

рованы изменения физико-механических показателей верхнего слоя почвенного покрова посттехногенных территорий в зависимости от видового состава и пространственной структуры сформированных фитоценозов. Охарактеризованы трансформационные процессы в эдафотопах посттехногенных территорий разработки залежей бурого угля вследствие естественной сукцессии растительности.

Ключевые слова: посттехногенные территории, почвенный покров, физико-механические свойства почвы, трансформационные процессы в эдафотопах, Коломыйское бурогольное месторождение.

Henyk Ya.V. Transformations of Soil Cover on Post-technogenic Terrains of Kolomiya Lignite Deposit

Some results of research of the natural process of soil creation and forming the soil cover on slopes of spoil banks on the mines of Kolomiya lignite deposit are presented. Morphologic structure of sod and humus-accumulative young soil on the places of forming the plant covers is provided. Changes in physical and mechanical properties of the upper layer of the soil cover of post-technogenic terrains depending on species composition and aerial structure of formed phytocoenoses are analyzed. Transformation processes in the soil of post-technogenic terrains on processing of lignite deposits in the result of natural succession of plants are characterized.

Keywords: post-technogenic terrains, soil cover, physical and mechanical properties of soil, transformation processes in soil, Kolomiya lignite deposit.

УДК 574.6:477.63/64

*Проф. М.С. Мальований¹, д-р техн. наук;
перший проректор, проф. В.В. Никифоров², д-р біол. наук;
доц. О.В. Харламова², канд. техн. наук; викл. О.Д. Синельников³*

РАЦИОНАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ СИНЬО-ЗЕЛЕНИХ ВОДОРОСТЕЙ

Проведено аналіз перспективності використання ціанобактерій для отримання енергоносіїв – ліпідів і біогазу. Досліджено ефективність застосування стадії попереднього оброблення біомаси у кавітаційному полі. Встановлено, що під впливом кавітації досягається здатність до ефективного розділення фаз: біомаса та освітлена вода. Кавітаційне оброблення також дає змогу більш ніж у 3 рази збільшити кількість екстрагованих із біомаси водоростей ліпідів і на 30 % збільшити частку синтезованого біогазу. Розроблено раціональну схему збирання приповерхневого шару води, насиченого ціанобактеріями та його попереднього кавітаційного оброблення. Встановлено елементний склад відпрацьованої біомаси, який дає змогу використовувати її як добриво.

Ключові слова: ціанобактерії, синьо-зелені водорості, кавітація, біогаз, ліпіди, біомаса.

Постановка проблеми дослідження. Для забезпечення роботоздатності побудованих на рівнинних територіях гідроелектростанцій на Дніпрі (а до такого розміщення відносять практично всі гідроелектростанції Дніпра, окрім Дніпрогесу, який побудовано із використанням перепаду висот у природному каньйоні) створено каскад водосховищ, що призвело до радикальної зміни водного режиму річки та різкого погіршення якості дніпровської води. Такі наслід-

ки зумовлені чинниками: 1) затоплення територій населених пунктів, ланів, тваринницьких ферм тощо; 2) істотне зменшення швидкості течії ріки.

Штучно затриманий у водосховищах об'єм води є співвимірним із річним стоком. За цих умов у водосховищах, особливо в найбільшому за площею і об'ємом – Кременчуцькому, вода є практично стоячою. Затоплення значних площ призвело до насичення вод різною органікою, маса якої продовжує зростати завдяки надходженню промислових і комунальних стоків, а також зливних стоків із прибережних зон. Насиченість органікою та зменшення швидкості течії призвести до радикальної зміни спектра біоти [1, 2], зокрема спалаху неконтрольованого розвитку ціанобактерій (синьо-зелених водоростей). Свідченням тому є типова картина спливання загиблої риби на поверхню та розкладання її. Про збіднення водойми киснем свідчать дані у [3]. Зменшення вмісту кисню у воді під час розкладання ціанобактерій настільки істотне, що в приповерхневому шарі виникають умови для їх безкисневої ферментації. Часті коливання рівня на нижніх б'єфах гідростанцій призводять до затоплення широких прибережних смуг і потрапляння насиченої ціанобактеріями літньої дніпровської води на територію плавень, насамперед в озера, рукави і стариці Дніпра.

Використання біомаси ціанобактерій для отримання енергоносіїв (біогазу та ліпідів – сировини для виробництва біодизелю) є одним із ефективних технічних рішень забезпечення екологічної безпеки акваторій водосховищ і прилеглих територій. За такого підходу зменшуються витрати на очищення природних вод до нормативів, передбачених [4], зростає продуктивність іхтіофауни, а також утилізуються відходи біотехнологічного процесу в галузях сільського та лісового господарств. Варто вказати також на економію традиційних енергоресурсів. Окрім забезпечення екологічної безпеки та енергозбереження у разі реалізації цього способу, відзначимо відносно його дешевизну та можливість регулювати розміри капіталовкладень на початкових стадіях впровадження залежно від обраних масштабів виробництва. До безперечних переваг також можна віднести те, що внаслідок фактичного застосування класичної технології отримання біогазу з продуктів аграрного виробництва, він може бути легко переорієнтований на будь-який інший органічний субстрат.

Згідно з [5] найбільш вагомими результатами впровадження пропонованого процесу є: забезпечення стійкого еколого-економічного розвитку регіону; поліпшення якості вод і, як результат – оздоровлення навколишнього середовища; значна економічна ефективність за рахунок використання субстрату, що підлягав ферментації; використання відходів виробництва біогазу як органіко-мінеральних добрив у сільському та лісовому господарствах.

Економічна та екологічна ефективність використання ціанобактерій для отримання біогазу (на прикладі Кременчуцького водосховища з площею водного дзеркала 2250 км²) оцінюють у [5] таким чином: за умови збирання сестону об'ємом до 50 кг/м³ [6] з об'єму 828 млн м³ води мілководдя його біомаса становитиме 4,14·10⁷ т за вегетаційний період. Піддавши цю біомасу ферментації у процесі метанового "бродиння", можна отримати до 30 млн м³ біогазу (18,8 млн м³ метану), що еквівалентно 20 тис. т нафти або 17 тис. т дизельного палива. Для організації процесу потрібно вибрати оптимальну стратегію збирання та

¹ НУ "Львівська політехніка";

² Кременчуцький НУ ім. Михайла Остроградського;

³ Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

перероблення біомаси ціанобактерій, яка дала б змогу забезпечити мінімальні затрати на реалізацію технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В основі відомої технології отримання біогазу із органічних відходів сільськогосподарського виробництва лежить симбіотична взаємодія трьох груп мікроорганізмів, на одному з етапів якої відбувається процес продукування метанобактеріями суміші газів з переважанням метану ($\approx 65\%$) та домішками інших газів (азоту, кисню, водню та монооксиду вуглецю) [7]. Домінантними у процесі метаногенезу є види *Methanobacterium formicicum* та *Methanospirillum hungati* [8-10]. Інтенсивність біосинтезу метану залежить від концентрації у субстраті кисню та інших інгібіторів цього процесу. [11]. У разі використання відходів домашнього господарства або рідкого гною співвідношення між твердими компонентами і водою становить 1:1 [12]. Субстратну суміш зазвичай инокулюють ("засівають") ацетогенними і метаногенними бактеріями або відстоєм з іншого дайджестера. Низький рівень рН пригнічує розвиток метанобактерій і знижує вихід біогазу. Проти закиснення використовують вапно. Оптимальною для ферментації рН є близьке до нейтрального (6-8). Максимальна температура процесу залежить від мезофільності (30-40 °C) або термофільності (50-60 °C) мікроорганізмів. Для оптимального виходу біогазу масове співвідношення С до N має становити 30:1.

Щодо використання ціанобактерій для виробництва енергоносіїв, то згідно з [13] проводять збір та використання субстрату для отримання клар-газу за біотехнологією метанового "бродіння", як субстрат використовують концентровану біомасу ціанобактерій, зібраних під час "цвітіння" з акваторії. Проте спосіб малоефективний, оскільки не дає змоги повністю використати енергетичний потенціал біомаси внаслідок відсутності стадії екстрагування ліпідів, які можуть використовуватись для виробництва біодизеля та низької інтенсивності перебігу синтезу біогазу внаслідок відсутності стадії попередньої підготовки біомаси.

Постановка завдання. Мета досліджень – розроблення раціональної технології утилізації ціанобактерій, яка б включала стадію їх попередньої підготовки для інтенсифікації процесу, а також стадію отримання ліпідів, які можуть бути сировиною для виробництва біодизеля з метою повнішого використання потенціалу біомаси для виробництва енергоносіїв.

Виклад основного матеріалу. Перспективним, за даними у [14, 15], є введення у технології виробництва біогазу із використанням як сировини відходів сільського господарства стадії попередньої підготовки – подрібнення та делігніфікації. У процесі делігніфікації за підвищених температур відбувається деградація лігнінової сітки, екстрагування лігніну та більшої частини геміцелюлоз, а також розрив хімічних зв'язків між лігніном та вуглеводними молекулами. Це призводить до зростання поверхні масообміну, яка стає доступною для целюлозолітичних ферментів мікроорганізмів. Внаслідок подрібнення субстрату на помольному обладнанні значно збільшується поверхня масообміну, доступна для ферментів мікроорганізмів. Це пришвидшує ферментативний гідроліз та інтенсифікує процес синтезу метану [16]. Щодо ціанобактерій, то висунуто гіпотезу, що поверхня масообміну, а отже – і інтенсифікація концентрування бі-

омаси, екстрагування ліпідів і синтезу біогазу може бути значно збільшена введенням стадії підготовки ціанобактерій шляхом попереднього оброблення їх у кавітаційному полі.

Для досліджень використано синьо-зелені водорості, які відібрано на Кременчуцькому водосховищі у м. Світловодськ. Перед початком експериментів приготувляли суспензію водоростей із вмістом сухої речовини 17,1 г/л, що відповідає реальній концентрації водоростей у місцях скупчення. Для визначення ефективності попереднього оброблення біомаси водоростей у полі гідродинамічної кавітації використано експериментальну установку – кавітатор динамічного типу, в якій досліджували процес деструкції оболонки водоростей. Схему експериментального стенда подано на рис. 1.

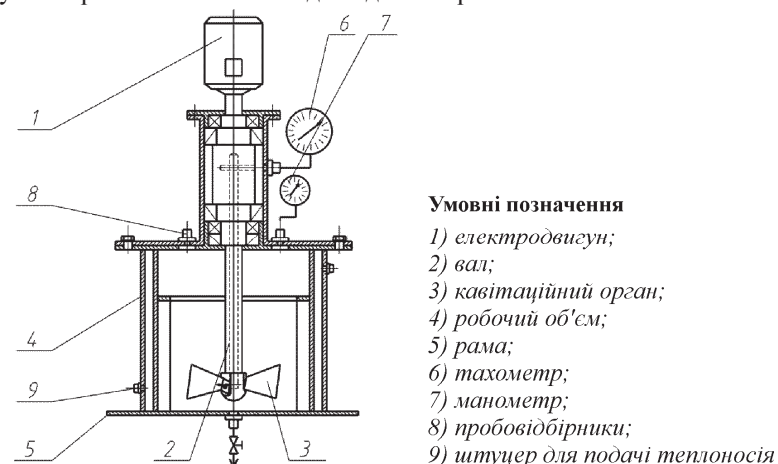


Рис. 1. Схематичне зображення лабораторно-експериментального стенда

Установка складалася з електродвигуна 1, робочої ємності 4, об'ємом 1,5 л виготовленої з органічного скла, кавітаційного органу 3, прикріпленого до порожнистого вала 2. Конструкція стаціонарно встановлювалась на раму 5. Як кавітаційний орган використовували трилопатеву крильчатку клиноподібного профілю з гострою передньою і тупою задньою кромками. У робочу ємність кавітатора заливали 1 л модельної суспензії, яка підлягала обробленню у полі кавітаційних сил упродовж визначеного часу за частоти обертів робочого колеса 4000 об/хв. На першому етапі встановлено залежність інтенсивності розділення фаз від тривалості кавітаційного оброблення. Оброблена в кавітаторі впродовж 5 хв, 7,5 хв, 10 хв, 12,5 хв і 15 хв біомаса заливалась у калібровані пробірки і поміщалась на відстоювання. Загальний вигляд відстоюної упродовж 24 год біомаси представлено на рис. 2.

Як видно із рис. 1, у необробленій у кавітаторі біомасі тенденція до розділу фаз (води і сухої речовини) не спостерігається, тоді як в обробленій у кавітаційному полі біомасі ціанобактерій вона спостерігається явно. Залежність ступеня концентрування біомаси розраховано за формулою

$$K = \frac{\Delta h}{h} 100\%, \quad (1)$$

де: K – ступінь концентрування біомаси, %; Δh – висота стовпа відділеної води після розподілу фаз; h – початкова висота стовпа біомаси ціанобактерій (30 мм).

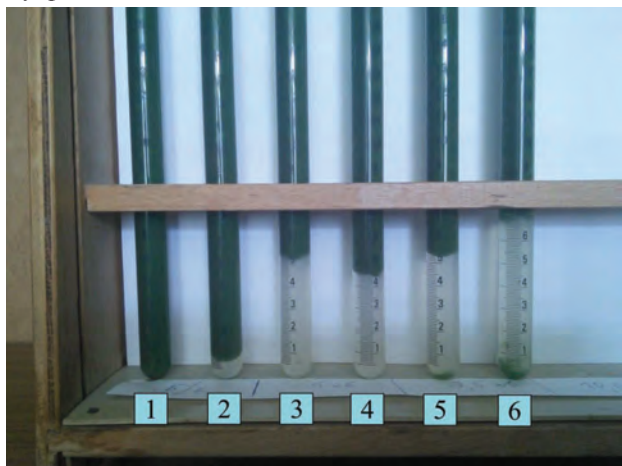


Рис. 2. Інтенсивність розділу фаз за тривалості кавітаційного оброблення:
1) 0 хв; 2) 5 хв; 3) 7,5 хв; 4) 10 хв; 5) 12,5 хв; 6) 15 хв (тривалість відстоювання – 24 год)

Залежність ступеня концентрування від тривалості оброблення біомаси у кавітаційному полі представлено на рис. 3. Представлені на рис. 3 дані свідчать, що вже після 7,5 хв оброблення біомаси ціанобактерій досягається здатність до розділення фаз біомаса: освітлена вода.

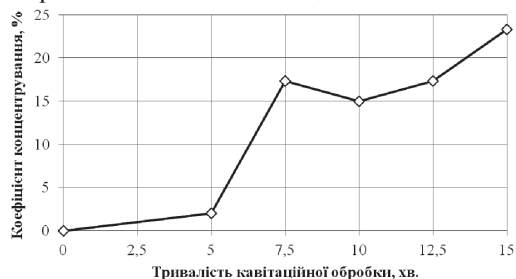


Рис. 3. Залежність ступеня концентрування від тривалості оброблення біомаси у кавітаційному полі після 24 год відстоювання у полі гравітаційних сил

На другому етапі досліджень визначено вплив попереднього кавітаційного оброблення біомаси водоростей на повноту екстрагування із них ліпідів. Для визначення загального вмісту ліпідів у водоростях, їх висушували за температури 80 °С та перемелювали у ступці. Подрібнені водорості змішували у ділильній лійці з 50 мл гексану та 50 мл води та інтенсивно перемішували впродовж 10 хв. Тверда фаза водоростей та вода збиралась в нижній частині лійки, а гексан з екстрагованими ліпідами – у верхній її частині. Воду з водоростями зливали, після чого екстракт переносили у випарну чашку. Після випаровування гексану з чашки гравіметрично визначали кількість екстрагованих ліпідів.

Результати досліджень впливу гідродинамічної кавітації на ефективність екстрагування ліпідів із біомаси синьо-зелених водоростей представлено на рис. 4. Дослідження показали, що загальний вміст ліпідів у відібраній пробі ціанобактерій становив 1,27 % від сухої маси. Із біомаси без попереднього оброблення у полі гідродинамічної кавітації вдалося екстрагувати ліпіди у кількості, що відповідає 0,32 % сухої маси водоростей (25,2 % від всіх ліпідів).



Рис. 4. Залежність ступеня екстрагованих із ціанобактерій ліпідів (у % від загальної кількості) від виду попереднього оброблення

Цей результат підтверджує, що клітинні мембрани необроблених водоростей є важкопроникні, і використання їх без оброблення для отримання енергоносіїв є ускладненим. Із біомаси, яку попередньо обробили у полі гідродинамічної кавітації за описаною вище методикою, вдалось екстрагувати 0,45 % ліпідів (майже 80 % від усіх ліпідів).

На третьому етапі досліджень визначено вплив попереднього кавітаційного оброблення біомаси водоростей на повноту синтезу із біомаси біогазу. Схему установки, яку використано для цих досліджень, представлено на рис. 5.

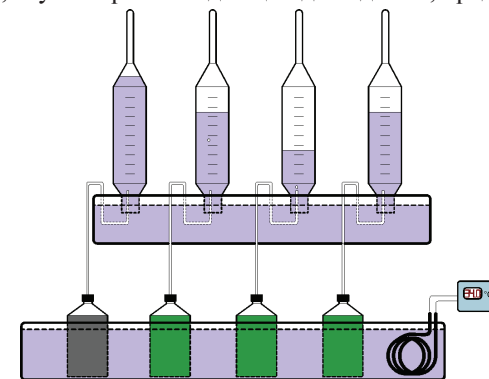


Рис. 5. Експериментальна установка дослідження процесу отримання біогазу

Отримана біомаса водоростей мала рН=4,57-4,78, що пояснюється початком фази ацетогенезису. Оптимальним для анаеробного розкладу є рН у межах 7-7,5, тому рН в реакторах коригували до 7,5 шляхом добавляння невеликої кількості розчину NaOH. Реактори закривали герметичними корками з газовідвідними трубками. Утворений біогаз збирався у градуйовані колби, які були занурені у воду, рН води підтримувався нижче 5. Оскільки за низьких рН неорганічний вуглець знаходиться у формі CO₂, це дало змогу уникнути розчинення вуглекислого газу, присутнього у біогазі, у воді. Реактори обмотували чорним поліетиленом для недопущення потрапляння світла та поміщали у водяну баню, в якій підтримувалась температура 34 °С (мезофільні умови). Вміст реакторів

перемішували впродовж 1 хв кожних 2 дні. Загальна тривалість досліджень становила 26 днів.

Результати порівняння об'єму біогазу, добутого із біомаси без попереднього оброблення та після оброблення у полі гідродинамічної кавітації, представлено на рис. 6. Для порівняння, умовно за 100 % прийнято об'єм біогазу, добутого із проби після гідродинамічної кавітації. Як видно із рис. 6, попередня гідродинамічна кавітація дозволила збільшити кількість синтезованого із біомаси водоростей біогазу майже на 30 %.

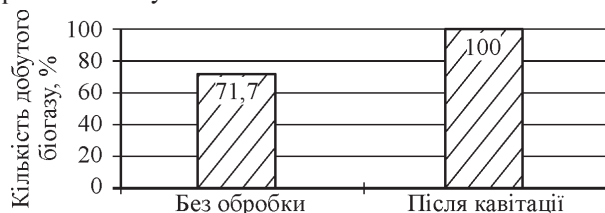


Рис. 6. Залежність об'єму біогазу, добутого із ціанобактерій, від їх попереднього оброблення у полі гідродинамічної кавітації

Результати проведених досліджень переконливо доводять потребу введення стадії попереднього оброблення у полі кавітаційних сил вже перед стадією концентрування біомаси ціанобактерій. Для збирання біомаси ціанобактерій неефективно застосовувати відкачування насиченої ними води з наступною їх фільтрацією.

Такий процес був би енергозатратним, а то і взагалі неможливим для цілей досягнення екологічної безпеки. Ціанобактерії найпростіше збирати у штиль, коли вони спливають на поверхню і локалізуються там. Умова штилю є єдиним обмеженням у процесі збирання біомаси ціанобактерій. Оскільки у світовій практиці добре відомі способи очищення від поверхневого забруднення акваторій портів, берегових смуг, океанічних та морських поверхонь від нафтопродуктів після аварій танкерів, то цей досвід може бути корисним і у нашому випадку.

Найпростішим, на нашу думку, варіантом, який дав би змогу зібрати великі об'єми ціанобактерій, було б застосування маломірного флоту. Одну із можливих схем такого збирання наведено на рис. 7.

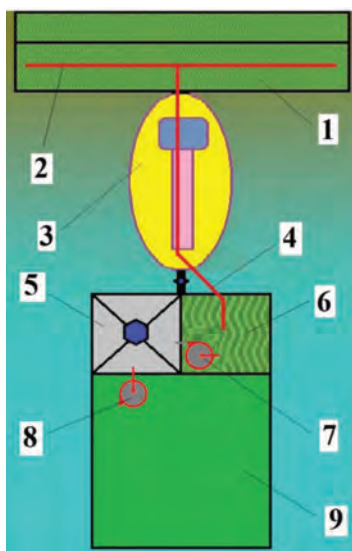


Рис. 7. Схема збирання приповерхневого шару води, насиченого ціанобактеріями із акваторій та його попереднього кавітаційного оброблення

Вона полягає у тому, що малопотужний буксир 3, рухаючись на невеликій швидкості, штовхає попереду приймач насиченого ціанобактеріями поверхневого шару води 1. У приймачі облаштована переливна перегородка, завдяки якій проводиться додаткове концентрування біомаси ціанобактерій. Біомаса збирається у приймачі 1 системою збирання 2 і через систему перекачування 4 направляється в камеру попереднього накопичення біомаси 6. У міру заповнення камери 6 біомаса періодично перекачується насосом 7 у кавітаційну камеру 5, де протягом певного часу обробляється у кавітаційному полі. Після закінчення оброблення біомаса насосом 8 направляється в ємність збирання 9. Після завантаження буксир доставляє сировину на причал біостанції. Вже за час транспортування відбувається додаткове концентрування біомаси внаслідок розділу фаз, яке інтенсифікується попередньою стадією кавітаційного оброблення. На біостанції проходить відкачування біомаси на біостанцію на стадії екстрагування ліпідів, а пізніше – на стадію виробництва біогазу.

Для встановлення можливості використання відпрацьованої біомаси після синтезу із неї біогазу як органічних добрив, визначено елементний склад висушеної відпрацьованої біомаси на рентгенофлуоресцентному аналізаторі EXPERT 3L, діапазон вимірюваних хімічних елементів (діапазон контролю) якого від магнію (12 Mg) до урану (92U). Отримані дані наведено у таблиці.

Згідно з наведеними даними, найбільший вміст у відпрацьованій біомасі кальцію і значний вміст сірки (ці елементи є олігоелементами, потрібними для збалансованого живлення рослин), внесення яких у складі добрив доцільне, значний вміст фосфору і калію – основних елементів живлення рослин (за вмістом вони знаходяться на рівні кращих сортів мінеральних добрив).

Табл. Елементний склад висушеної відпрацьованої біомаси ціанобактерій

Назва елемента	Частка, %	Назва елемента	Частка, %	Назва елемента	Частка, %
14Si	4,432 ^{±0,086}	25Mn	1,139 ^{±0,017}	35Br	0,053 ^{±0,002}
15P	7,160 ^{±0,131}	26Fe	1,492 ^{±0,015}	38Sr	0,029 ^{±0,002}
16S	11,713 ^{±0,101}	28Ni	0,023 ^{±0,002}	40Zr	0,004 ^{±0,002}
17Cl	8,461 ^{±0,079}	29Cu	0,006 ^{±0,001}	46Pd	0,008 ^{±0,002}
19K	20,197 ^{±0,060}	30Zn	0,024 ^{±0,001}	51Sb	0,025 ^{±0,004}
20Ca	45,131 ^{±0,112}	33As	0,016 ^{±0,002}	–	–
22Ti	0,081 ^{±0,019}	34Se	0,007 ^{±0,002}	–	–

Негативним є досить значний вміст хлору, але він часто входить у вигляді хлоридів у калійні добрива, які широко застосовують у сільському господарстві, тому вміст його в органічному добриві із відпрацьованої біомаси допустимий. І окрім невеликої частки баластного кремнію, нове потенційне добриво додатково містить мікроелементи – залізо і марганець, які потрібні для забезпечення збалансованого розвитку рослин. Такий склад прийнятний для використання відпрацьованої біомаси ціанобактерій як добрива.

Висновки. Одним із ефективних технічних рішень забезпечення екологічної безпеки акваторій водосховищ та прилеглих територій є використання біомаси ціанобактерій для отримання енергоносіїв (біогазу та ліпідів – сировини для виробництва біодизелю). Ефективним методом попередньої підготовки біо-

омаси є кавітаційне оброблення. Отримані експериментальні дані свідчать про те, що вже після 7,5 хв оброблення біомаси ціанобактерій у полі кавітації досягається здатність до розділення фаз: біомаса і освітлена вода. Із біомаси, яка пройшла попереднє оброблення у полі гідродинамічної кавітації, вдалось екстрагувати 0,45 % ліпідів (майже 80 % від усіх ліпідів), тоді як із біомаси без такого оброблення екстраговані ліпіди у кількості, що відповідає 0,32 % сухої маси водоростей (25,2 % від всіх ліпідів). Попередня гідродинамічна кавітація дала змогу збільшити частку синтезованого із біомаси водоростей біогазу майже на 30 %. Розроблено раціональну схему збирання приповерхневого шару води, насиченого ціанобактеріями, та його попереднього кавітаційного оброблення. Елементний вміст відпрацьованої біомаси ціанобактерій відповідає вимогам до складу добрива, тому що біомасу можна успішно використовувати як добриво.

Література

1. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ / А.Д. Приймаченко. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1981. – 278 с.
2. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ / А.Д. Приймаченко. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1981. – 278 с.
3. Сиренко Л.А. Растительность и бактериальное население Днепра и днепровских водохранилищ / Л.А. Сиренко, И.А. Корелява, Л.Е. Михайленко и др. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1989. – 231 с.
4. Дзюбан А.Н. Сезонная динамика микробиологического цикла метана в воде прибрежных мелководий Рыбинского водохранилища / А.Н. Дзюбан // Гидробиологический журнал : сб. науч. тр. – 2006. – Т. 42, № 6. – С. 47-51.
5. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Минздрав СССР. 01.01.1989.
6. Никифоров В.В. О природоохранных и энергосберегающих перспективах использования синезеленых водорослей / В.В. Никифоров // Промышленная ботаника : сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 10. – С. 193-196.
7. Никифоров В.В. О методах подавления массового развития синезеленых водорослей / В.В. Никифоров // Вісник проблем біології і медицини : зб. наук. праць. – 2002. – Вып. 4. – С. 27-31.
8. Сассон А. Биотехнология: свершения и надежды / под ред. В.Г. Дебабова. – М. : Изд-во "Мир", 1987. – 411 с.
9. Елизаров А.И. Природоохранный и энергосберегающий аспекты утилизации синезеленых водорослей / А.И. Елизаров, В.В. Никифоров // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів : матер. VII-ої наук.-техн. конф. – Кременчук-Хургада, 2008. – С. 87-90.
10. Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.И. Фитопланктон и вода. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1986. – 134 с.
11. Литовченко И.В. Проблемы и перспективы анаэробной микробиологической конверсии аминокислот в биогаз / И.В. Литовченко, К.В. Макаренко, Т.И. Стручалина. – Фрунзе : Изд-во "Илим", 1990. – 20 с.
12. Никифоров В.В. Отримання біогазу із синьо-зелених водоростей / В.В. Никифоров // Матеріали другої Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції, 27-29 березня 2007 р. – К., 2007. – С. 1-2.
13. Таштаналиев А.С. Биодegradация отходов микробиологического синтеза аминокислот в анаэробных условиях / А.С. Таштаналиев, Т.И. Стручалина // Проблемы и перспективы развития химии и химических технологий в Кыргызстане. – Бишкек : Изд-во "Илим", 2001. – С. 260-265.
14. Патент на корисну модель України № 24106 "Спосіб отримання біогазу із синьозелених водоростей", Співавтори Луговий А.В., Єлизаров О.І., Никифоров В.В., Дігтяр С.В., МПК С12Р 5/00, Бюл. № 9, 2007 р.
15. Барбаш В.А. Модифікований ASAE-спосіб делігніфікації пшеничної соломи / В.А. Барбаш, С.П. Пимаков, І.В. Тембус, М.О. Клік // Вісник Національного технічного університету Ук-

раїни "Київський політехнічний інститут". – Сер.: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – К. : Вид-во НТУУ "КПІ". – 2010. – № 2 (6). – С. 97-101.

16. Склад О.Г. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування / О.Г. Склад, Р.В. Склад // Науковий вісник Таврійський державний агротехнологічний університет : зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 4, т. 1. – С. 3-9.

17. Нестеров А.И. Оптимизация питательного минерального раствора для метанопотребляющих бактерий / А.И. Нестеров, Б.Д. Сусленков, Г.А. Старовойтова // Прикладная биохимия и микробиология : сб. науч. тр. – 1973. – № 9. – С. 873-876.

Малеваний М.С., Никифоров В.В., Харламова Е.В., Синельников А.Д.

Рациональная технология утилизации сине-зеленых водорослей

Проведен анализ перспективности использования цианобактерий для получения энергоносителей – липидов и биогаза. Исследована эффективность применения стадии предварительной обработки биомассы в кавитационном поле. Установлено, что под влиянием кавитации достигается способность к эффективному разделению фаз: биомасса и осветленная вода. Кавитационная обработка также позволяет более, чем в 3 раза увеличить количество экстрагированных из биомассы водоростей липидов и на 30 % увеличить количество синтезированного биогаза. Разработана рациональная схема сбора приповерхностного шара воды, насыщенного цианобактериями и его предварительной кавитационной обработки. Установлен элементный состав отработанной биомассы, который позволяет использовать ее как удобрение.

Ключевые слова: цианобактерии, сине-зеленые водоросли, кавитация, биогаз, липиды, биомасса.

Malovanyy M.S., Nikiforov V.V., Kharlamova O.V., Sinelnikov A.D. Rational Technology of Blue-green Algae Utilization

The analysis of prospects of using cyanobacteria to produce energy (lipids and biogas) was conducted. The efficiency of application of biomass pretreatment stage in cavitation field was studied. It is established that under the influence of cavitation the ability of phase separation is achieved – biomass and illuminated water. Cavitation processing also allows increasing the number of extracted lipids from algae biomass in more than 3 times as well as increase synthesized biogas by 30 %. The rational scheme of collecting surface layer of water which is saturated with cyanobacteria and its previous cavitation treatment was developed. The elemental composition of waste biomass, which allows its use as fertilizer, is determined.

Keywords: cyanobacteria, blue-green algae, cavitation, biogas, lipids, biomass.

УДК 631.879 **Adjunkt M. Bury¹, dr. hab.; prof. S. Stankowski¹, dr. hab.; adjunkt G. Hury¹, dr.; dyrektor A. Dawidowski², mgr.; doktorant N. Opatowicz¹; specjalist M. Sobolewska¹, mgr. inż.; specialist R. Kowalewska¹, mgr. inż.; adjunkt U. Bashutska³, dr.**

WPŁYW NAWOŻENIA SIARKĄ NA WZROST I PŁON KUKURYDZY PASTEWNEJ

Doświadczenie polowe przeprowadzono w sezonie wegetacyjnym 2014 roku na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku koło Stargardu. Badano trzy warianty nawożenia: 0 – kontrolny (PK), N – PK+N oraz S – PK+N+S. Kukurydza, odmiany P8609, rozwijała się bardzo dobrze i pozytywnie reagowała na działanie nawożenia mineralnego. Nawożenie mineralne azotem i nawozem siarkowo-wapniowym pochodzącym z przemysłowego odsiarczania spalin (wariant S), zawierającym

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie;

² Jednostka Biznesowa "Grupa Azoty. Zakłady Chemiczne. Police";

³ Narodowy Uniwersytet Leśno-Techniczny Ukrainy (Lwów)