

## ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ТА ОДЕРЖАННЯ МУЛОВИХ МАС СТІЧНИХ ВОД

**В. І. Дубовий**

доктор сільськогосподарських наук, професор  
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)  
e-mail: vidubovy@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8637-0023>

**С. В. Кліщенко**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)  
e-mail: klisch@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-5956-8137>

**О. О. Будак**

кандидат сільськогосподарських наук  
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)  
e-mail: olegkrivbas@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9166-1557>

**І. В. Холоденко**

аспірант  
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)  
e-mail: khodenkoivan@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4978-9079>

У статті розглянуто сучасні підходи до забезпечення сільського господарства поживними речовинами з позицій ресурсоефективності, енергоощадності та сталого розвитку. Основну увагу приділено порівнянню сировинних і енергетичних витрат на виробництво традиційних мінеральних добрив та одержання мулових мас стічних вод (ММСВ) як альтернативного виду органо-мінеральних добрив. Показано, що виробництво мінеральних добрив, зокрема азотних, є надзвичайно енергоємним і супроводжується значними обсягами викидів парникових газів —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  та  $\text{CH}_4$ , які негативно впливають на стан довкілля та сприяють глобальним кліматичним змінам. Для синтезу аміаку, який є основним компонентом азотних добрив, необхідна велика кількість природного газу, електроенергії та водню. Виробництво фосфорних і калійних добрив також базується на використанні невідновлюваних мінеральних ресурсів, видобуток яких призводить до деградації земель, утворення токсичних відходів і забруднення водних об'єктів. На відміну від цього, ММСВ утворюються природним шляхом у процесі очищення комунальних і промислових стоків, тому не потребують додаткового залучення природних ресурсів. Основні енергетичні витрати під час їх отримання припадають на процеси подачі, фільтрації, аерації, зневоднення та стабілізації, проте в цілому вони в кілька разів нижчі, ніж під час виробництва традиційних мінеральних добрив. До складу ММСВ входять органічна речовина, сполуки азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, а також мікроелементи, необхідні для росту й розвитку рослин, що забезпечує їхню високу агрономічну цінність. У контексті переходу до циркулярної економіки використання ММСВ як добрива є перспективним напрямом для підвищення екологічної, енергетичної та економічної ефективності аграрного виробництва. Застосування таких добрив дає змогу зменшити залежність агросектору від викопних ресурсів, скоротити викиди парникових газів, мінімізувати обсяги захоронення відходів і сприяти створенню замкнених циклів використання ресурсів. Стаття містить аналітичне обґрунтування доцільності впровадження цих екологічно збалансованих практик в Україні.

**Ключові слова:** процес Габера–Боша, парникові гази, енергетичні витрати, сировинна база, циркулярна економіка, агрономічна цінність, очищення стічних вод, сталий розвиток.

### ВСТУП

Сільське господарство значною мірою залежить від використання мінеральних добрив як засобу підвищення врожайності сільськогос-

подарських культур. Однак виробництво таких добрив є енергоємним та екологічно небезпечним процесом, що потребує значних обсягів викопних ресурсів, наприклад, природного газу

для отримання аміаку, що призводить, своєю чергою, до утворення парникових газів. Так, за даними Міжнародної асоціації виробників добрив, енерговитрати на виробництво 1 тонни аміачної селітри можуть сягати 28–32 ГДж, а фосфорних добрив — 5–10 ГДж, залежно від типу сировини та технології [1].

Водночас, з огляду на необхідність переходу до циркулярної економіки та підвищення ефективності управління відходами, дедалі більшої уваги набуває використання мулових мас стічних вод як альтернативного джерела поживних речовин. ММСВ утворюються як побічний продукт механічної та біологічної очистки стічних вод і містять значну кількість органічної речовини та сполуки азоту, фосфору, калію й мікроелементи. Основні енергетичні витрати в цьому випадку припадають на аерацію та зневоднення мулу, що є суттєво менш енергоємним процесом порівняно з повним виробничим циклом мінеральних добрив [2].

Урахування екологічних та економічних чинників і порівняння енерго- та ресурсозатратності зазначених добрив дають змогу зробити обґрунтований вибір на користь більш сталих технологій в аграрному виробництві. Вивчення цих аспектів є актуальним у контексті сталого розвитку, ресурсозбереження та оптимізації поводження з побічними продуктами водоочищення.

Саме тому **метою нашої роботи** є проведення детального аналізу спеціальних літературних джерел щодо еколого-економічних аспектів виробництва мінеральних добрив. Окрім того, робота висвітлює особливості одержання ММСВ і можливості їх використання як добрив з урахуванням принципів екологічної безпеки та підвищення ефективності поводження з відходами.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанню енергоефективності та екологічної безпеки виробництва мінеральних добрив присвячені праці багатьох учених. Так, у роботах [1–3] зазначено, що виробництво азотних добрив, особливо на основі аміаку, залишається одним із найбільш енергоємних промислових процесів. За даними Міжнародної асоціації добрив, на виробництво 1 т аміачної селітри витрачається до 32 ГДж енергії, а процес супроводжується значними викидами  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  і  $\text{CH}_4$  [1]. Подібні результати наведено в дослідженнях С. Smith і співавт., де показано, що азотна промисловість є джерелом близько 2% глобальних викидів  $\text{CO}_2$  [3].

Фосфорні та калійні добрива також характеризуються високими витратами природних

ресурсів і складними технологіями збагачення руд, що призводить до утворення токсичних відходів і деградації земель [4; 5]. Так, L. Egle та ін. зазначають, що видобуток фосфоритів наближається до межі економічної доцільності, тому зростає інтерес до вторинних джерел фосфору — зокрема осадів стічних вод [6].

Актуальним напрямом досліджень є оцінка можливостей використання ММСВ як альтернативного джерела поживних речовин для сільського господарства. Дослідження різних технологій стабілізації та компостування осадів показали, що ММСВ містять значну кількість органічної речовини, сполук азоту, фосфору, калію та мікроелементів, що забезпечує їхню високу агрономічну цінність [7; 8]. При цьому енергетичні витрати на їх підготовку (аерацію, зневоднення тощо) в 3–5 разів нижчі порівняно з виробництвом традиційних добрив [7].

Водночас окремі автори акцентують увагу на екологічних ризиках, пов'язаних із можливим накопиченням важких металів, фармацевтичних залишків та пер- і поліфторалкільних речовин (PFAS) у ММСВ [9]. Так, дослідженнями останніх років показано ефективність комбінованих методів знезараження осадів (термічного сушіння, біостабілізації, піролізу), що суттєво знижують уміст мікробіодобуток і підвищують безпечність отриманого добрива [10; 11].

Отже, аналіз наукових публікацій свідчить, що використання ММСВ як органічно-мінерального добрива відповідає принципам сталого розвитку, сприяє зменшенню споживання викопних енергоресурсів і скороченню викидів парникових газів. Актуальними залишаються питання нормативного регулювання, контролю безпечності та довгострокового впливу таких добрив на агроecosистеми.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Серед мінеральних добрив лівова частка припадає на азотні, які виробляються за допомогою енергоємного процесу Габера–Боша (ГБ). Цей промисловий процес синтезу аміаку потребує значної кількості енергії (41 ГДж/1000 кг азоту) та сприяє викидам парникових газів (1920 кг вуглекислого газу при використанні природного газу) [12].

Розробка процесу Габера–Боша сприяла виробництву аміаку в промислових масштабах для азотних добрив. Поточне світове виробництво аміаку становить майже 150 млн тонн і споживає 100 млн тонн світового виробництва природного газу (близько 8,5%). За оцінками, майже 85% світового виробництва аміаку використовується для виробництва добрив (сечовини та нітратів). Процес перетворення аміаку

на нітрати або сечовину споживає додаткову енергію, що робить загальне споживання природного газу в галузі добрив вищим, ніж під час синтезу аміаку [12].

Висока енергоємність виробництва добрив і низька ефективність використання азоту добрив рослинами призводять до екологічних проблем, таких як деградація ґрунту, евтрофікація, забруднення ґрунтових вод та викиди аміаку й парникових газів [13]. Як відомо, на механізм використання азоту добрива рослиною суттєво впливають погодні умови під час їх внесення, а також фаза розвитку рослин.

Хоча синтетичні добрива забезпечують виняткову врожайність, вони суттєво впливають на клімат. Приблизно 84% викидів від їх виробництва припадає на синтез аміаку, який зазвичай здійснюється з використанням природного газу [14].

Добрива є ключовим елементом сучасного сільського господарства, забезпечуючи потреби в харчуванні половини населення світу. Азот (N), фосфор (P) та калій (K) є основними поживними речовинами, необхідними рослинам для оптимального росту, і саме ці три елементи використовуються для виробництва відповідних добрив. За даними Міжнародної асоціації добрив (IFA), близько 20–50% викидів пов'язано з виробництвом добрив, тоді як 50–80% утворюється під час їх внесення [14].

Відомо, що азот, фосфор і калій як макроелементи відіграють важливу роль у життєдіяльності рослин, а відповідно, і в сільському господарстві. Варто зазначити, що промислове виробництво поташу (торгової назви мінералів, що містять калій, який використовується для добрив) та фосфату (сольової форми фосфору) розпочалося в середині XIX століття. Роль азоту ще не була досліджена, тому перші азотні добрива з'явилися набагато пізніше. Промислове виробництво фосфорних добрив розпочалося в 1840 році. Новітні хімічні методи обробки фосфоритної породи забезпечили промислове виробництво суперфосфату та призвели до будівництва десятків заводів із виробництва добрив по всьому світу до кінця XIX століття. Виробництво поташу було обмежене доступністю сировини, а родовища солі, відкриті в Німеччині в 1860 році, стали першим великомасштабним джерелом поташу у світі. Німеччина стала світовим лідером у виробництві поташу й утримувала цю позицію до XX століття, коли значні його родовища були виявлені в інших регіонах світу [14].

Елементи азотного кругообігу були відкриті поетапно протягом XIX століття. Коли було визнано наявність азоту в ґрунті та механізми його поглинання, попит на азотні доб-

рива почав різко зростати. На початку 1900-х років було розроблено три методи промислового виробництва азотних добрив: виробництво нітрату кальцію за допомогою електродугового процесу, виробництво ціанаміду кальцію з використанням електричної печі та синтез аміаку за допомогою процесу Габера–Боша, останній із яких зрештою став основним способом виробництва. На сьогодні у США споживання азоту перевищує сумарне споживання калію та фосфору, що визначає його домінування на ринку добрив. З огляду на вирішальну роль азоту в сільському господарстві, масштабне виробництво аміаку є важливим для задоволення світового попиту на підвищення продуктивності рослин. Для цього аміак синтетично виробляється за допомогою промислових процесів, які перетворюють атмосферний азот у форму, придатну для використання в добривах. Процес Габера–Боша — це метод, за допомогою якого водень та азот перетворюються на аміак ( $\text{NH}_3$ ) за допомогою реактора високого тиску і температури, а також хімічного катализатора. Процес ГБ, що використовується в промисловості з початку 1900-х років, вважається зрілою технологією. Однак, якщо азот отримують із повітря, водень традиційно виробляють із природного газу (метану) за допомогою процесу, відомого як парометановий риформінг (SMR), у результаті якого виділяється значна кількість вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ). На цей процес припадає понад 1% світових викидів парникових газів [14].

Складні проблеми, пов'язані з вуглецевоємним процесом виробництва аміаку, та коливання цін на природний газ призвели до потреби в альтернативних низьковуглецевих шляхах виробництва аміаку. На щастя, протягом останніх кількох десятиліть з'явилися перспективні технологічні рішення для декарбонізації виробництва аміаку. Технології виробництва аміаку зазвичай поділяються на дві категорії: ті, що використовують процес ГБ, та ті, що є більш інноваційними. Завдяки уловлюванню викидів вуглецю або отриманню водню з інших сировинних матеріалів, таких як вода, процес виробництва аміаку може стати значно менш вуглецевоємним [14].

Понад 100 років тому німецькі вчені Фріц Габер і Карл Бош винайшли спосіб промислового виробництва аміаку — суміші водню та азоту. Згодом їхні інновації допомогли трансформувати сільське господарство, давши змогу виробляти добрива, що сприяли різкому зростанню врожайності сільськогосподарських культур.

Сьогодні азотні добрива, отримані з аміаку, використовуються для вирощування сільськогосподарських культур, які забезпечують отримання

мання необхідних продуктів харчування майже для половини населення світу. Однак проблема полягає в тому, що виробництво аміаку потребує значної кількості викопного палива [15].

Для виготовлення рідких мінеральних добрив використовують сухі мінеральні добрива.

У процесі виробництва карбамідно-аміачної суміші (КАС) як сировина використовуються аміачна селітра (40–45%), карбамід (30–35%) і вода (20–30%). Для технології виготовлення рідких комплексних добрив (РКД) застосовують монокаліюфосфат МКР 0-52-34 (35%), КОН (90%), калію гідроксид (8%) і воду (57%).

Технологічна схема виготовлення рідких добрив складається з наступних операцій: підготовка і нагрівання води; подача сировини в ємність змішувача; розчинення сировини шляхом інтенсивного перемішування/нагрівання; введення добавок за потреби; фільтрація готового продукту; відвантаження готового рідкого добрива в транспортну ємність [16].

Так, для виробництва 1 тонни аміаку в середньому потрібно 1066 м<sup>3</sup> газу, 1 тонни аміачної селітри — 514 м<sup>3</sup> газу, 1 тонни КАС — 442 м<sup>3</sup> газу, 1 тонни карбаміду — 740 м<sup>3</sup> газу [17].

Виробництво сульфату амонію поєднує такі виробничі процеси. Спочатку аміак (NH<sub>3</sub>) і сірководень (H<sub>2</sub>S), який потім реагує з аміаком у присутності каталізатора, утворюючи сульфат амонію. На наступному етапі відбуваються сушіння, калібрування та очистка від можливих забруднень, які можуть впливати на якість кінцевого продукту. Після гранулювання гранули сульфату амонію піддаються процесу сушіння

для видалення надлишкової вологи і підготовки до фасування та зберігання.

Виготовлення комплексних добрив азотно-фосфорно-калійних (NPK) проводиться шляхом синтезу азотного, фосфорного та калійного компонентів. Цей процес є складнішим через потребу в утворенні комплексних сумішей азоту (N), фосфору (P) та калію (K), а також можливих додаткових елементів.

Кожен компонент (N, P, K) може бути отриманий окремо за допомогою відповідних процесів синтезу, таких як амоніаковий процес для азоту, фосфоритний процес для фосфору та розчинний процес для калію. Отримані окремо компоненти змішуються у визначених пропорціях для формування комплексної суміші NPK, зокрема з додаванням сірки. Ця суміш може містити також інші добавки, які покращують властивості добрива або доповнюють його склад. Енергозатратна сушка допомагає забезпечити стабільність і якість гранул, запобігаючи їх злипанню або розкладанню під час зберігання, що в підсумку впливає на собівартість добрив (табл. 1).

Виробництво калійного хлориду (KCl) також є складним технологічним процесом та охоплює кілька основних етапів: сушіння, калібрування і гранулювання відповідно до технологічної схеми. Після гранулювання гранули сульфату амонію піддаються сушінню для видалення надлишкової вологи і підготовки до фасування та зберігання [7].

В Україні функціонує низка підприємств із виробництва мінеральних добрив. Серед них — ТОВ «ІНФО КАР» у м. Київ. Виробництво рідких і гранульованих мінеральних добрив стано-

Таблиця 1

**Реалізаційна ціна мінеральних добрив агрохімічної компанії Grossdorf станом на 05.08.2025 р.**

Найменування продукції	Пакування	Виробник	Вартість, грн
КАС-32	Налив	Україна	22 500
КАС-30	Налив	Україна	21 500
КАС 26+4S	Налив	Україна	17 000
Аміачна селітра	Біг-бег	Імпорт	25 000
Карбамід (сечовина)	Біг-бег	Імпорт	27 000
Сульфат амонію	Біг-бег	Україна	12 500
Нітроамофоска N15:P15:K15+11S	Біг-бег	Україна	27 400
Сульфоамофос N20:P20+15S	Біг-бег	Україна	28 900
Діамофоска N10:P26:K26+2S	Біг-бег	Україна	37 800
Діамофоска N10:P20:K30+3S	Біг-бег	Україна	33 900
Діамофоска N8:P24:K24	Біг-бег	Україна	34 300
Калій хлористий	Біг-бег	Імпорт	22 500

Джерело: [18].

вить 63 т на добу. У 2018 році обсяг виробництва становив 127 000 т на рік. При цьому загалом витрачено 25,288 тис. м<sup>3</sup> води на рік, з яких: на господарсько-побутові потреби — 0,803 тис. м<sup>3</sup>/рік, на виробництво продукції — 24,485 тис. м<sup>3</sup>/рік. Кількість використаної електроенергії не зазначається [19].

Серед різних типів підприємств хімічної промисловості найбільший інтерес становлять підприємства з виробництва фосфорних і комплексних добрив. Це пов'язано зі шкідливістю вихідних продуктів — фосфору, азотної кислоти, апатитів, а також через комплекс технологічних процесів та утворення токсичних інгредієнтів у процесі виробництва, таких як фтор, аміак, окиси азоту та інші сполуки.

Шкода, яку завдають мінеральні добрива під час їх виробництва навколишньому середовищу, є колосальною. Це охоплює викиди шкідливих речовин у повітря та воду, енерго- і ресурсоспоживання, викиди парникових газів тощо.

Слід зазначити, що це виробництво є надзвичайно небезпечним, адже потребує суворого дотримання технології. Неважко провести аналогію з виробництвом інших видів добрив.

Численні дослідження показують негативні наслідки систематичного використання мінеральних добрив. В умовах мінеральної системи живлення рослин відбувається надмірне накопичення в ґрунті мінеральних форм азоту в нітратній формі. Мінеральні добрива часто незбалансовані за поживними речовинами і представлені формами, які розчиняються та засвоюються лише на 40%, тоді як залишок (60%) змивається поверхневими і внутрішніми стоками у Світовий океан або втрачається внаслідок денітрифікації. Значна їх кількість є продуктами переробки відходів промисловості або низькозбагачених агроруд, які небезпечно впливають на живі організми та природні екосистеми через наявність у них домішок важких металів, радіонуклідів, органічних і неорганічних речовин [20].

Необхідно зазначити, що довгострокове використання підвищених норм внесення мінеральних добрив навіть у сівозміні призводить до негативних наслідків. Так, використання мінеральних добрив у кількості N<sub>120</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub> у багаторічному стаціонарному досліді дев'ятигіпільної сівозміни Миронівського інституту пшениці ім. В. М. Ремесла (1929–2008) при вирощуванні пшениці озимої по попереднику кукурудза на силос призвело до накопичення важких металів у ґрунті вище гранично допустимих рівнів [21].

Водночас у процесі життєдіяльності людина виробляє значну кількість каналізаційних

відходів, на очищення яких витрачаються відповідні енергетичні ресурси. Тобто очищення каналізаційних стоків є життєво необхідною ланкою для існування людства. Очевидно, що такі каналізаційні стоки є специфічними залежно від промислового розвитку регіону, але в процесі зберігання ММСВ їх мікробіологічна та агрохімічна складові стабілізуються.

У зв'язку з цим проведено дослідження агрохімічного стану ММСВ на мулових майданчиках очисних споруд м. Біла Церква [22].

За відсутності достатньої кількості органічних добрив і через ускладнене вирощування сидеральних культур унаслідок частих посушливих літньо-осінніх періодів постає необхідність пошуку альтернативних органо-мінеральних добрив. Одним із таких є ММСВ.

Відомо, що використання осаду стічних вод як добрива бере початок ще у XIX столітті. У 1860–1890 рр. у великих містах Європи, таких як Лондон, Париж, Берлін, почали розроблятися перші централізовані системи очищення стічних вод. Після механічного очищення утворювався осад, який вивозився за межі міст і використовувався на фільтраційних або зрошувальних полях [23].

У 1970–1980-х роках у країнах Західної Європи та Північної Америки ММСВ почали активно вивчати як джерело поживних речовин для рослин. Водночас посилення екологічного законодавства призвело до обмежень на спалювання або захоронення ММСВ, що, як наслідок, сприяло поширенню їх використання в аграрній галузі [7].

У країнах ЄС нині застосування ММСВ у сільському господарстві відбувається під суворим контролем відповідно до директив ЄС [24].

В Україні використання осаду як добрива має обмежену історію. У радянський період мулові маси вивозилися з очисних споруд на так звані мулові майданчики або шламонакопичувачі, де вони накопичувалися десятиліттями без утилізації. Частково осад використовувався на сільгоспугіддях, проте це носило несистемний характер [25].

Нормативні документи, що регулюють поводження з осадами стічних вод в Україні, охоплюють Закон України “Про водовідведення та очищення стічних вод” (№ 2887-IX від 12.01.2023), ДСТУ 7369:2013 “Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрення” та ДСТУ 8727:2017 “Осад стічних вод. Підготування органо-мінеральної суміші з осаду стічних вод”. Також слід враховувати “Порядок повторного використання очищених стічних вод та осаду стічних вод за умови дотримання нормативів гранично допус-

тимих концентрацій забруднюючих речовин”, затверджений наказом Мінрозвитку № 341 від 12.12.2018.

Слід зазначити, що обсяги утворення ММСВ та їх використання у світі мають свої особливості. Так, у США загальні обсяги утворення осадів стічних вод у сухій речовині становлять близько 4 млн тонн на рік, з яких 2,12 млн тонн (56%) використовуються як добрива, а решта захоронюється на полігонах, застосовується для виробництва будівельних матеріалів або спалюється [26].

У країнах ЄС загальні обсяги утворення осадів стічних вод у сухій речовині становлять майже 10–13 млн тонн на рік [27].

Першого січня 2025 року у Європейському Союзі набула чинності переглянута Директива “Про очищення міських стічних вод”, яка посилює правила очищення і забезпечує вищий рівень захисту населення та довкілля. Передбачається, що до 2040 року оновлена директива принесе фінансову вигоду в розмірі приблизно €6,6 млрд на рік [28].

В Україні, відповідно до Національного плану управління відходами до 2033 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1353-р, визначено головні напрями реалізації державної політики у сфері управління відходами. Україна повинна імплементувати положення Директиви Європейського Парламенту та Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 р. про відходи. Крім того, планується впровадити деякі положення Директиви Ради 86/278/ЄЕС від 12 червня 1986 р. про охорону навколишнього середовища і, зокрема, ґрунту, коли осад стічних вод використовується в сільському господарстві [29].

Осади стічних вод — суспензії, що виділяються в процесі механічної, біологічної, фізико-хімічної та реагентної очистки побутових (господарсько-фекальних), виробничих (промислових) і дощових (атмосферних) стічних вод. Основними утворювачами осадів стічних вод є підприємства житлово-комунального господарства. Осади стічних вод утворюються на очисних спорудах систем водовідведення (комунальної або приватної власності) в процесі очищення стічних вод. В Україні ситуація з переробленням осадів стічних вод, порівняно з іншими країнами світу, є вкрай негативною. На сьогодні на мулових майданчиках накопичено понад 5 млрд тонн осадів, з яких обробляється лише від 3 до 5%. Підприємства житлово-комунального господарства в середньому за рік скидають близько 3400 млн м<sup>3</sup> стічних вод, з яких утворюється 17 млн м<sup>3</sup> (0,5%) осаду стічних вод (0,7 млн тонн за сухою речовиною). Низький відсоток оброблення осадів стічних вод в

Україні переважно пов’язаний із недосконалим законодавством і застарілим обладнанням очисних споруд.

В Україні використовується здебільшого один спосіб захоронення мулового осаду — складування (депонування) (до 95%) осадів стічних вод і надлишкового активного мулу на мулових картах та/або накопичувачах із подальшим використанням оброблених відходів як технічних ґрунтів. Складуванню підлягають попередньо зневоднені осади стічних вод із вологістю не більше 80%. Це пов’язано з тим, що якість вітчизняних осадів мулу стічних вод не відповідає вимогам нормативів за вмістом важких металів. Проблема накопичення мулових осадів є актуальною на національному рівні — їхня площа на території України становить понад 1,5 тис. га, а обсяг накопиченого осаду станом на сьогодні перевищує 150 млн тонн, до яких щороку додається ще 5 млн тонн нових осадів. За відсутності механічного зневоднення осаду щорічна потреба в мулових майданчиках тільки для розміщення утвореного осаду стічних вод у м. Києві становить 14 га на рік, а для всієї України — 120 га на рік [29].

На прикладі ТОВ “Білоцерківвода” м. Біла Церква показано структуру енергетичних витрат у процесі очищення стічних вод та отримання ММСВ. Каналізаційні очисні споруди розташовані на відстані 3-х км від міста. Споруди введено в експлуатацію наприкінці 1971 р., а виведено на постійний технологічний режим наприкінці 1972 року. Проектна потужність очисних споруд I-ої черги — 45 тис. м<sup>3</sup>/добу. Друга черга очисних споруд міста спроектована в 1989 році за проектом ГПІ “Укрводоканал-проект” із доведенням загальної потужності до 125 тис. м<sup>3</sup>/добу [30].

Не вдаючись до аналізу детальних технологічних процесів з очищення стічних вод, доцільно зазначити, що витрати електроенергії за рік становлять у середньому 1,4 млн кВт·год при середньодобовому очищенні стічних вод обсягом 28 тис. м<sup>3</sup>. На очищення 1 м<sup>3</sup> стічних вод у середньому витрачається 0,14 кВт·год [31].

Якщо врахувати, що зі стічних вод утворюється 0,5% осаду, то на утворення 1 тонни мулових мас витрачається близько 30 кВт·год електроенергії.

## ВИСНОВКИ

Наведено сучасні підходи до забезпечення сільського господарства поживними речовинами з погляду ресурсоефективності та сталого розвитку.

Показано роль сировинних та енергетичних витрат у виробництві мінеральних добрив

і в процесі отримання мулових мас стічних вод як альтернативного виду добрив.

Зазначено, що виробництво мінеральних добрив, зокрема азотних, є надзвичайно енергоємним процесом, який потребує значної кількості енергоресурсів для синтезу аміаку та супроводжується викидами парникових газів. Фосфорні й калійні добрива також потребують використання невідновлюваних мінеральних ресурсів і складних технологічних процесів.

Висвітлено роль мулових мас стічних вод як побічного продукту очищення стічних вод, отримання яких не потребує додаткових природних ресурсів. Показано, що основні енергетичні витрати припадають на процеси подачі, фільтрації, аерації, зневоднення та стабілізації стічних вод. Загалом витрати енергії на одер-

жання ММСВ у кілька разів нижчі, ніж під час виробництва традиційних мінеральних добрив. Для отримання 1 тонни мулових мас витрачається майже 30 кВт·год електроенергії.

Показано, що до складу ММСВ входять органо-мінеральні сполуки, які визначають його агрономічну цінність. У контексті переходу до сталого розвитку використання ММСВ як добрива є перспективним напрямом, який дає змогу зменшити залежність аграрного сектора від викопних ресурсів і водночас оптимізувати систему управління відходами.

Визначено доцільність науково обґрунтованого використання ММСВ як економічно вигідного та екологічно прийняттого ресурсу в системі сталого сільського господарства під час вирощування зернових і технічних культур.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in ammonia production: 2008–2009 summary report / International Fertilizer Association. Paris: IFA, 2009. 3 p. URL: [https://www.inference.org.uk/sustainable/images/2009\\_tech\\_energy\\_efficiency.pdf](https://www.inference.org.uk/sustainable/images/2009_tech_energy_efficiency.pdf) (accessed: 05.10.2025).
2. Acharya B., Kaushik P., Singh S. et al. Potential use of sewage sludge as fertilizer in organic farming. *Cleaner Waste Systems*. 2025. Vol. 10. 100245. P. 245–250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100245>
3. Smith C., Hillier J., Ostle N. Ammonia production and its carbon footprint: global implications for climate policy. *Environmental Science & Policy*. 2020. Vol. 114. P. 123–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.028.014>
4. Skowrońska M., Filipek T. Life cycle assessment of fertilizers: a review. *International Agrophysics*. 2014. Vol. 28. P. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.2478/intag-2013-0032>
5. Cordell D., Neset T.-S. S. Phosphorus vulnerability: a qualitative framework for assessing the vulnerability of national and regional food systems to the multi-dimensional stressors of phosphorus scarcity. *Global Environmental Change*. 2014. Vol. 24. P. 108–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.005>
6. Egle L., Rechberger H., Krampe J., Zessner M. Phosphorus recovery from municipal wastewater: an integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 571. P. 522–542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.019>
7. Fyttili D., Zabaniotou A. Utilization of sewage sludge in EU: application of old and new methods — a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008. Vol. 12, iss. 1. P. 116–140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>
8. Xu J. Nutrient recovery and reuse from sewage sludge: review. *Bioresource Technology Reports*. 2024. Vol. 25. P. 101–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101825>
9. Clarke B. O., Smith S. R. Review of “emerging” organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment International*. 2011. Vol. 37. P. 226–247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.06.004>
10. Usman M. I., Tizaoui C. A critical review of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater biosolids and sludge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2025. Vol. 13, iss. 6. P. 120–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.120422>
11. Gusiatin M., Kulikowska D., Bernat K. Municipal sewage sludge as a resource in the circular economy. *Energies*. 2024. Vol. 17, iss. 11. P. 24–37. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17112474>
12. Jabłoński S., Łukaszewicz M., Kułczyński M. Manure processing as energy efficient fertilizer production technology. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2025. Vol. 27. P. 3573–3587. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-024-03051-2>
13. Wowra K., Zeller V., Schebek L. Nitrogen in life cycle assessment (LCA) of agricultural crop production systems: comparative analysis of regionalization approaches. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 763, 143009. P. 143–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143009>
14. Krimer A., Rodriguez E. Green fertilizer markets and innovation / Rocky Mountain Institute (RMI). 2025. URL: <https://rmi.org/green-fertilizer-markets-innovation> (accessed: 05.10.2025).
15. Climate tech explained: fertilizer. *The Financial Times*. 2024. URL: <https://www.ft.com/content/47967aca-6958-4ae7-b27e-011fd65a33a9> (accessed: 10.11.2025).
16. Експертний висновок на технологію приготування рідких комплексних добрив марки КАС. Суми, 2023.
17. У 2014 році Черкаський “Азот” збільшив виробництво продукції на 2,8%. *Ostchem*. 2015. 05 лют. URL: <http://www.ostchem.com/uk/press-tsentr/publikatsii/12/v-2014-godu-cherkasskiy-azot-uvelichil-proizvodstvo-produktsiina-2-8> (дата звернення: 10.11.2025).
18. Український виробник міндобрив значно знизив вартість власної продукції. *SuperAgronom.com*. 2022. 17 лют. URL: <https://superagronom.com/news/14975-ukrayinskiy-virobnik-mindobriv-znachno-zniziv-vartist-vlasnoyi-produktsiyi> (дата звернення: 10.11.2025).

19. ТОВ “ІНФО КАР”: офіційний сайт компанії. URL: <https://infokar.com.ua> (дата звернення: 10.11.2025).
20. Zhang X., Davidson E., Mauzerall D. et al. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*. 2015. Vol. 528. P. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature15743>
21. Дубовий О. В. Екологічна оцінка технологій вирощування озимої пшениці в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2013. 21 с.
22. Дубовий В. І., Будак О. О., Холоденко І. В., Ляшинська О. В. Роль мулових мас стічних вод у розширенні асортименту органо-мінеральних добрив. *Збалансоване природокористування*. 2025. № 2. С. 113–119. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2025.337157>
23. Kelessidis A., Stasinakis A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*. 2012. Vol. 32, iss. 6. P. 1186–1195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.012>
24. Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture: consolidated text. *Council of the European Union*. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/1986/278/2022-01-01> (accessed: 05.10.2025).
25. Зоріна О. В., Маврікин Є. О. Сучасні підходи до обробки та утилізації вторинних осадів господарсько-побутових стічних вод. *Меліорація і водне господарство*. 2021. № 2. С. 55–68. DOI: 10.31073/mivg202102-301
26. Basic information about sewage sludge and biosolids. *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*. URL: <https://www.epa.gov/biosolids/basic-information-about-sewage-sludge-and-biosolids> (accessed: 05.10.2025).
27. Bianchini A., Bonfiglioli L., Pellegrini M., Saccani C. Sewage sludge management in Europe: a critical analysis of data quality. *International Journal of Environment and Waste Management*. 2016. Vol. 18, no. 3. P. 226–238. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJEW.2016.10001645>
28. New rules on urban wastewater management set to enter into force on 20 December 2024. *European Commission*. 2024. URL: [https://environment.ec.europa.eu/news/new-rules-urban-wastewater-management-set-enter-force-2024-12-20\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/new-rules-urban-wastewater-management-set-enter-force-2024-12-20_en) (accessed: 02.11.2025).
29. Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1353-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-%D1%80#Text> (дата звернення: 02.11.2025).
30. Інвестиційна програма на 2020 рік. Київ: ТОВ “Білоцерківвода”, 2020.
31. Виробничо-фінансові показники за квітень 2025 року. ТОВ “Білоцерківвода”. URL: <https://bcvoda.com.ua/reports/virobnicho-finansovi-pokazniki-za-kviten-2025> (дата звернення: 12.10.2025).

## ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF MINERAL FERTILIZER PRODUCTION AND SEWAGE SLUDGE RECOVERY

**Dubovyi V.**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: [vidubovy@gmail.com](mailto:vidubovy@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8637-0023>

**Klishchenko S.**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: [klisch@i.ua](mailto:klisch@i.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-5956-8137>

**Budak O.**

Candidate of Agricultural Sciences

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: [olegkrivbas@i.ua](mailto:olegkrivbas@i.ua); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9166-1557>

**Kholodenko I.**

Postgraduate Student

Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)

e-mail: [khodenkoivan@gmail.com](mailto:khodenkoivan@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4978-9079>

*The article examines modern approaches to providing agriculture with nutrients from the perspective of resource efficiency, energy saving, and sustainable development. The main focus is on comparing the raw material and energy inputs required for the production of traditional mineral fertilizers and the generation of sewage sludge (SS) as an alternative type of organo-mineral fertilizer. It is shown that the production of mineral fertilizers, particularly nitrogen-based ones, is extremely energy-intensive and is accompanied by significant emissions of greenhouse gases — CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub>, which negatively affect the environment and contribute to global climate change. Ammonia synthesis, the key component of nitrogen fertilizers, requires large amounts of natural gas, electricity, and hydrogen. The production of phosphorus and potassium fertilizers also relies on non-renewable mineral resources, the extraction of which leads to land degradation, the formation of toxic waste, and water pollution. In contrast, sewage sludge is naturally formed during the treatment of municipal and industrial wastewater and therefore does not require additional natural resource inputs. The main energy costs*

in obtaining sewage sludge are associated with pumping, filtration, aeration, dewatering, and stabilization processes; however, overall, these energy expenditures are several times lower than those for producing traditional mineral fertilizers. Sewage sludge contains organic matter, as well as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium compounds, and trace elements essential for plant growth and development, which ensures its high agronomic value. In the context of the transition to a circular economy, the use of sewage sludge as a fertilizer is a promising approach to enhancing the environmental, energy, and economic efficiency of agricultural production. The article provides an analytical justification for the feasibility of implementing these environmentally balanced practices in Ukraine.

**Keywords:** Haber–Bosch process, greenhouse gases, energy expenditures, raw material base, circular economy, agronomic value, wastewater treatment, sustainable development.

## REFERENCES

1. International Fertilizer Association. (2009). *Energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in ammonia production: 2008–2009 summary report*. Paris: IFA. Retrieved from [https://www.inference.org.uk/sustainable/images/2009\\_tech\\_energy\\_efficiency.pdf](https://www.inference.org.uk/sustainable/images/2009_tech_energy_efficiency.pdf)
2. Acharya, B., Kaushik, P., Singh, S., Agrahari, P., Kumar, B., Kumar, P., ... Arya, V. P. (2025). Potential use of sewage sludge as fertilizer in organic farming. *Cleaner Waste Systems*, 10, 245–250. doi: 10.1016/j.clwas.2025.100245
3. Smith, C., Hillier, J., & Ostle, N. (2020). Ammonia production and its carbon footprint: Global implications for climate policy. *Environmental Science & Policy*, 114, 123–132. doi: 10.1016/j.envsci.2020.028.014
4. Skowrońska, M., & Filipek, T. (2014). Life cycle assessment of fertilizers: A review. *International Agrophysics*, 28, 101–110. doi: 10.2478/intag-2013-0032
5. Cordell, D., & Neset, T.-S.S. (2014). Phosphorus vulnerability: A qualitative framework for assessing the vulnerability of national and regional food systems to the multi-dimensional stressors of phosphorus scarcity. *Global Environmental Change*, 24, 108–122. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.11.005
6. Egle, L., Rechberger, H., Krampe, J., & Zessner, M. (2016). Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Science of the Total Environment*, 571, 522–542. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.019
7. Fytli, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU: Application of old and new methods — a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 116–140. doi: 10.1016/j.rser.2006.05.014
8. Xu, J. (2024). Nutrient recovery and reuse from sewage sludge: Review. *Bioresource Technology Reports*, 25, 101–105. doi: 10.1016/j.biteb.2023.101825
9. Clarke, B. O., & Smith, S. R. (2011). Review of “emerging” organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment International*, 37, 226–247. doi: 10.1016/j.envint.2010.06.004
10. Usman, M. I., & Tizaoui, C. (2025). A critical review of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater biosolids and sludge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6), 120–127. doi: 10.1016/j.jece.2025.120422
11. Gusiati, M., Kulikowska, D., & Bernat, K. (2024). Municipal sewage sludge as a resource in the circular economy. *Energies*, 17(11), 24–37. doi: 10.3390/en17112474
12. Jabłoński, S., Łukaszewicz, M., & Kułazyński, M. (2025). Manure processing as energy efficient fertilizer production technology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27, 3573–3587. doi: 10.1007/s10098-024-03051-2
13. Wowra, K., Zeller, V., & Schebek, L. (2021). Nitrogen in life cycle assessment (LCA) of agricultural crop production systems: Comparative analysis of regionalization approaches. *Science of the Total Environment*, 763, article number 143009. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143009
14. Krimer, A., & Rodriguez, E. (2025). *Green fertilizer markets and innovation*. Rocky Mountain Institute. Retrieved from <https://rmi.org/green-fertilizer-markets-innovation>
15. The Financial Times. (2024). *Climate tech explained: Fertilizer*. Retrieved from <https://www.ft.com/content/47967aca-6958-4ae7-b27e-011fd65a33a9>
16. Expert conclusion on the technology of preparing liquid complex fertilizers of the KAS brand. (2023). Sumy.
17. Ostchem. (2015, February 5). In 2014, Cherkasy “Azot” increased production by 2.8%. Retrieved from <http://www.ostchem.com/uk/press-tsentri/publikatsii/12/v-2014-godu-cherkasskiy-azot-uvelichil-proizvodstvo-produktsii-na-2-8>
18. SuperAgronom.com. (2022, February 17). *Ukrainian mineral fertilizer producer significantly reduced product prices*. Retrieved from <https://superagronom.com/news/14975-ukrayinskiy-virobnik-mindobriv-znachno-zniziv-vartistvlasnoyi-produktsiyi>
19. Official website of LLC “INFO CAR”. (2025). Retrieved from <https://infokar.com.ua>
20. Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528, 51–59. doi: 10.1038/nature15743
21. Dubovyi, O. V. (2013). *Ecological assessment of winter wheat cultivation technologies in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine* (Candidate dissertation abstract, Institute of Agroecology and Environmental Management, Kyiv, Ukraine).
22. Dubovyi, V. I., Budak, O. O., Kholodenko, I. V., & Liashynska, O. V. (2025). Role of sewage sludge masses in expanding the assortment of organo-mineral fertilizers. *Balanced Nature Using*, 2, 113–119. doi: 10.33730/2310-4678.2.2025.337157
23. Kelessidis, A., & Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*, 32(6), 1186–1195. doi: 10.1016/j.wasman.2012.01.012

24. Directive 86/278/EEC on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. (1986, 12 June). Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/dir/1986/278/2022-01-01>
25. Zorina, O. V., & Mavrikin, Ye. O. (2021). Modern approaches to treatment and utilization of secondary domestic wastewater sludge. *Melioration and Water Management*, 2, 55–68. doi: 10.31073/mivg202102-301
26. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). *Basic information about sewage sludge and biosolids*. Retrieved from <https://www.epa.gov/biosolids/basic-information-about-sewage-sludge-and-biosolids>
27. Bianchini, A., Bonfiglioli, L., Pellegrini, M., & Saccani, C. (2016). Sewage sludge management in Europe: A critical analysis of data quality. *International Journal of Environment and Waste Management*, 18(3), 226–238. doi: 10.1504/IJEW.2016.10001645
28. European Commission. (2024). *New rules on urban wastewater management set to enter into force on 20 December 2024*. Retrieved from [https://environment.ec.europa.eu/news/new-rules-urban-wastewater-management-set-enter-force-2024-12-20\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/new-rules-urban-wastewater-management-set-enter-force-2024-12-20_en)
29. Resolution No. 1353-r “On approval of the National Waste Management Plan until 2033”. (2024, December). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-%D1%80#Text>
30. Bilotserkivvoda LLC. (2020). *Investment program for 2020*. Kyiv.
31. Bilotserkivvoda LLC. (2025). *Production and financial indicators for April 2025*. Retrieved from <https://bcvoda.com.ua/reports/virobnicho-finansovi-pokazniki-za-kviten-2025>

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**ДУБОВИЙ Володимир Іванович** — доктор сільськогосподарських наук, професор, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: [vidubovy@gmail.com](mailto:vidubovy@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8637-0023>).

**КЛІЩЕНКО Станіслав Васильович** — кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: [klisch@i.ua](mailto:klisch@i.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0006-5956-8137>).

**БУДАК Олег Олегович** — кандидат сільськогосподарських наук, асистент, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: [olegkrivbas@i.ua](mailto:olegkrivbas@i.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9166-1557>).

**ХОЛОДЕНКО Іван Володимирович** — аспірант, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: [khodenkoivan@gmail.com](mailto:khodenkoivan@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4978-9079>).

## Новини

### Новини

## Новини • Новини • Новини

**В Україні** дев'ять енергоефективних проєктів отримають держпідтримку. Державна підтримка дозволить реалізувати енергоефективні ініціативи в дев'яти регіонах України, зокрема будівництво сонячних електростанцій, облаштування теплових насосів, енергомодернізацію будівель та інші роботи для підприємств і громад. Фінансування забезпечить Фонд декарбонізації України, що дозволить скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 4288 т щорічно. На Закарпатті збудують СЕС потужністю 3,8 МВт із акумулятором 6,9 МВт·год, очікуване скорочення викидів — 1437 т на рік. У Житомирі облаштують когенераційну установку RSE 4500 для місцевого підприємства, що знизить викиди на 1850 т. У Тернополі змонтують теплові насоси та СЕС 0,28 МВт із зарядною станцією для електрокарів — економія 106 т CO<sub>2</sub>. Уперше Фонд профінансує енергомодернізацію багатопверхівки в Луцьку, а також реалізує проєкти на Київщині, Миколаївщині, Івано-Франківщині, у Дніпрі та Запоріжжі.