

**УДК 582.263:551.583 (045)**

**ВОЖЕГОВА Раїса**, д-р с/г наук, професор, член-кореспондент НААН,  
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України,

**ПЕТРЕНКО Світлана**, канд. с/г наук, ст. наук. співробітник,

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України,  
petrenko\_s\_a\_@ukr.net

**ВАЛЕНТЮК Наталія**, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник,

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України,  
navall100@ukr.net

**МКРТЧЯН Самвел**, директор біотехнологічної компанії

НВК «Жива хлорела» (ФГ «У Самвела»)

## **ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТИВУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ *CHLORELLA VULGARIS* ЗА РАХУНОК НАДЛИШКОВОЇ СИРОВИНИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ТА ТВАРИННИЦЬКИХ КОМПЛЕКСІВ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ**

Мікрводорості можна вирощувати в промислових масштабах у фітобіореакторах, що є закритими, керованими, автоматизованими системами безперервного циклу, що дозволяє найменш витратним чином підтримувати чистоту культури.

Серед основних елементів технології вирощування мікрводоростей є необхідність забезпечення  $\text{CO}_2$ . Для виробництва 100 т біомаси водоростей необхідно пов'язати близько 180 т  $\text{CO}_2$ , який має надходити безперервно протягом світлового дня. Для активного зростання мікрводоростей необхідно збагачення маткового розчину сумішшю повітря і  $\text{CO}_2$  та видалення  $\text{O}_2$ . Вуглекислий газ може бути отриманий з балона з  $\text{CO}_2$  [1, 2].

Під час вирощування хлорели можливе використання не тільки хімічних поживних сумішей та мінеральних вод, а й відходів сільськогосподарського виробництва.

Японські дослідники (Накашима, 1964 та ін.) широко застосовують органічні відходи, як-от випорожнення риб у розвідних ставках, гній тощо, для культивування різних мікрводоростей, зокрема хлорели.

Можливість вирощування водоростей на органічному середовищі з фекальних відходів кроликів, качок та курей відзначають і наші дослідники (Баранов та ін., 1964; Музафаров, Таубаєв, 1974). Васігов Т.В. у досліді з культивування мікрводоростей використовував овечий гній, що перепрів. На думку автора, витяжка з овечого гною – живильне середовище для вирощування хлорели та сценедесмусу й іншої зеленої мікрводорості [3].

Низка авторів (Ляхнович та ін., 1967) рекомендують додавати органічні речовини в стандартні живильні середовища для мікрводоростей, а Музафаров А.М. та Таубаєв Т.Т. (1974) використовували витяжки з курячого

посліду в масовій культурі протококових водоростей (зокрема хлорели) у концентрації 6–20 г/л та отримали позитивні результати. Додавання 5-10 % курячого посліду в хімічне живильне середовище марки «04» збільшує врожайність хлорели та інших мікробіодоростей на 50-70 %, порівняно з контролем [3].

З проведених у цьому напрямі робіт можна відзначити дослідження Рахімова і Якубова (1971), які встановили, що вміст вуглеводів у хлорелі під час її культивування на середовищі з витяжкою з курячого посліду набагато вищий, ніж серед марки «04». Так, моносахаридів у першому випадку (середовище з витяжкою курячого посліду) було 3,04 %, у другому – 0,11 %; вуглеводів типу сахарози – 0,05 % та 0,00 %; типу мальтози – 4,00 % та 0,41 %; типу декстринів – 8,60 % та 0,83 %; типу крохмалів – 42,00 % та 5,00 %; типу геміцелюлоз – 7,10 % та 1,30 %; клітковини – 0,26 % та 1,14 %. Загальна сума вуглеводів у першому випадку становила 65,45 %, а у другому – 8,89 % від загальної біомаси водоростей.

За результатами наших досліджень, виявлено, що зростання водоростей на поживному середовищі із суміші тільки курячого посліду та води значно перевищує таке на стандартному мінеральному поживному середовищі Кноппа для вирощування мікробіодоростей. Так, в аналогічних умовах вирощування, чисельність хлорели в першому випадку (курячий послід і вода) становила, в середньому, 65 млн кл./мл, а в другому – 15 млн кл./мл. Подібні дані для хлорели були отримані і під час використання поживного середовища суміші посліду перепілок і води [4, 5].

У 2022 році проведено завершальний етап натурних експериментів з використанням методики вирощування хлорели в природних умовах у звичайних пластикових суліях різної ємності. З 30 липня по 25 серпня бутлі з посівом хлорели (*Chlorella vulgaris*, штам 111) перебували безпосередньо в природних погодних умовах без жодного догляду та нагляду. Приблизно за два тижні суспензія досягала щільності близько 25 млн кл. у мл. Як поживні розчини використовували суміш Кноппа, розчини з послідом курей, корів і коней. Найбільш високі показники відзначені для посліду курей.

Потрібно розглянути та вивчити можливості відпоювання тварин і птахів суспензією хлорели, вирощеної на курячому посліді та гною корів і коней. Додатково слід повідомити, що пластикові корки пляшок для захисту від пилу та інших опадів мають бути просто накинуті або злегка підгвинчені для збереження повітрообміну, інакше хлорела може закиснути і загинути. Модулі більшого обсягу, що не потребують догляду, будуть придатні і у великих фермерських господарствах. Їхню конструкцію та методику використання розробляють у лабораторних умовах біотехнологічної компанії НВК «Жива Хлорела».

Водорості можна використовувати для утилізації органічних відходів. Ці проекти дуже перспективні, оскільки водорості споживають нітрати, фосфати та скорочують кількість бактерій і токсинів у воді [1-4].

Найбільш перспективним вважається використання водоростей для очищення стічних вод підприємств харчової промисловості, рибних господарств, тваринницьких ферм, птахофабрик. Водорості для очищення стічних вод успішно застосовують у США, Японії, Німеччині. Це дозволяє, з одного боку, очистити воду, з іншого, – отримати біомасу, яку можна використати у різних сферах.

Також можливе використання мікроводоростей для фітореMediaції забруднених нафтопродуктами й іншими токсикантами водою та ґрунтів.

Переваги застосування сучасних біологічних препаратів на основі мікроводоростей [5, 6]:

- запускається механізм біологічної активності ґрунту і природного стимулювання аборигенної біоти;
- підвищується коефіцієнт ефективності використання добрив через баланс мінеральної та органічної речовини;
- скорочується потреба компенсаційного азоту для розкладання органіки у 5-10 разів;
- підвищується вміст у ґрунті корисних грибів і бактерій;
- відбувається накопичення органічної речовини;
- нейтралізуються патогенні мікроорганізми та шкідники, знижується концентрація фенольних сполук;
- покращується здатність ґрунту до вологонакопичення та вологоутримання.

Сировинне забезпечення біогазового виробництва дозволяє найкраще збирати енергетичний урожай. Сьогодні мікроводорості можуть стати ефективною сировиною для біогазових станцій та поєднані в найоптимальніші види агросировини для виробництва біогазу. Від того, яка органічна сировина рослинного та/або тваринного походження завантажується до біогазової станції, суттєво залежить не тільки, власне, вихід біогазу, але й ефективність, окупність виробництва та низка інших чинників. Сировиною, яка піддається енергетичному перетворенню, є практично всі відходи органічного походження як рослинного, так і тваринного [8].

Гноївка ВРХ, свиней, твердий гній, пташиний послід, відходи інкубаторів, падіж тощо – сировина для біогазового виробництва. А от їх зберігання, складування й накопичення на непідготовлених майданчиках уже можна розцінювати як рудимент відсталого, печерного господарювання. Це категорично нецивілізований підхід до поводження з відходами.

Відсутність блоку утилізації та/або переробки відходів тваринництва – екологічна небезпека, емісії парникових газів в атмосферу, забруднення ґрунтових вод, негативний вплив на стан здоров'я місцевих мешканців.

Зрозуміло, чому цивілізований світ принципово по-новому ставиться до поводження з відходами і особливу увагу приділяють саме відходам тваринництва й птахівництва.

Потенціал тваринної сировини можна використовувати для вирощування мікроводоростей, коли говоримо про переробку відходів тваринництва на біогазових станціях, то маємо на увазі твердий і рідкий гній ВРХ, твердий чи рідкий гній свиней, пташиний послід тощо. Відходи різних видів тварин та власне тип відходів (рідкі/тверді) мають різний потенціал виробництва біогазу та мікроводоростей [3-6].

Серед усіх видів сировини тваринного походження найбільш контрольованим та таким, що потребує найменшого попереднього втручання, є гній ВРХ. За ним ідуть трохи більш агресивні за складом відходи свинарства. Найбільшої уваги потребує зброджування пташиного посліду.

Всі ці нюанси нівелюються підбором відповідного технологічного рішення і будь-яка сировина вписується у контрольований регульований процес біогазового виробництва [4-7].

В аспекті отримання біогазу, вирощування мікроводоростей – нова тема для України. Поки що немає жодної станції, яка б функціонувала на такій сировині. А от у Європі і загалом у світі є багато саме таких виробництв.

Біогазові станції та водоростеві ферми могли б ставити, наприклад, підприємства, які збирають і сортують сміття. Або ж це може стати спільною справою місцевої громади. Навіть невеличка громада може зорганізуватися і створити систему роздільного збирання відходів та переробку відходів тваринницьких комплексів на власній комунальній біогазовій станції. Таке рішення знайшло застосування у низці громад країн Європейського Союзу.

Результатом роботи біогазової станції є виробництво біогазу та органічних біодобрив, які ще називають дигестатом. Тобто, біогазова станція – безвідходне виробництво. Біодобрива після біогазової станції давно зарекомендували себе, що цілком зрозуміло, адже вони легко засвоюються рослинами, мають корисну мікрофлору тощо [8].

Дигестати з біогазових установок також є органічним добривом, яке може містити всі перераховані види органічних матеріалів у перетвореному вигляді.

Рециклінг органічних матеріалів у ґрунт вважається у більшості випадків найкращим екологічним підходом, що дає змогу замикати колообіги природних поживних речовин та вуглецю. Органічні матеріали є цінним джерелом основних поживних речовин (як-от азот – N, фосфор – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, калій – K<sub>2</sub>O та сірка – SO<sub>3</sub>), які мають важливе значення для росту рослин, а отже сталого виробництва продукції рослинництва. Органічні матеріали також є цінним джерелом органічних речовин, що сприяють водонасиченню ґрунтів, полегшують механічну обробку та стійкість ґрунту до ерозії тощо.

Водночас повернення органічного матеріалу в землю має бути контрольованим з погляду як агротехнічного ефекту (внесення має бути збалансованим відповідно до типу та стану ґрунту, культури, що вирощують, тощо), так і екологічного ефекту (внесення не повинне призводити до погіршення санітарно-епідеміологічного стану, забруднення ґрунтів та ґрунтових вод тощо). Відтак, застосування технологій попередньої обробки органічних матеріалів є доцільним, а в низці випадків і необхідним [4, 5].

Внесення дигестату знижує потенціал ерозії ґрунту та підвищує його продуктивність, збільшуючи вміст органічної речовини у ґрунті та покращуючи його родючі властивості, зокрема завдяки постачанню поживних речовин. Технологія анаеробного зброджування є по суті важливою ланкою в рециклінгу органічної сировини в сільському господарстві.

Дигестат зазвичай використовують як добриво для сільськогосподарських культур без додаткової обробки, замінюючи тим самим промислові мінеральні добрива. Однак потреба в ефективному поводженні з поживними речовинами, з огляду на обмежені можливості внесення гною в районах з високою щільністю тварин, а також виснаження світових природних запасів фосфору та калію, робить виділення та рециклінг поживних речовин з гною й інших потоків відходів дедалі важливішим для фермерів, постачальників технологій, інвесторів та осіб, які приймають рішення [8].

Сировина, яка потрапляє до ферментеру, гомогенізується, піддається довготривалому впливу відповідного температурного режиму та перемішування, проходить етап енергетичного перетворення. Коли енергетичний потенціал сировиною віддано, на виході отримуємо той самий потік сировини, але вже однорідний за складом без патогенної мікрофлори, що пояснюється особливостями виробничого процесу. Як результат отримуємо цінні біодобрива, без заражених первинних продуктів життєдіяльності тварин, насіння бур'янів. Таке добриво рекомендовано для ведення органічного виробництва.

Як результат цієї технології можна отримати якісні біодобрива – хлорела вирощена у дигестаті.

Впровадивши курячий послід та дигестат з біогазових станцій у технології культивування мікроводоростей, ми отримаємо:

а) збагаченість поживної суміші азотом та іншими біогенними елементами;

б) підвищення рівня вуглекислого газу в суспензії водоростей, що виділяється під час розкладання органіки (знімається необхідність використання дорогого стиснутого вуглекислого газу для барботажу суспензії за її промислового виробництва);

в) високий уміст рістстимулювальних речовин у поживній суміші для водоростей (у курячому посліді міститься 43-55 мкг/кг рістстимуляторів).

На жаль, навіть і натеper у практиках виробничого культивування водоростей використання органічних добрив все ще не має широкого застосування. Це як недостатньою вивченістю органічних джерел харчування мікрводоростей, так і специфічністю їх застосування [3].

Слід також додати, що вміст вітамінів, мікроелементів та інших сполук у хлорелі може суттєво відрізнятись залежно як від виду і навіть штаму цих водоростей, так і умов культивування (складу поживних середовищ, освітленості, температури тощо).

Наприклад, за даними Музафарова і Таубаєва (1974), залежно від виду та штаму хлорели, вміст каротину у водоростях може змінюватись від 668 до 1341 мкг/г. За даними Броуна (1953), вміст токоферолу у водоростях з тих самих причин змінюється від 10 до 350 мкг/г [3].

На закінчення можна сказати, що дослідження в галузі використання і культивування такої дивовижної та перспективної водорості, як хлорела, необхідно продовжувати. Апробувати різні її види, виводити нові штами, підбирати більш ефективні поживні суміші й умови культивування, конструювати та випробовувати нові дешеві й продуктивні устаткування з метою ширшого, повного та раціонального використання хлорели у сільському господарстві.

### Список бібліографічних посилань

1. Шарило Ю. Є., Деренько О. О., Дюдяєва О. А. Використання водоростей виду Chlorophyta як біологічний метод очищення водойм. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. № 1. С. 88–102.

2. Шарило Ю., Деренько О. Хлорела – органічний метод очищення рибогосподарських водойм. Сайт Управління Державного агентства рибного господарства у м. Києві та Київській області. 17.01.2020. URL: [https://kv.darg.gov.ua/\\_hlorela\\_organichnij\\_metod\\_0\\_0\\_0\\_1099\\_1.html](https://kv.darg.gov.ua/_hlorela_organichnij_metod_0_0_0_1099_1.html) (дата звернення: 12.01.2023).

3. Музафаров А. М., Таубаєв Т. Т. Культивирование и применение микроводорослей. Ташкент : Фан, 1984. 136 с.

4. Онищенко О. М., Дворецкий А. І. Мікрводорості як відновлювальний біологічний ресурс для потреб сільського господарства. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. Біологічні науки. 2013. № 2 (32). С. 48–50.

5. Боднар О. І. Біотехнологічні перспективи використання мікрводоростей: основні напрями (огляд). *Наукові записки Тернопільського національного пед. університету*. Серія: Біологія. 2017. № 1 (68). С. 138–146.

6. Кірсанова В. В. Доцільність обробітку та використання мікрводоростей (Chlorella) як органічних добрив. *Екологічні наук: науково-практичний журнал*. 2020. № 1 (28). С. 321–327.

7. Білявцева В. В. Застосування простої одноклітинної водорості у сільському господарстві. *The scientific heritage*. 2020. № 47. С. 3–9.

8. Сидорчук О. Сировинне забезпечення біогазового виробництва або з чого найкраще збирати енергетичний врожай – AgroBiogas. URL: <https://agrobiogas.com.ua/raw-materials-for-biogas-production-or-what-best-way-to-harvest-energy/> (дата звернення: 01.03.2023).

**УДК 581.54:635.657 (045)**

**ЧЕПУРНИХ В. М.**, аспірант,

**КРИВЕНКО А. І.**, д-р с/г наук, професор

Одеський державний аграрний університет МОН України,

**КОВАЛЕНКО Н. П.**, д-р іст. наук, ст. наук. співробітник,

**ОРЕХІВСЬКИЙ В. Д.**, д-р іст. наук

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

### **ФЕНОЛОГІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ ПУТУ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ У ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ**

У сучасних умовах господарювання, а також у зв'язку зі змінами клімату та через повномасштабне вторгнення РФ в Україну аграріям доводиться витримувати значний економічний і енергетичний тиск на свою діяльність. Через ці негативні тенденції вони практично цілком відмовляються від вирощування зернобобових культур, що призводить до порушення науково обґрунтованих сівозмін та систем землеробства [1]. Водночас відбувається значне збільшення посівних площ ріпака і соняшнику. Крім того, використовують застарілу техніку, не дотримуються технологій вирощування сільськогосподарських культур, через що відбувається різке зниження рівня родючості ґрунтів та продуктивності сільськогосподарських земель.

Формування росту і розвитку, а також урожайності сільськогосподарських культур, пов'язане із комплексом чинників, серед яких важливе місце посідає негативний вплив зміни глобальних, зональних та регіональних ґрунтово-кліматичних умов [2]. Наприклад, у посушливих умовах Південного Степу України відбувається збільшення температурних екстремумів і аномальних явищ, подовження тривалості літньої спеки, збільшення періоду посухи, значні перепади між денними та нічними температурами, поширення опадів зливного характеру і сильних вітрів, зміни у перерозподілі кількості річних опадів.

Для подолання негативного впливу таких чинників велике значення має використання науково обґрунтованих заходів, які містять створення сучасних