревина – неліквідний хмиз, малі гілки, які нині не використовуються, частину з них можна використати для виробництва паливної тріски. Сумарні ресурси деревного палива, заготовленого в лісах, та деревних відходів, що утворюються під час перероблення деревини, можуть становити 2,23 млн т н.е.

Енергетичні культури – це окремі види дерев та рослин, що вирощуються для виробництва твердого біопалива – швидкоростучі дерева, багаторічні трави (міскантус), однорічні трави (сорго, тритикале). До енергетичних рослин також може належати побічна продукція традиційних сільськогосподарських культур, що вирощуються з метою виробництва біодизельного пального (ріпак, соняшник), біоетанолу (кукурудза, пшениця) та біогазу (кукурудза на силос). Насадження багаторічних деревних культур можуть створюватися на еродованих землях, виконувати захисну функцію для сільськогосподарських земель, річок та водойм, транспортних магістралей. Ці деревні насадження можуть забезпечити внесок в енергозабезпечення країни в обсязі до 1,07 млн т н.е.

Тверді побутові відходи. У поводженні з твердими побутовими відходами впроваджується вилучення цінних компонентів та відділення баласту, а частка ТПВ, що не піддається подальшому сортуванню та містить тверду біомасу, може використовуватися як паливо з відходів у промислових печах та сміттєспалювальних установках. У 2020 році зібрано 10,5 млн т відходів, їх сортування здійснювалося у 8 областях, при цьому на сортування направлялося від 0,5 до 78 % утворених в області відходів при середньому значенні 8,9 %. Залишок після сортування і вилучення цінних компонентів становив від 9 до 95 %, при середньому значенні 55 % по областях, де здійснювалося сортування. На найближчу перспективу доцільним може бути поширення кращої практики сортування на всі області, що дасть змогу виробити паливо з ТПВ в обсязі 1,146 млн т н.е.

Торф – органічна порода, яка утворюється внаслідок біохімічного процесу розкладання (відмирання й неповний розпад) болотних рослин за підвищеної вологості й дефіциту кисню.

Річний приріст торф'яного шару становить близько 0,5–1 мм, і відповідний обсяг вважають відновлюваним – в Україні до 1,27 млн т (338 тис. т н.е.). Станом на 2011 рік загальні геологічні запаси торфу України становлять 2,04 млрд т. Найбільші ресурси торфу мають три поліські області: Волинська, Рівненська та Чернігівська. На їх територіях виявлено й розвідано 836 родовищ (38 % всіх родовищ країни), а геологічні запаси торфу становлять 1,0 млрд т. Ресурси торфу – значний енергетичний та агрохімічний потенціал країни; торф успішно використовується як комунально-побутове місцеве паливо і є джерелом сировини для інших галузей народного господарства. Комплексне використання торфу зумовлюється великою різноманітністю його видів навіть в межах одного родовища. Річний технічно досяжний енергетичний потенціал торфу становить

0,33 млн т н.е., а його використання дасть змогу щорічно заощаджувати близько 0,4 млрд м³ природного газу.

У 2020 році обсяг виробництва паливного торфу становив 272 тис. т, з урахуванням імпорту загальне споживання торфу було 303 тис. т. (80,6 т н.е.) з яких майже 8 % використано в побуті, 9 % використано на ТЕЦ та 76 % перероблено на брикети переважно для побутового використання.

Напрямки енергетичного використання твердої біомаси. За статистичними даними в Україні у 2020 році виробництво всіх твердих біопалив становило 3,5 млн т н.е., з яких експортовано 423 тис. т н.е. Внутрішнє споживання твердих біопалив становило 3282 тис. т н.е., з них спожито в побуті 58 %, у котельнях систем теплопостачання – 24 %, на ТЕЦ – 4 %, на електричних станціях – менше 1 %, у всіх галузях промисловості – 2,3 %, у сільському господарстві – 0,8 %.

Сумарний річний технічно досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси, твердих побутових відходів і торфу становить 43,1 млн т н.е., а його використання дасть змогу щорічно заощаджувати близько 40 млрд м³ природного газу. Найбільший потенціал твердої біомаси зосереджений у Вінницькій, Дніпропетровській, Житомирській, Київській, Кіровоградській, Одеській, Полтавській, Сумській, Харківській, Хмельницькій, Чернівецькій та Чернігівській областях і становить близько 2,0 млн т н.е./рік. Технічно досяжні ресурси твердої біомаси перевищують поточні обсяги її енергетичного використання в десять разів, що свідчить про можливість подальшого розширення її енергетичного використання.

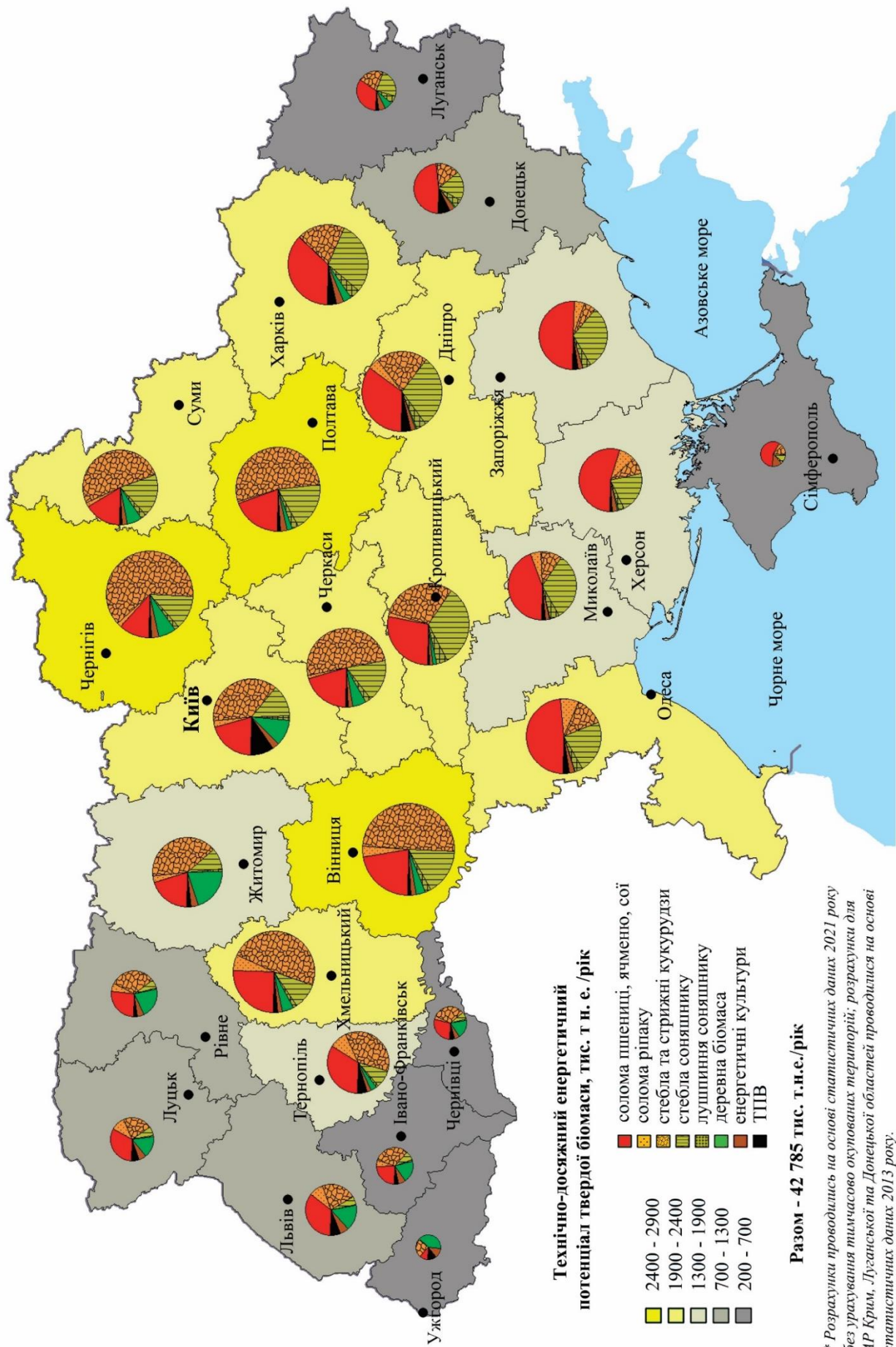
З використанням потенційно доступних ресурсів твердого біопалива, торфу та побутових відходів для енергопостачання промисловості й комунального господарства можна створити ТЕЦ сумарною електричною потужністю 20 ГВт та теплопродуктивністю 42 ГВт з річним споживанням твердої біомаси до 29 млн т н.е. і виробництвом електричної енергії до 90 ТВт·год і теплової енергії – до 184 ТВт·год.

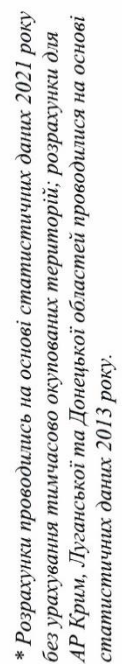
Для заміщення споживання природного газу та інших викопних палив в побуті й котельнях систем теплопостачання можна спрямувати тверду біомасу і торф в обсязі до 9,5 млн т н.е., забезпечивши роботу опалювальних печей, котлів та котелень сумарною теплопродуктивністю 33 ГВт з річним виробництвом теплової енергії 94 ТВт·год.

Таблиця 1.5.3. Технічно досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси і торфу в Україні, тис. т н.е./рік

№	Адміністративна одиниця	Солома пшениці, ячменю, сої	Солома ріпаку	Стебла та стрижні кукурудзи	Стебла соняшнику	Лущиння со-няшнику	Деревна біомаса	Енергетичні культури	ТПВ	Разом твердої біомаси	Торф
1	АР Крим*	157	10	33	25	7	0	34,3	0	386	0
2	Вінницька	639	108	1397	455	64	92,4	53,9	29,5	3254	5
3	Волинська	252	76	158	47	7	118,2	40,9	44,5	930	72
4	Дніпропетровська	796	102	458	655	92	12,8	40,7	89,3	2458	0
5	Донецька*	466	8	134	178	50	9,2	33,8	76,9	1139	0
6	Житомирська	360	53	707	171	24	354,6	60,6	35,2	1904	18
7	Закарпатська	34	0	69	3	0	104,3	32,4	33,1	295	0
8	Запорізька	849	80	94	495	69	3,2	34,6	46,8	1752	0
9	Івано-Франківська	135	34	165	42	6	102,9	35,4	22,9	603	2
10	Київська	429	53	765	275	39	221,7	58,9	206,1	2314	28
11	Кіровоградська	648	35	671	738	103	32,1	31,4	16,8	2375	1
12	Луганська*	223	1	129	146	41	42	34	16,9	726	0
13	Львівська	365	86	217	47	7	159,9	55,5	67,7	1201	28
14	Миколаївська	747	80	160	537	75	4,3	31,3	31,3	1785	0
15	Одеська	970	149	242	447	63	10,3	42,5	57	2100	0
16	Полтавська	482	20	1296	461	65	50,5	58,4	31,8	2684	18
17	Рівненська	233	47	268	50	7	178,5	40,8	24,4	1014	62
18	Сумська	327	36	1004	362	51	125,1	48,4	20,2	2104	19
19	Тернопільська	478	128	489	128	18	42,5	28,1	74,2	1571	9
20	Харківська	844	5	431	656	92	78	63,9	85,3	2351	1
21	Херсонська	814	120	126	311	44	10,2	36,3	21,5	1602	1
22	Хмельницька	590	145	1089	236	33	109,7	41,9	39,7	2556	10
23	Черкаська	446	29	1071	375	52	118	42,5	23	2396	8
24	Чернівецька	127	15	136	29	4	79,3	20,6	23,4	468	0
25	Чернігівська	302	47	1612	327	46	174,8	64,9	28	2818	47
	Всього	11 713	1467	12 921	7196	1059	2234,5	1066	1145,5	42 785	329

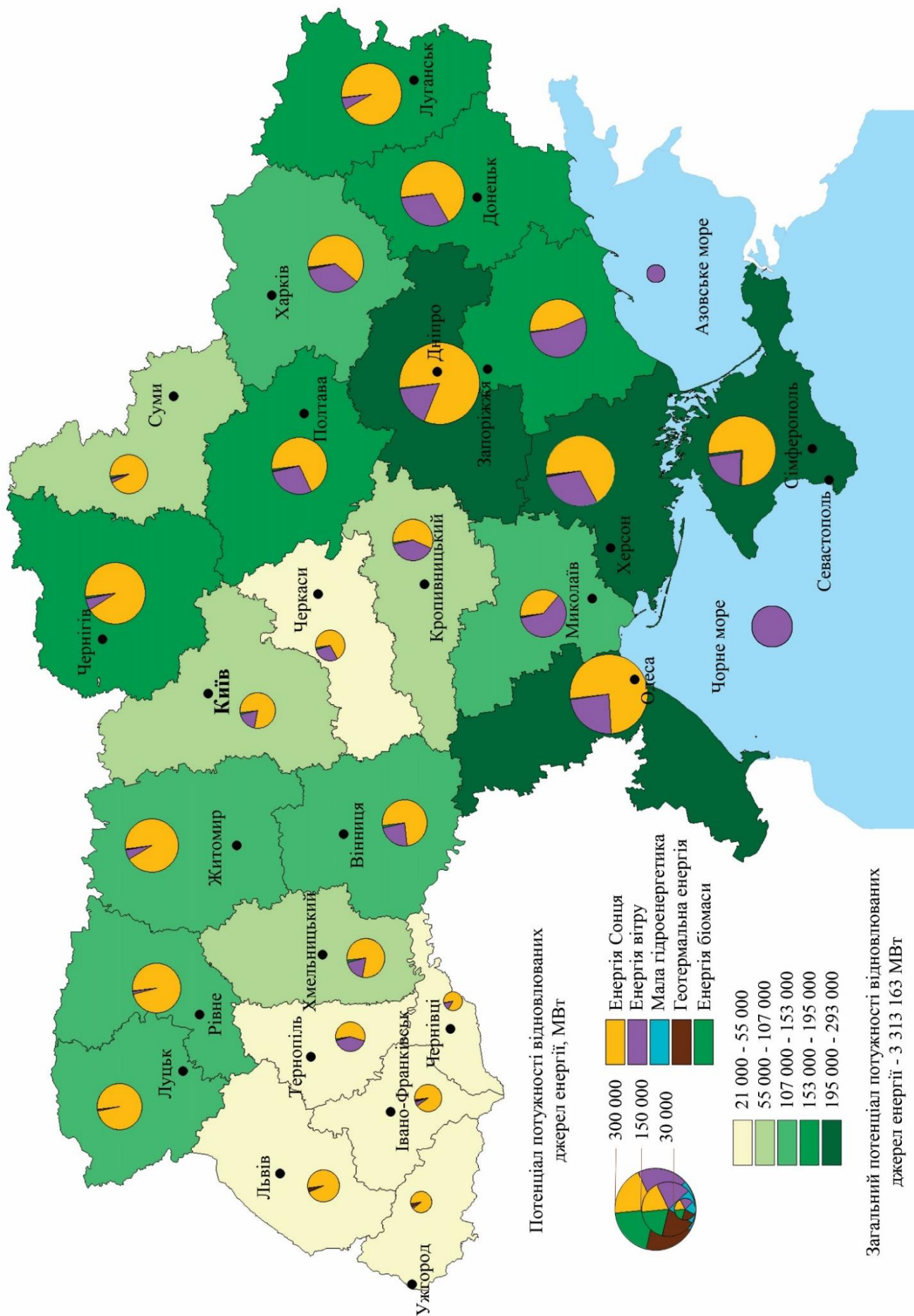
* – розрахунок з використанням статистичних даних за 2013 р.





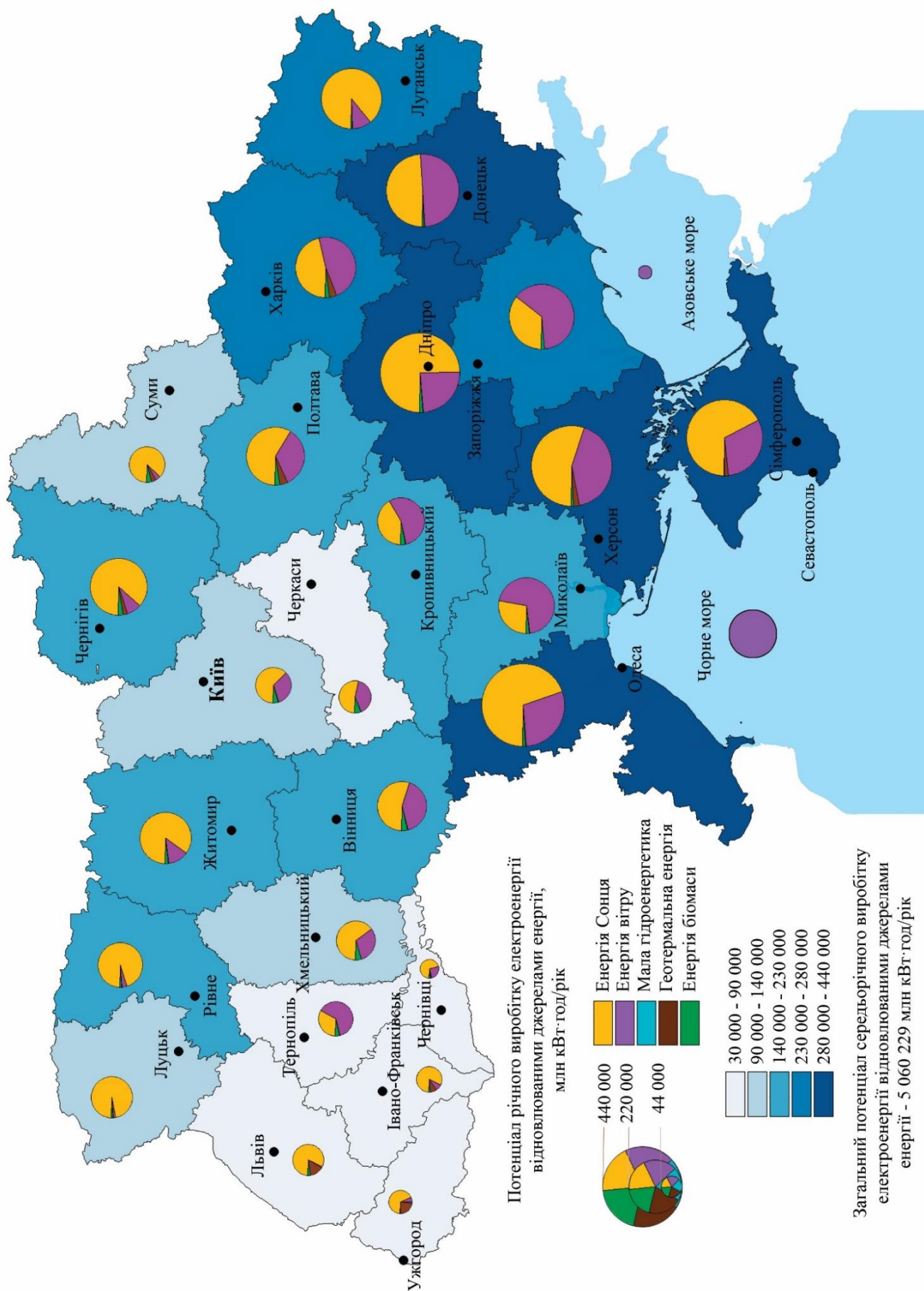
6. ПОТЕНЦІАЛ ПОТУЖНОСТІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ, МВт

Область	Енергія Сонця	Енергія вітру	МГЕС	Геотермальна енергія	Енергія біомаси	Всього
АР Крим	175 330	51 852	1	840	165	228 188
Вінницька	79 979	25 687	24	40	1601	107 331
Волинська	105 898	852	1	40	384	107 175
Дніпропетровська	241 750	49 293	2	120	1298	292 463
Донецька	132 321	61 705	5	200	558	194 789
Житомирська	135 026	8 742	8	50	871	144 697
Закарпатська	24 686	812	132	1400	116	27 146
Запорізька	72 863	88 295	0	40	959	162 157
Івано-Франківська	38 447	2305	59	600	268	41 679
Київська	52 244	12 574	3	40	1118	65 979
Кіровоградська	51 057	35 824	15	40	1286	88 222
Луганська	165 254	11 353	2	80	346	177 035
Львівська	52 372	469	46	1400	521	54 808
Миколаївська	42 501	68 600	3	80	956	112 140
Одеська	212 547	67 681	1	240	1130	281 599
Полтавська	109 018	45 373	6	1400	1388	157 185
Рівненська	119 421	1991	3	40	418	121 873
Сумська	74 275	2764	2	560	1071	78 672
Тернопільська	25 675	19 567	12	80	784	46 118
Харківська	95 588	54 801	10	1300	1261	152 960
Херсонська	157 476	70 760	1	1300	846	230 383
Хмельницька	63 856	15 379	8	40	1267	80 550
Черкаська	35 611	15 813	8	40	1194	52 666
Чернівецька	18 247	2882	24	40	218	21 411
Чернігівська	167 451	10 990	1	800	1407	180 649
Разом	2 448 894	726 365	376	10 810	21 462	3 207 907
Виключна морська економічна зона		105 256				
Всього	2 448 894	831 621	376	10 810	21462	3 313 163



7. ПОТЕНЦІАЛ СЕРЕДНЬОРІЧНОГО ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ, МЛН КВТ·ГОД/РІК

Область	Енергія Сонця	Енергія вітру	МГЕС	Геотермальна енергія	Енергія біомаси	Всього
АР Крим	251 458	115 004	3	6255	812	373 532
Вінницька	95 215	69 597	83	298	7091	172 284
Волинська	119 718	2400	4	298	1708	124 128
Дніпропетровська	299 819	96 352	7	894	5739	402 811
Донецька	165 984	167 692	16	1489	2495	337 676
Житомирська	155 198	24 377	27	372	3825	183 799
Закарпатська	30 317	2762	439	10 424	514	44 456
Запорізька	99 093	172 634	1	298	4224	276 250
Івано-Франківська	44 237	4182	197	4468	1187	54 271
Київська	61 366	31 565	11	298	4945	98 185
Кіровоградська	66 686	85 444	53	298	5632	158 113
Луганська	214 004	25 417	7	596	1543	241 567
Львівська	60 128	986	153	10 424	2322	74 013
Миколаївська	60 899	149 416	11	596	4223	215 145
Одеська	301 094	125 651	5	1787	4965	433 502
Полтавська	134 266	77 815	22	10 424	6104	228 631
Рівненська	134 206	5591	10	298	1855	141 960
Сумська	84 889	4696	8	4170	4684	98 447
Тернопільська	29 803	54 030	42	596	3449	87 920
Харківська	114 715	115 789	33	9680	5547	245 764
Херсонська	228 026	171 113	2	9680	3738	412 559
Хмельницька	74 328	34 148	29	298	5566	114 369
Черкаська	43 784	31 498	28	298	5269	80 877
Чернівецька	21 913	7931	80	298	963	31 185
Чернігівська	191 028	18 658	2	5957	6147	221 792
Разом	3 082 175	1 594 749	1273	80 494	94549	4 853 240
Виключна морська економічна зона		206 989				
Всього	3 082 175	1 801 738	1273	80 494	94549	5 060 229



8. ПОТЕНЦІАЛ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ УКРАЇНИ

У цей час у світі дедалі ширше розгортається використання водню як енергоносія майбутнього для вирішення важливих енергетичних та екологічних проблем. Водень є найпоширенішим елементом, не має запаху і не є токсичним. Широке використання зеленого водню як високоефективного й екологічно прийнятного енергоносія останніми роками розглядається як найперспективніший шлях до вирішення енергетичних проблем та істотного скорочення шкідливих викидів в атмосферу. Для України важливим є застосування водню для створення балансувальних потужностей в енергетичній системі при збільшенні обсягів використання енергії ВДЕ та створення автономних енергосистем на основі ВДЕ та водню для децентралізації енергетики [1].

Центральна роль водню в розвитку та подальшому здійсненні зеленого енергетичного переходу обумовлена такими факторами:

- водень є універсальним джерелом енергії, його можна використовувати як для отримання електричної й теплової енергії в різних секторах економіки, так і безпосередньо в транспортних засобах та як основу для виробництва добрив і синтетичного палива;
- водень можна застосовувати в системах зберігання енергії, призначених для забезпечення гнучкості енергосистеми, врівноваження попиту та пропозиції, особливо при значних обсягах впровадження відновлюваних джерел енергії; він є важливою складовою енергетичного переходу;
- водень є важливим засобом передавання енергії між регіонами з недорогими відновлюваними джерелами енергії та центрами споживання, оскільки його можна транспортувати й розподіляти по трубопроводах так само, як природний газ, і це обходиться дешевше, ніж передавання еквівалентного обсягу електроенергії електропровідними мережами;
- водень вже використовується як сировина в різних хімічних та промислових процесах, наприклад для виробництва аміаку, або як заміник вугільного коксу при виробництві сталі; це один із шляхів декарбонізації виробничих процесів у промисловості;
- для виробництва водню можна використовувати внутрішні ресурси, забезпечуючи енергетичну незалежність.

Найприйнятнішою технологією отримання зеленого водню в цей час є електролітичний розклад води з використанням електроенергії, отриманої від ВДЕ.

Водень можна перетворити на електроенергію за допомогою електрохімічного пристрою (паливного елемента). Паливні елементи можуть використовуватися як в малих, так і дуже великих за розмірами системах. Єдиний побічний продукт – це тепло і вода.

Використання значних обсягів вітрової та сонячної енергії створює непереборні проблеми, якщо воно не доповнюється засобами акумулювання енергії. Використання водню як проміжного енергоносія для забезпечення збалансованого використання відновлюваних джерел дає можливість створення як короткострокових, так і довгострокових міжсезонних запасів енергії в гібридних енергосистемах на основі ВДЕ. Водень відіграватиме провідну роль в інтеграції великих обсягів відновлюваної енергії, в секторах промисловості (металургія, хімічні виробництва), транспорту, теплоенергетики, які сьогодні важко декарбонізувати.

Потенціал України у виробництві водню базується на значних ресурсах відновлюваної енергетики, розвиненій інфраструктурі та вигідному географічному положенні. Розподіл можливостей для виробництва водню по території країни залежить від:

- наявності відновлюваних джерел енергії (вітрових, сонячних), які можуть слугувати джерелами електроенергії для електролізу води;
- доступу до водних ресурсів, необхідних для процесу електролізу;
- наявності промислової інфраструктури для виробництва, зберігання та транспортування водню;
- близькості до потенційних споживачів або експортних ринків.

Найбільший потенціал для виробництва зеленого водню мають південні та східні регіони України, які вирізняються високим рівнем інсоляції та сильними вітрами; акваторії Чорного та Азовського морів придатні для будівництва офшорних вітрових електростанцій.

Для процесів електролізу доступні водні ресурси річкових басейнів Дніпра, Дністра, Південного Бугу та інших великих водойм, та водні ресурси Чорного і Азовського морів. Однак вважається, що необхідні обсяги можуть бути надані за рахунок відпрацьованих та стічних вод після їх очищення, без порушення усталеного балансу споживання води, а також використання водних ресурсів, зекономлених внаслідок відмови від об'єктів традиційної генерації.

Потенціал виробництва зеленого водню в Україні визначається в такий спосіб:

встановлюється технічно досяжний потенціал відновлюваних джерел енергії, доступний для виробництва водню (кВт год); визначаються обсяги виробництва водню в об'ємних (нм^3) та/або масових (кг) показниках.

Використання відновлюваних джерел для виробництва водню має обмеження, обумовлені непостійністю генерації, тому пропонується вибирати оптимальну пропорцію відновлюваної енергетики та електролізу [2].

У кліматичних умовах України для обсягу придатної для електролізу сонячної генерації пропонується ваговий коефіцієнт $1/2$, а для вітрової – $2/3$.

Для розрахунку потенційно можливого обсягу виробництва зеленого водню за допомогою електролізу передбачено питоме споживання електроенергії $4,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{нм}^3$, або $50,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$.

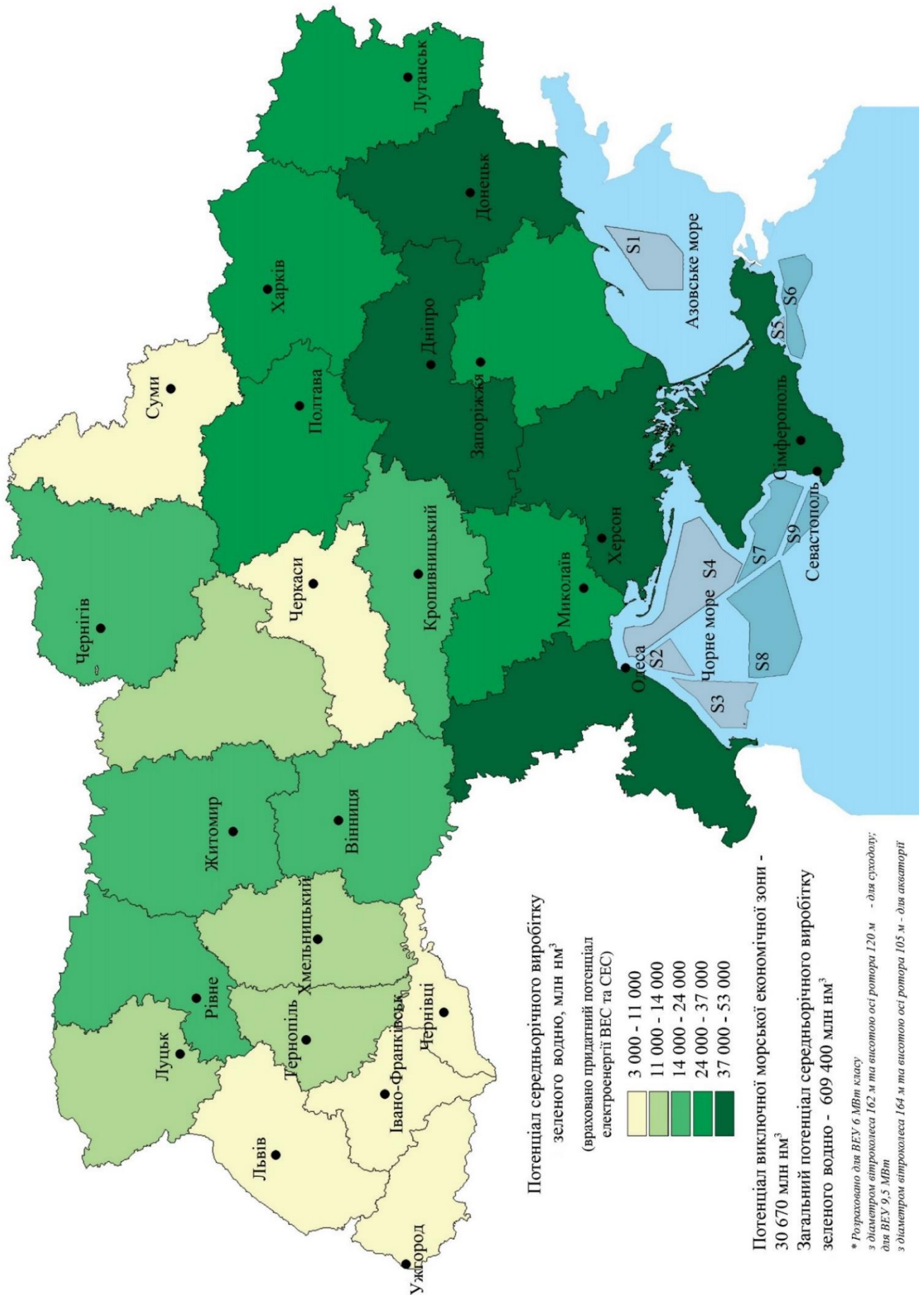
Потенційний виробіток зеленого водню за рахунок вітрової та сонячної генерації наведено в табл. 8.1.

Посилання

1. «Воднева стратегія України» проєкт [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Vodneva-Strategia-Cover.pdf>.
2. IEA. Global Hydrogen Review 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>.

**Таблиця 8.1. Розподіл потенційного середньорічного виробітку
зеленого водню.
Враховується придатний потенціал електроенергії ВЕС та СЕС**

Область	Ел. енергія, млн кВт·год/рік			Водень,	
	СЕС	ВЕС	разом	млн нм³	тис. т
АР Крим	125 730	76 700	202 430	44 985	4005
Вінницька область	47 610	46 400	94 010	20 890	1860
Волинська область	59 860	1600	61 460	13 660	1215
Дніпропетровська область	149 910	64 235	214 145	47 590	4235
Донецька область	82 990	111 795	194 785	43 285	3850
Житомирська область	77 600	16 250	93 850	20 855	1855
Закарпатська область	15 160	1840	17 000	3780	335
Запорізька область	49 550	115 090	164 640	36 585	3255
Івано-Франківська область	22 120	2790	24 910	5535	495
Київська область	30 680	21 040	51 720	11 490	1023
Кіровоградська область	33 345	56 960	90 305	20 070	1786
Луганська область	107 000	16 940	123 940	27 540	2450
Львівська область	30 065	660	30 725	6830	610
Миколаївська область	30 450	99 610	130 060	28 900	2570
Одеська область	150 550	83 770	234 320	52 070	4635
Полтавська область	67 130	51 870	119 000	26 445	2355
Рівненська область	67 100	3730	70 830	15 740	1400
Сумська область	42 445	3130	45 575	10 130	900
Тернопільська область	14 900	36 020	50 920	11 315	1010
Харківська область	57 360	77 190	134 550	29 900	2660
Херсонська область	114 010	114 075	228 085	50 685	4510
Хмельницька область	37 165	22 765	59 930	13 320	1185
Черкаська область	21 890	21 000	42 890	9530	850
Чернівецька область	10 960	5290	16 250	3610	320
Чернігівська область	95 510	12 440	107 950	23 990	2135
Разом	1 541 090	1 063 190	2 604 280	578 730	51 510
Виключна морська економічна зона		138 000	138 000	30 670	2 730
Всього	1 541 090	1 201 190	2 742 280	609 400	54 240



Наукове видання

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Авторський колектив:

Суржик Т. В., Матях С. В., Бондаренко Д. В., Дьяченко О. С., Пундєв В. О., Шевчук В. І., Шейко І. О. – **розділ 1;**
Петренко К. В., Яценко Л. В., Кудря С. О., Кузнецов М. П., Коханевич В. П., Шихайлов М. О.,
Аушева Н. М., Кардашов О. В., Іванченко І. В., Кармазін О. О., Ткаченко Д. Ю., Молибог О. Г.,
Коханевич В. В., Лисак О. В., Рєпкін О. О., Борсук В. В., Лисак О. В. – **розділ 2;**
Васько П. Ф., Мороз А. В. – **розділ 3;**
Морозов Ю. П., Барило А. А., Зур'ян О. В. – **розділ 4;**
Четверик Г. О., Жовмір М. М., Новицька Є. Г., Ключ В. П., Лобунець Ю. М. – **розділ 5**

**АТЛАС
ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ
ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ**

За загальної редакцією
члена-кореспондента Національної академії наук України
С. О. Кудрі

Редакційна група:

Суховерков О. В., Недзельська О. М., Іванчук О. І.,
Єзерницька С. Г.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України
вул. Метрологічна, 50, м. Київ, Україна, 03143
+38 (044) 206-28-09
www.ive.org.ua, renewable@ukr.net