НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Олександр Ганженко

АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ БІОПАЛИВА

(Монографія)

Вінниця
«Нілан-ЛТД»
2023

УДК УДК 633.62: 633.63
ББК 42.22

Ганженко О.М. Агроекологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для біопалива: монографія. – Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2023. – 320 с.

ISBN 978-966-924-997-5

Монографію розглянуто та схвалено до друку Вченою Радою Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України (протокол №18 від 15.12.2022 р.)

Рецензенти:

Рахметов Д.Б., *доктор сільськогосподарських наук, професор, заступник директора з наукової роботи (інноваційний розвиток), завідувач відділу культурної флори Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України*

Сторожик Л.І., *доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник лабораторії насіннєзнавства, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України*

Кулик М.І., *доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри селекції, насінництва і генетики Полтавського державного аграрного університету МОН України*

Адреса редакційної колегії: Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, Київ – 110, 03110, тел. (044) 275-50-00; факс (044) 275-50-00.

У монографії висвітлено результати комплексних досліджень, проведених в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2010 - 2020 рр. з агробіологічного обгрунтування процесу формування продуктивності цукроносних культур як сировини для виробництва біопалива у Лісостепу України.

Визначено агробіологічні основи формування продуктивності сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) і буряків цукрових (*Beta vulgaris L.*) залежно від сортового асортименту, доз мінеральних добрив, строків сівби насіння та збирання цукромісткої біомаси для різних частин Лісостепу України. Встановлено морфологічні й фізіологічні особливості формування і реалізації біологічного потенціалу продуктивності цукроносних культур, обгрунтовано оптимальні строки збирання врожаю залежно від елементів технології вирощування та факторів зовнішнього середовища.

Для науковців, студентів вищих аграрних закладів освіти III-IV рівнів акредитації, агрономів, керівників господарств, фермерів, зацікавлених у вирощуванні цукроносних культур на біопаливо.

ISBN 978-966-924-997-5 **УДК 633.62: 633.63**
ББК 42.22

© Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, 2023
© Ганженко Олександр Миколайович, 2023

ЗМІСТ

Стор.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ……..… 8

ВСТУП ……...… 9

РОЗДІЛ 1. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ БІОЕНЕРГЕТИКИ ТА МІСЦЕ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР У ФОРМУВАННІ СТАЛОЇ СИРОВИННОЇ БАЗИ…….....….. 11

1.1. Екологічні та економічні передумови розвитку відновлювальних джерел енергії……. 11

1.2. Цілі України на шляху до побудови низьковуглецевої економіки…… 16

1.3. Особливості використання цукроносних культур для виробництва біопалива……. 19

1.4. Біологічні особливості сорго цукрового як біоенергетичної культури……. 23

1.4.1. Ботанічний опис рослин роду Сорго (*Sorghum*)……. 24

1.4.2. Фази розвитку рослин сорго цукрового……..…. 27

1.4.3. Перспективи використання сорго цукрового для біоенергетики……..… 30

1.4.4. Продуктивність сорго цукрового залежно від рівня мінерального живлення…….…… 33

1.4.5 Залежність продуктивності сорго цукрового від сортових особливостей та тривалості вегетації рослин 37

1.5. Аналіз можливостей використання буряків цукрових для виробництва біопалива……..…. 40

1.5.1. Сучасні тенденції щодо застосування добрив під час вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі……...…. 40

1.5.2. Вплив строків збирання біомаси буряків цукрових на вихід біопалива……..…… 41

1.5.3. Особливості виробництва біогазу та біоетанолу з біомаси буряків цукрових в Україні…… 42

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ…… 48
2.1. Ґрунтово-кліматичні та погодні умови проведення досліджень……. 48
2.1.1 Зона нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України (Білоцерківська ДСС)…….. 49
2.1.2 Зона недостатнього зволоження Лісостепу України (Веселоподільська ДСС)…….. 54
2.1.3 Зона нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України (Іванівська ДСС)…….. 60
2.1.4 Зона нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України (Ялтушківська ДСС)…… 65
2.2. Характеристика сортів та гібрида цукроносних культур… 71
2.2.1. Характеристики сортів і гібридів сорго цукрового… 71
2.2.2. Характеристики сортів і гібридів буряків цукрових 76

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР …… 79
3.1 Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового…… 79
3.1.1. Методологія розрахунку виходу біоетанолу з біомаси сорго цукрового……..…. 79
3.1.2 Теоретичні основи розрахунку виходу твердого біопалива…… 82
3.1.3. Визначення енергетичного потенціалу за виходом біогазу з біомаси сорго цукрового…… 84
3.2. Методичні основи оцінки енергетичного потенціалу буряків цукрових…….. 86
3.2.1. Методологія розрахунку виходу біогазу з біомаси буряків цукрових…….. 87
3.2.2. Теоретичні основи визначення виходу біоетанолу з коренеплодів буряків цукрових……... 88

РОЗДІЛ 4. АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР……..…… 91
4.1. Розробка методики для визначання площі листкової поверхні сорго цукрового…… 91
4.1.1. Аналіз методів визначення площі листкової поверхні рослин сорго цукрового…… 92

4.1.2. Методика визначання площі листкової поверхні методом сканування……..... 95
4.1.3 Удосконалення розрахункового методу визначання площі листкової поверхні……. 98
4.2. Побудова стохастичної моделі для прогнозування фракційного складу коренеплодів буряків цукрових…... 103
4.2.1. Агробіологічні основи розрахунку діаметра коренеплодів буряків цукрових залежно від врожайності та густоти стояння рослин……. 104
4.2.2. Стохастичне моделювання фракційного складу коренеплодів…… 107

РОЗДІЛ 5. ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ СОРТУ, СТРОКІВ СІВБИ НАСІННЯ ТА ДОЗ ДОБРИВ…….. 111
5.1. Енергетична продуктивність сорго цукрового у центральній частині Лісостепу України…… 111
5.2. Особливості формування продуктивності сорго цукрового у зоні недостатнього зволоження…… 118
5.3. Залежність продуктивності сорго цукрового від технологічних чинників у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України…….. 126
5.4. Особливості формування продуктивності рослин сорго цукрового на ґрунтах з низьким рівнем родючості……. 134
5.5. Порівняльна оцінка енергетичного потенціалу сортів і гібридів сорго цукрового…… 140

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИРОЩУВАННЯ…… 147
6.1 Вплив густоти стояння рослин, дози добрив та сортових особливостей на формування продуктивності буряків цукрових у центральній частині Лісостепу України…… 147
6.1.1. Вплив густоти стояння рослин на формування продуктивності буряків цукрових…… 148
6.1.2. Залежність енергетичної продуктивності буряків цукрових від доз мінеральних добрив……. 152

6.2. Особливості формування продуктивності буряків цукрових залежно від густоти стояння рослин та доз добрив у зоні недостатнього зволоження…… 161
6.3. Залежність продуктивності буряків цукрових від сортових особливостей, доз добрив та густоти стояння рослин у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України……. 168
6.4. Особливості формування енергетичної продуктивності рослин буряків цукрових на малопродуктивних землях ……... 175

РОЗДІЛ 7. АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД СТРОКІВ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ……. 183
7.1. Особливості накопичення енергетично корисних речовин у буряків цукрових вирощених на малопродуктивних землях…… 184
7.2. Динаміка накопичення енергетично цінної біомаси у центральній частині Лісостепу України…….. 188

РОЗДІЛ 8. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРГО ЦУКРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА СТРОКІВ ЗБИРАННЯ БІОМАСИ……..... 200
8.1. Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового в зоні недостатнього зволоження Лісостепу України……. 200
8.2. Продуктивність сорго цукрового у зоні нестійкого зволоження східної частини Лісостепу України……... 206
8.3. Вплив строків збирання біомаси на продуктивність рослин сорго цукрового у зоні нестійкого зволоження центральної частини Лісостепу України…… 216
8.4. Особливості реалізації біологічного та енергетичного потенціалу рослин сорго цукрового на малопродуктивних землях……... 225
8.5 Оцінка енергетичного потенціалу сорго цукрового залежно від тривалості періоду вегетації рослин…….. 234
8.6. Особливості збирання та переробляння біомаси сорго цукрового на біопаливо……... 241

РОЗДІЛ 9. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА АГРОБІОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ СОРГО ЦУКРОВОГО…… 248

9.1. Вплив особливостей сорту, фази розвитку рослин та способу подрібнення стебел на вихід соку……... 250

9.2. Залежність цукристості соку від способів його отримання та сортових особливостей сорго цукрового... 253

РОЗДІЛ 10. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ БІПАЛИВА…… 255

10.1 Енергетична та економічна ефективність застосування добрив під час вирощування сорго цукрового на енергетичні цілі…… 255

10.2. Економічна оцінка біомаси сорго цукрового залежно від строків збирання біомаси…….. 262

10.3. Енергетична та економічна ефективність вирощування буряків цукрових на енергетичні цілі……. 265

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ…… 270

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ…… 275

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 277

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БЦ ДСС – Білоцерківська дослідно-селекційна станція;

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

ВП ДСС – Веселоподільська дослідно-селекційна станція;

ДСС – дослідно-селекційна станція

ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянінова;

ЄЗК – Європейський Зелений Курс;

ІБКіЦБ – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків;

І ДСС – Іванівська дослідно-селекційна станція;

ІЗК НААН – Інституту зернових культу НААН.

ККЕ – коефіцієнт енергетичної ефективності.

НААН – Національна академія аграрних наук України;

ПГ – парникові гази;

ПКУ – Паризька Кліматична Угода;

СГІ – НЦНС – Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення

т н. е. – тон нафтового еквівалента;

т ум. п. – тон умовного палива;

Я ДСС – Ялтушківська дослідно-селекційна станція;

ВСТУП

Загострення екологічних проблем спонукає людство до пошуку шляхів виробництва і використання відновлювальних джерел енергії, що визнано одним із пріоритетів світової економіки [3, 6, 96, 138, 190]. Підтвердженням цього слугує підписання нової Кліматичної Угоди, яка передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури через приведення у другій половині XXI століття викидів парникових газів до рівня, який природа здатна переробляти без шкоди для себе [4, 25, 50, 72, 73, 134, 155, 201, 218]. З цією метою передбачається щорічно залучати 100 млрд $ для заміни традиційних джерел енергії відновлювальними, серед яких значне місце посідає біоенергетика.

Щорічно Україна імпортує викопні енергоносії майже на 15 млрд $, водночас не достатньо задіяний потенціал відновлювальних джерел енергії, на які багата наша держава [278]. Позитивно те, що динаміка останніх років засвідчує збільшення частки відновлювальних джерел енергії в енергобалансі держави. Так, якщо у 2012 році обсяги заміщення природного газу біопаливом становили лише 1,1 млрд м^3, то у 2020 р. – 4,5 млрд м^3 [293]. Однак це значно менше від загальносвітового рівня, адже частка біоенергетики у структурі світового енергоспоживання перевершує 16 відсотків.

Отже, для забезпечення подальшого зростання галузі біоенергетики необхідно створити достатню кількість високоякісної сировинної бази, провідне місце у формуванні якої відводиться цукроносним культурам – сорго цукровому (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) та бурякам цукровим (*Beta vulgaris* L.).

На сучасному етапі продуктивність посівів цукроносних біоенергетичних культур буряків цукрових і сорго цукрового та обсяги виробництва з них біопалива залишаються недостатніми. У структурі кінцевого споживання енергії в Україні частка біоенергетики становить лише 4,2 %. Тому, підвищення врожайності та зниження собівартості вирощування цукромісткої біомаси створює передумови для активізації розвитку вітчизняної біоенергетичної галузі, що сприятиме досягненню стратегічних завдань, які Україна зобов'язалась виконати на шляху до побудови кліматично нейтральної економіки.

Вагомий внесок у розв'язання проблем, пов'язаних із вирощуванням цукромісткої біомаси, як сировини для виробництва різних видів біопалива належить таким вітчизняним ученим, як М.В. Роїк [413, 415, 416, 417, 418, 421, 422, 424, 425, 426, 427], В.М. Сінченко [242, 411, 412, 435, 438, 439], В.Л. Курило [249, 339, 342,

349, 413, 414, 424, 425, 426, 427], Л.І. Сторожик [429, 443, 444], С.М. Каленська [297, 325, 326, 375, 384, 385, 396, 409, 462], Д.Б. Рахметов [341, 369, 454, 455], М.І. Кулик [46, 105, 244, 304, 305, 337, 341, 382, 408, 453], М.Я. Гументик [242, 349, 413, 414, 424, 425, 426, 427], В.А. Доронін [299, 433], Я.Д. Фучило [242, 251, 252, 272], М.Б. Грабовський [75, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289], Я.П. Макух [357, 407, 440], В.Т. Саблук [430, 431, 432, 433, 434, 435], Іваніна В.В. [320, 321, 322, 323, 324, 461], В.С. Бондар [412], Л.А. Правдива [246, 249, 251, 266, 267, 274, 339, 342, 398], О.Б. Хіврич [249, 250, 251, 254, 273, 346], Н.О. Кононюк [252, 340, 411, 420], В.Л. Гамандій [249, 251, 302], О.В. Яланський [251] та інші.

За кордоном над проблемою вирощування цукромісткої біомаси працювали Hassan M.U. [80, 81], Ratnavathi C. [164], Almodares A. [10], Prasad S. [162], Reddy B.V. [166], Soltani A. [192], Teetor V.H. [199], Lueschen W.E. [114], Atis I. [17], Oyier M.O. [146], Ferreira O.E. [64], Nur A. [143], Teixeira T.P.M. [200], Vlachos C.E. [209], Dahlberg J. [42], Ayodele B.V. [18], Appiah-Nkansah N.B. [15], Mathur S. [124], Julius B.T. [91], Manevski K. [191, 117, 219], Bulgari R. [30], Torma S. [205], Abyaneh H.Z. [2], Laufer D. [108], Pastor-Bueis R. [153], Demirbas A. [47], Kocar G. [100], Parawira W. [152], Goux X. [74], Manochio C. [118], Demirel B. [49, 48, 180], Kreuger E. [69, 103], Gissen C. [69], Van Dyk J. [208], Zieminski K. [222, 223], Fang C. [60, 61], Whitfield M.B. [215], Sjoblom M. [187], Christoph N. [39], Sarris D. [178], Vucurovic V.M. [210], Solati Z. [191], Stoms D.M. [196], Koga N. [101], та інші.

Для забезпечення внутрішніх потреб у рідкому та газоподібному біопаливі в Україні потрібно висівати близько 1,5 млн га біоенергетичних цукроносних культур (1 млн га буряків цукрових та 0,5 млн га сорго цукрового). Тому актуальним стає питання здійснення оцінки енергетичного потенціалу сучасних сортів і гібридів цукроносних культур та розробляння високоефективної технології їх сталого вирощування у різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Дослідження, викладені у монографії виконувалися в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України впродовж 2011 - 2020 рр. згідно з ПНД НААН 22 «Біоенергетичні ресурси» (2011 - 2015 рр.) та ПНД НААН 16 «Біоенергетичні ресурси» (2016 - 2020 рр.) за завданнями: 0111U003122, 0111U003123, 0113U005995, 0116U002197, та 0116U002201.

РОЗДІЛ 1
СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ БІОЕНЕРГЕТИКИ ТА МІСЦЕ ЦУКРОНОСНИХ КУЛЬТУР У ФОРМУВАННІ СТАЛОЇ СИРОВИННОЇ БАЗИ

1.1. Екологічні та економічні передумови розвитку відновлювальних джерел енергії

Розвиток людської цивілізації супроводжується постійним зростанням споживання енергетичних ресурсів. Так впродовж останніх 55 років світові обсяги споживання енергії зросли майже у 4 рази, з 43 тис.ТВт-год у 1965 році до 162 тис.ТВт-год у 2019 році, при цьому споживання нафтопродуктів за цей час зросло у 3 рази, вугілля – у 2,7 разу, природного газу – у 6,2 разу (рис. 1.1). Станом на 2019 рік 84,3 % енергії в світі виробляється з викопних видів палива: нафти (33,1 %), вугілля (27,0 %) та природного газу (24,2 %) і лише 15,7 % – це енергія, вироблена за низьковуглецевими технологіями: атомна (4,3 %), гідроелектростанції (6,5 %) та відновлювальні джерела енергії (5 %) [5, 21, 57, 77, 99].

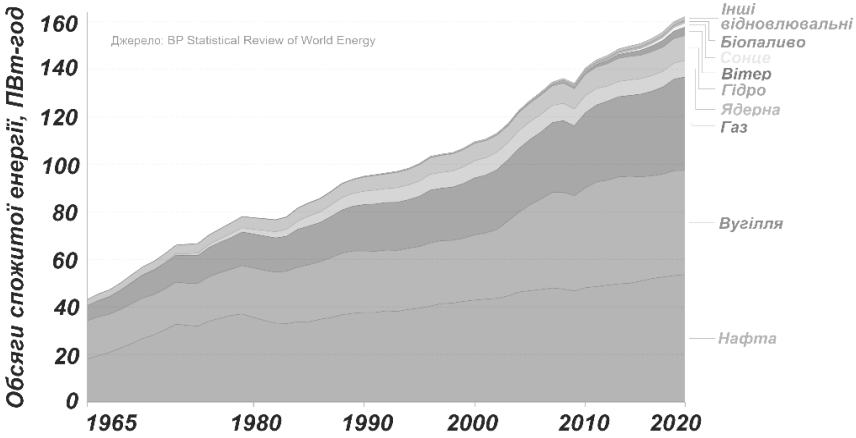

Рис. 1.1. Динаміка та структура світового споживання енергії [57].

Таке інтенсивне використання викопних джерел енергії впродовж останніх 55 років призвело до зростання викидів парникових газів (ПГ) в атмосферу Землі більш ніж у тричі. Так, якщо у 1965 році

емісія вуглекислого газу від спалювання викопних енергоносіїв становила 11,3 млрд т, то за 2019 рік в атмосферу потрапило 36,5 млрд т CO_2 (рис. 1.2). Це призвело до зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері Землі, що стало причиною глобальних змін клімату, головним індикатором яких є зростання середньої температури повітря на планеті [6, 41, 190].

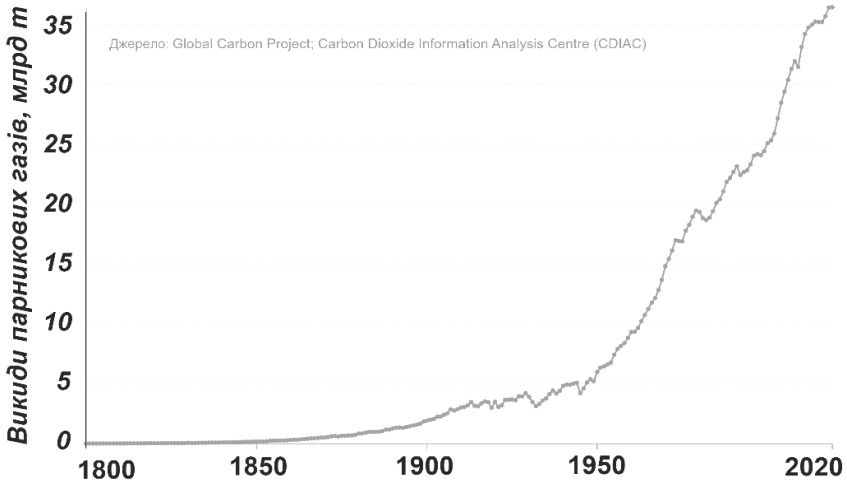

Рис. 1.2. Глобальні викидів вуглекислого газу від спалювання викопних палив [41].

Проаналізувавши структуру світових викидів парникових газів за галузями виробництва можна зробити висновок, що майже три чверті викидів генерується в галузі енергетики, майже п'ята частина – в галузі сільськогосподарського виробництва, а решта 8,4 % – у промисловості та з відходів (рис. 1.3). Цілий ряд галузей та процесів сприяють глобальним викидам, тому немає єдиного або простого рішення для боротьби зі зміною клімату. Зосередження лише на електроенергії, транспорті, продуктах харчування або вирубці лісів є недостатнім. Навіть якщо повністю вдасться декарбонізувати виробництво електроенергії, потрібно буде електрифікувати опалювальний сектор та автомобільний транспорт, крім того залишилися б викиди від судноплавства та авіації, для вирішення яких ще відсутні низьковуглецеві технології [3, 96, 138, 168].