

СПОСОБИ ЗБОРУ ТА ПЕРЕРОБКИ БІОМАСИ ЦІАНЕЙ, ЩО ВИКЛИКАЮТЬ ЦВІТІННЯ ВОДОЙМ

М. В. Загірняк, В. В. Никифоров, М. О. Єлізаров

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39600, Україна. E-mail: v-nik@kdu.edu.ua

М. С. Мальований

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79013, Україна. E-mail: myroslav.mal@gmail.com

Е. Біннер, Л. Камарад, О. Пухнюк, К. Майкснер

Університет природних ресурсів і наук про життя

Мутгассе, 107, Відень, 1190, Австрія. E-mail: pukhnyuk@boku.ac.at

Об'єктом досліджень є синьо-зелені водорості (*Cyanophyta*), точніше ціанобактерії або ціаней (*Oxyphotobacteriobionta*), що є якнайдавнішою групою автотрофних організмів, залишки яких виявлено в докембрійських строматолітах віком 2,7–3,2 млрд. років. Здатність засвоювати чотири гази: вуглекислий – для фотосинтезу, кисень для дихання, сірководень для хемосинтезу й азот задля його фіксації, дозволяє одній початковій клітинці за вегетаційний період (120 днів) породжувати 10^{20} дочірніх і призводить до їх масового розвитку – «цвітіння» води. Предметом досліджень є способи збору й утилізація ціаней, зібраних під час «цвітіння» з акваторії водосховищ Дніпровського каскаду (застосування альтернативних енергоджерел), для отримання метану та біодобрива. Проблему присвячено визначенню способів переробки ціаней, спрямованих на використання додаткового джерела енергії, отримання біологічно активних сполук, зокрема мінералорганічних добрив, раціонального використання біоресурсів, вирішення національних природоохоронних проблем, пов'язаних з водокористуванням тощо. Апробацію процесу отримання метану проведено у лабораторії екологічної біотехнології та біоенергетики і Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Експериментальна розробка відрізняється типом використаного субстрату (біомаса ціаней) і кількісним складом біогазу (збільшення вмісту метану за рахунок відсутності сірководню і зменшення двооксиду вуглецю).

Ключові слова: охорона природи, водосховища, «цвітіння», біомаса, ціаней, біометаногенез, біогаз, біодобриво.

СПОСОБЫ СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ ЦИАНЕЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ЦВЕТЕНИЕ ВОДОЕМОВ

М. В. Загірняк, В. В. Никифоров, М. А. Єлізаров

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: v-nik@kdu.edu.ua

М. С. Малеваний

Национальный университет «Львовская политехника»

ул. Степана Бандеры, 27, Львов, 79013, Украина. E-mail: myroslav.mal@gmail.com

Э. Биннер, Л. Камарад, А. Пухнюк, К. Майкснер

Университет природных ресурсов и наук о жизни

Мутгассе, 107, Вена, 1190, Австрия. E-mail: pukhnyuk@boku.ac.at

Объектом исследований является синезеленые водоросли (*Cyanophyta*), точнее цианобактерии или цианей (*Oxyphotobacteriobionta*), являющиеся древнейшей группой автотрофных организмов, остатки которых обнаружены в докембрійских строматолитах возрастом 2,7–3,2 млрд. лет. Способность усваивать четыре газа: углекислый – для фотосинтеза, кислород для дыхания, сероводород для хемосинтеза и азот для его фиксации, что позволяет одной начальной клетке за вегетационный период (120 дней) произвести 10^{20} дочерних и приводит к их массовому развитию – «цветению» воды. Предметом исследований являются способы сбора и утилизация цианей, собранных во время «цветения» водохранилищ днепровского каскада (использование альтернативных источников энергии), для получения биогаза и биоудобрения. В статье обсуждаются способы переработки биомассы цианей как дополнительного источника энергии, биологически активных веществ, в частности биоудобрения, рационального использования биоресурсов, решения национальных природоохранных проблем, связанных с водопользованием. Апробацію процесу получения метана проведено в лаборатории экологической биотехнологии и биоэнергетики Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. Экспериментальная разработка отличается типом используемого субстрата (биомасса цианей) и количественным составом биогаза (увеличение содержания метана за счет отсутствия сероводорода и уменьшения диоксида углерода).

Ключевые слова: охрана природы, водохранилища, «цветение», биомасса, цианей, биометаногенеза, биогаз, биоудобрение.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Переробка надлишкової біомаси ціаней, зібраної під час їх масового розвитку, так званого цвітіння, у штучних водоймах, має такі природоохоронні ефекти:

– виконання умов Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН зі змін клімату (Ріо-де-Жанейро, 1992); приєднання до Директиви 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про

встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 р.;

- застосування екологічно безпечного, без суттєвих енерговитрат, способів збору сестона; відновлення порушеної структурно-функціональної організації літоральних екосистем водосховищ дніпровського каскаду (газовий баланс, гідрохімічний режим, зниження токсичності води, нерест іхтіофауни та ін.);

- оздоровлення довкілля і населення завдяки поліпшенню якості природної, у тому числі питної води; використання продуктів виробництва як мінералорганічного добрива в сільському і лісовому господарстві [1–4].

Актуальність проведених досліджень також зумовлена наступними енергетичними й ресурсозберігаючими ефектами від утилізації ціаней: використання безкоштовної сировини як субстрату для ферментації; упродовження дешевого виробництва біогазу і трансформації його в електроенергію; під час збору сестона в плямах «цвітіння» на акваторії лише Кременчуцького водосховища площею 2250 км² у кількості до 50 кг/м³ із об'єму 828 млн. м³ води мілководь (глибина до 2 м; 18,4 % площі водойми) його біомаса становитиме 4,14·10⁷ т за вегетаційний період (120 діб); піддавши цю біомасу ферментації в процесі метаногенезу, можна отримати до 28,98 млн. м³ біогазу (≈ 18,84 млн. м³ метану), що еквівалентно 20 тис. т нафти або 17 тис. т дизельного палива [5].

Метою роботи передбачено науково-технічне обґрунтування способів переробки біомаси ціаней, зокрема екологічної біотехнології отримання із них біогазу, біопалива і біодобрива. Задля досягнення мети передбачено вирішення таких завдань:

- визначення видового складу ціаней, що є агентами «цвітіння» Дніпродзержинського і Кременчуцького водосховищ;

- визначення видового складу метанобактерій, які беруть участь у деградації та біоконверсії фітомаси ціаней;

- визначення потенціалу газоутворення та вмісту поживних речовин у зароджуваному субстраті;

- апробація рідкого мінералорганічного добрива в польових умовах;

- обґрунтування способів рентабельної переробки біомаси ціаней, зібраної під час «цвітіння» акваторії водосховищ дніпровського каскаду.

Об'єктом досліджень є синьо-зелені водорості (*Cyanophyta*), точніше ціанобактерії або ціаней (*Oxyphotobacteriobionta*), що є якнайдавнішою групою автотрофних організмів, залишки яких виявлено в докембрійських строматолітах віком 2,7–3,2 млрд. років. Будучи космополітами, ціанобактерії, не дивлячись на незначну видову різноманітність (близько 2000 видів), зустрічаються скрізь і всюди, оскільки їх адаптаційним можливостям (екологічній пластичності і резистентності), зумовленим їх стародавністю, майже немає меж. Здатність засвоювати чотири гази: вуглекислий – для фотосинтезу, кисень – для дихання, сірководень – для хемосинтезу й азот – задля його фіксації, дозволяє одній початковій клітинці за вегетаційний період породжувати 10²⁰ дочірніх і призводить до їх масового розвитку – «цвітіння» води.

Предметом досліджень є способи утилізації ціаней, зібраних під час «цвітіння» з акваторії водосховищ дніпровського каскаду (застосування альтернативних енергоджерел), для отримання метану та біодобрива. Проблему присвячено визначенню способів переробки ціаней спрямованих на використання додаткового джерела енергії, отримання біологічно активних сполук, зокрема мінералорганічних добрив, раціонального використання біоресурсів, вирішення національних природоохоронних проблем, пов'язаних з водокористуванням.

Основними методами досліджень є математичні (статистичні, комп'ютерні методи і моделювання), фізичні (колориметрія, рентгеноструктурний аналіз, електронна та світлова мікроскопія тощо), хімічні (якісний і кількісний аналіз), біологічні (біотестування) та екологічні (біоіндикація та моніторинг).

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Інноваційними способами, підходами, ідеями і гіпотезами розробленої біотехнології є ідеї використання надлишкової біомаси гідробіонтів узагалі та ціаней зокрема як субстрату для біометаногенезу, застосування екологічно безпечних й економічно вигідних способів збору сестона (безкоштовної сировини), використання відпрацьованого субстрату як мінералорганічного добрива, гіпотеза багаторазового завантаження анаеробних камер відпрацьованим субстратом (інокуляція) задля скорочення тривалості перших етапів метаногенезу, а також підхід з оздоровлення довкілля і населення шляхом поліпшення якості природної, у тому числі питної води, унаслідок вилучення ціаней з акваторії водосховищ дніпровського каскаду, створення модульного стаціонарного комплексу, що складається із концентраційної колони і анаеробної камери тощо.

Авторами розроблений проект розбудови мережі стаціонарних і пересувних комплексів з утилізації ціаней та іншої надлишкової біомаси (вищої водної рослинності, відходів рослинництва і тваринництва, листяного опаду із населених пунктів тощо) уздовж берегової лінії дніпровських водосховищ, а також запропоновано комплексну глибоку переробку біомаси ціаней, зокрема шляхом побудови муніципальної біогазової станції на різноманітному субстраті колективного користування у місті Кременчук, для якої створено оригінальний програмний продукт – віртуальний комплекс біотехнологічного процесу виробництва метану і біодобрива із ціаней. До основних результатів досліджень належать три нові способи збирання сестону з акваторії дніпровських водосховищ (зі стаціонарних берегових комплексів за використанням переливного порогу, самоналивних плаваючих платформ з цистернами та за допомогою спеціально обладнаних суден) [5].

Проведені нами спостереження за цвітінням води у Кременчуцькому водосховищі показують, що маса ціаней вільно переміщується по всій поверхні водойми, дрейфуючи за напрямом вітрів і хвиль. У перші ж дні періоду тихої погоди вздовж берегів, до яких перед цим інтенсивно дули вітри і до яких принесло основну масу ціанобактерій з водойми, біомаса спливає вгору, формуючи в такий спосіб дуже насичений ціанобактеріями поверхневий шар

води. Така періодична природна локалізація ціаней у певних місцях водойми дозволяє запропонувати різні методи механічного вилучення всього насиченого ними поверхневого шару води як ефективного способу очищення водойми від ціанобактерій.

Нам видається, що збирання й обробка таких об'ємів води не являтимуть собою технічно дуже складну проблему. Уявімо, що всі ціаней рівномірно розподілилися по поверхні всіх шести дніпровських водосховищ у поверхневому шарі води завтовшки 5 см. Якщо тепер вилучити весь цей поверхневий шар разом із біомасою, то об'єм води, яку потрібно буде піддати подальшій обробці, складе $0,35 \text{ км}^3$, що співмірно з річним об'ємом стоків з очисних споруд великого міста. Наприклад, річний об'єм стоків з м. Київ становить $0,44 \text{ км}^3$.

Як основний конструкційний елемент пристрою для викачування поверхневого шару води пропонується використовувати занурену на глибину 30–40 см горизонтальну платформу (колектор) для забору поверхневого шару води, насиченого ціанеями. Платформа оснащена системою поплавків, що мають подвійне призначення: не дати платформі затонути і забезпечити горизонтальне позиціонування платформи на заданій глибині під рівнем поверхні водойми. Остання функція забезпечується тим, що поплавки являють собою надувні камери, напускання чи випускання повітря з яких і дозволяє регулювати глибину занурення платформи і її горизонтальність. Конфігурація і розміри платформи можуть змінюватись залежно від конкретного технічного завдання.

Викачаний поверхневий шар води доцільно потім помістити в високу вертикальну місткість – концентраційну колону (КК). Відстоявшись певний час (від однієї до кількох годин) у КК, зібрана маса розділяється: вгору підіймається біомаса ціаней, внизу зосереджується чиста вода. Непотрібна чиста вода зливається через кран у нижній частині КК (через що її доцільно розташовувати на самому березі водойми для мінімізації транспортних витрат на переміщення), після чого біомаса переливається в метантенк. Стационарний модуль із КК і дайджестера змонтовано в лабораторії екологічної біотехнології та біоенергетики КрНУ (рис. 1) у 2015 р.

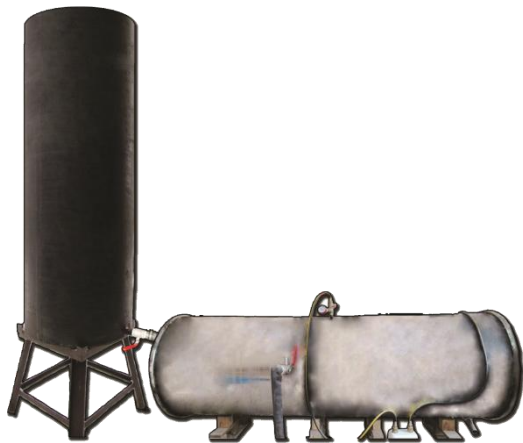


Рисунок 1 – Стационарний модуль із концентраційної колони і дайджестера для збору та метанізації біомаси ціаней

Протягом 2015–2016 навчального року на ньому апробовано біометаногенез на субстраті із ціаней, а у 2017 – розпочато вивчення процесі метанізації відпрацьованого на очисних спорудах активного мулу.

Підземне розташування метантенка доцільне для забезпечення його роботи і в зимовий час, точно так як працює біогазові станція (БГС), побудована на сміттєзвалищі. Робота станції в зимово-весняний період, як і компенсація можливого неповного завантаження метантенка масою ціанобактерій може бути забезпечена за рахунок завантаження в метантенк біомаси іншого походження (опале листя, зібране території паркових та інших зелених зон міста, яке заборонено природоохоронним законодавством спалювати через утворення діоксину – речовини з канцерогенними властивостями; відпрацьований на міських очисних спорудах активний мул, масштаби накопичення якого у містах останніми десятиріччями набуває статусу екологічного лиха, стічні жиrowмісні води молокопереробних підприємств, що мають ХПК 2000–7000, і присутні майже у кожному українському місті з середнім населенням).

Поруч зі БГС доцільно поставити також вітрогенератор з метою забезпечення енергією для власних потреб, зокрема для підігріву та періодичного перемішування біомаси. Електроенергія вітрогенератора може мати і незалежне від роботи БГС призначення. Оскільки субстрат і після ферментації перебуває в рідкому стані, звільнення метантенку від переробленої біомаси здійснюється простим переливом або відкачуванням гідропомпою з подальшим використанням як органічного добрива. Побудова поруч з БГС тепличного господарства може зробити проект ще рентабельнішим – теплиці можуть брати від БГС як біогаз для опалення, так і добрива для підживлення рослин.

Звичайно, сучасна біоекономіка (biobasedeconomy) передбачає розбудову мережі біокластерів, основною структурною одиницею яких є біорефайнери – підприємства, що здійснюють конверсію біомаси на паливо, енергію та хімічні речовини у повному циклі. У даному випадку БГС можна розглядати як біорефайнер, який стане енергопластичним ядром інфраструктури біокластеру (газогенератор, установка зі скраплення біогазу, паливний котел на біомасі, когенераційна установка, підприємства з виробництва фікоціаніну, амінокислотного гідролізату, переробки дігестату на біодобриво, тепличний комплекс тощо).

Можливі способи збирання ціаней у цілому можна розділити на такі групи: збирання їх зі стационарних берегових станцій та збирання їх з допомогою спеціально обладнаних суден. Влаштувати стационарні берегові станції для збирання біомаси доцільно лише біля тих місць водойми, де вони щороку регулярно збираються у великій кількості в період цвітіння води. Зроблені нами спостереження за Кременчуцьким водосховищем показують, що такі скупчення ціанобактерій відбуваються в наступних місцях:

а) у природних затоках, особливо якщо вони вузькі і видовжені, як наприклад затока поблизу

м. Світловодськ, де ціанобактерії щоліта збираються у великій кількості, і де ми зібрали 2 м³ біомаси ціанобактерій для експериментів у 2016 р.;

б) на верхньому б'єфі гідроелектростанції, безпосередньо перед турбінами.

При збиранні ціаней з берега в затоках чи інших місцях колектор стаціонарно встановлюється біля берега, і викачування біомаси відбувається у розташовану на березі поряд з колектором КК. Для поступового підведення до колектора саме насиченого біомасою поверхневого шару води ми бачимо доцільним застосування наступного методу.

Прибережна ділянка водойми оточується неводом, верхній край якого тримається на поверхні води завдяки системі поплавків, а нижній край занурюється в воду на глибину 40–50 см (ширина невода). Полотно неводу може бути суцільне або з дуже дрібної сітки. Невід заводиться так, щоб колектор знаходився всередині охопленої ним ділянки водойми. Далі впродовж усього процесу викачування біомаси невід повільно вибирається, підводячи таким чином насичений біомасою поверхневий шар води до колектора. Недоліками такого методу є потреба в спеціальному судні для заведення невода та потреба в узгодженні швидкості вибирання невода і швидкості викачування біомаси колектором.

Можливий і інший спосіб викачування. Враховуючи те, що ціанобактеріям властиво скупчуватись вздовж берега, перспективною може бути наступна система викачування. В обидва боки від берегової станції вздовж берега, повторюючи його контур, у воді прокладаються дві труби – два викачувальні рукави. Довжина рукавів – від десятків до 2–3 сотень метрів – визначається конкретними умовами місця розташування станції. Рукави заводяться настільки далеко в воду від кромки берега, наскільки це доцільно з урахуванням можливих коливань рівня води у водоймі. Через певні відстані (наприклад, 5 м) в цих трубах вмонтовані трійники, в кожен з яких одним кінцем монтується гнучкі труби-наростки такої довжини, щоб другий їхній кінець міг доставати поверхні води (знову таки з урахуванням можливих коливань рівня води).

Цей другий кінець обладнується поплавком, так що верхній край труби-наростка постійно тримається на певній відстані (наприклад, 5–10 см) нижче поверхні водойми, функціонуючи як міні-колектор. На зимовий час таку систему, звісно, потрібно буде убезпечити від можливих пошкоджень від льодового покрову. Для цього її треба буде всю вибирати на берег, або якимсь чином затоплювати труби-наростки на зимовий період. Крім того, система має бути настільки надійно зроблена, щоб багатократно витримувати руйнівну дію штормів, тим паче з урахуванням, що коливання хвиль біля берега особливо сильне і хаотичне.

Варіацією цієї системи може бути така. Значні ділянки берега водосховищ рукотворні – це широкий забетонований укіс, де лінія берега майже скрізь пряма. Якщо берегова станція міститься на такому березі, то в обидва боки від неї по забетонованому укося вище від найвищого можливого рівня води

дуже просто прокласти стаціонарно дві труби, до яких і кріпити гнучкі труби-наростки, вільні кінці яких будуть занурені у поверхневий шар води біля берега. На зимовий період труби-наростки від'єднуватимуться від стаціонарних рукавів. Перед штормовою погодою їх можна просто вибирати на берег.

У випадку водосховищ найефективнішим, на нашу думку, місцем для спорудження стаціонарної станції для збирання ціанобактерій є місце безпосередньо перед турбінами гідроелектростанції, куди ціанобактерії затягує течією. Спостереження за Кременчуцьким водосховищем засвідчують часті скупчення ціанобактерій перед турбінами ГЕС. Саме там, на верхньому б'єфі, має бути розміщений стаціонарний колектор. Перепад висот між верхнім та нижнім б'єфами дозволяє розмістити концентраційну колону і саму станцію на березі нижнього б'єфу, нижче від греблі, таким чином колектор опиняється вище від КК, і біомаса може текти в колону просто під дією гравітації.

Залежно від погодних умов, великі скупчення ціанобактерій можуть формуватись у самих різних частинах водойми. В таких випадках для їх збирання можуть бути використані спеціально обладнані судна. Крім колектора, таке судно має бути обладнане місткостями для збирання біомаси. Після заповнення місткостей ціанобактеріями, судно доправлятиме їх до берегової станції, де вони будуть перекачані в концентраційну колону. У принципі, вона може бути встановлена на самому судні задля того, щоб доправляти до берегової станції мінімум зайвої води.

Крім того, в даній роботі поставлена науково-практична задача – отримати з біомаси ціаней максимально можливу кількість енергії і корисних продуктів (рис. 2).

Найбільш актуальним в умовах Середнього Придніпров'я є отримання з масових форм ціаней біопалива другого (біометан) і третього покоління (біоетанол або біодизель), а також біодобрива (спеціально підготовленого дігестату). Починаючи з 2007 року, в польових і камеральних умовах вже пройшли апробацію перші і основні етапи глибокої переробки фітомаси ціаней: а) екстракція ліпідів після кавітації; б) виділення біогазу в результаті метаногенезу; в) біотестування отриманого на виході мінералорганічного добрива [6, 7].

Слід підкреслити, що ціаней є дуже цікавими для медицини, фармакології, косметології та парфумерної промисловості, оскільки є потенційним джерелом хромопротеїдів, зокрема фікобіліпротеїдів (червоних і синіх пігментів). З них можна також виділити гемопротеїди, флавопротеїди і фікобіліни – пігменти, що додаються в косметичні композиції, покращують тканинне дихання шкіри. Особливий інтерес представляють гіалуронова і глюкоуронова кислоти. Їх синтез є дуже складним з хімічної точки зору, тому ціаней є цінним джерелом цих сполук. Вони легко витягуються з залишкової сухої біомаси водно-спиртовою екстракцією з наступною перекристалізацією.

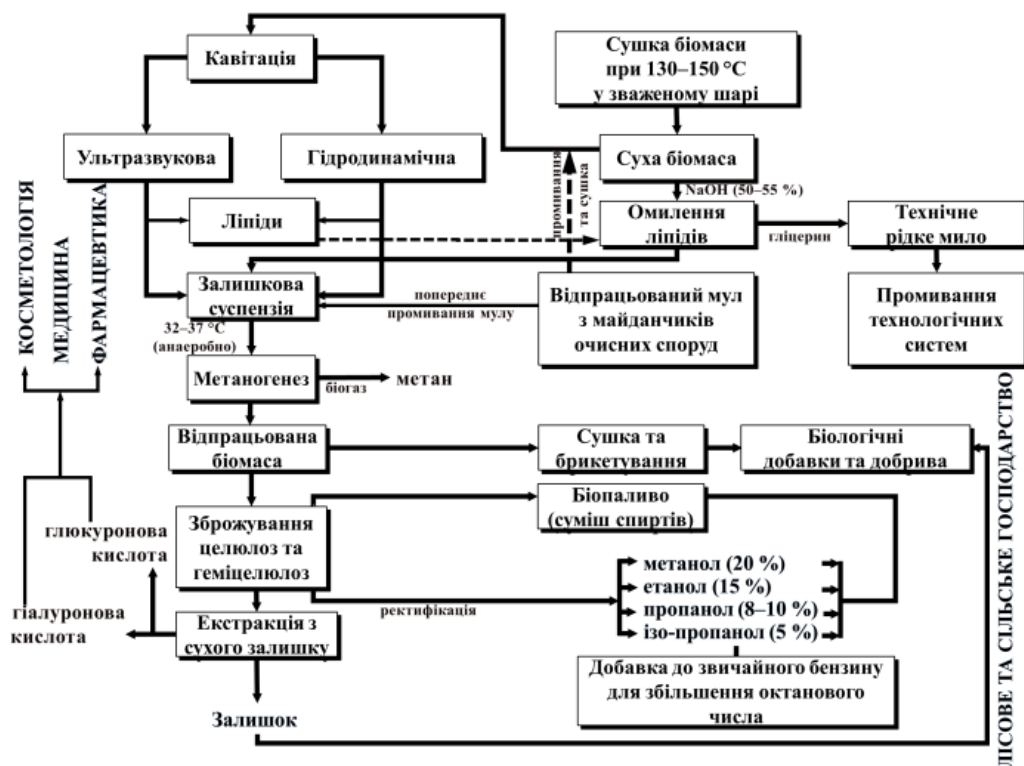


Рисунок 2 – Рентабельні способи та продукти переробки біомаси ціаней, а також галузі їх застосування

Результати останніх лабораторних досліджень свідчать про те, що кількість метану і екстрагованих ліпідів зростає в кілька разів після гідродинамічної кавітації водоростевої біомаси. В даний час закінчуються дослідження, покладені в основу порівняльного аналізу динаміки екстракції ліпідів з ціаней, біомасу яких піддавали гідродинамічній кавітації (рис. 3) і лазерному опроміненню (рис. 4).

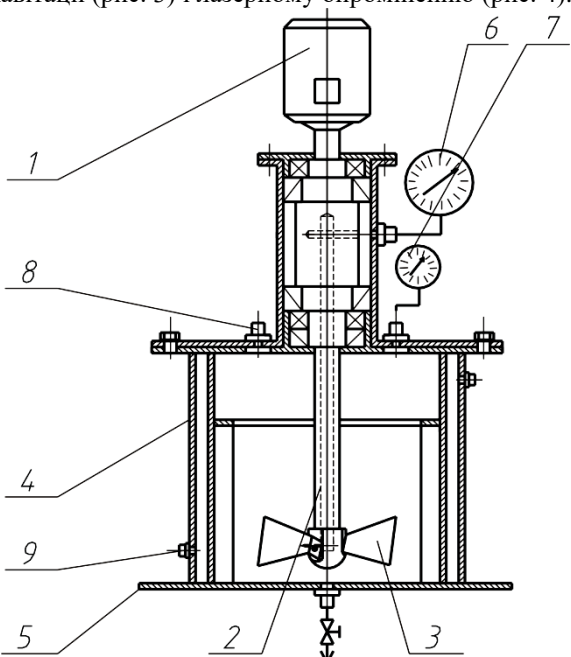


Рисунок 3 – Схема лабораторного стану:
1 – електродвигун; 2 – вал; 3 – кавітаційний орган;
4 – робочий об'єм; 5 – підставка (рама); 6 – тахометр;
7 – манометр; 8 – пробовідбірники; 9 – штуцер для подачі теплоносія



Рисунок 4 – Установа струминного впливу для керованого руйнування поверхонь (довжина хвилі променя 1062 нм, середня потужність випромінювача 410 Вт, частота імпульсів 50–1000 Гц)

ВИСНОВКИ. Таким чином, вилучення ціаней з водієм разом із поверхневим шаром води може бути дієвим заходом для послаблення негативних наслідків «цвітіння» води, евтрофікації якої неможливо запобігти. Результати багаторічних досліджень різноманітних способів і методів збору і переробки синьо-зелених водоростей, що викликають «цвітіння» дніпровських водосховищ доводять можливість і доцільність переробки біомаси ціаней на біогаз шляхом метанолізу. Експериментально встановлено динаміку утворення метану, його якісний склад і кількісні характеристики. Проведено біотестування дігестату на визначення його токсичності задля подальшого застосування як біодобрива у сільському та лісовому господарстві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Smith, Val H., and David W. Schindler. Eutrophication science: where do we go from here? // *Trends in Ecology & Evolution* 24.4 (2009): 201–207.
2. M. Nasir Khan, F. Mohammad. Eutrophication of Lakes, Date: 19 Nov 2013; in A. A. Ansari, S. S. Gill (eds.). *Eutrophication: Challenges and Solutions*; Volume II Eutrophication: Causes, Consequences and Control. – Springer Science+Business Media Dordrecht 2014.
3. Sellner Kevin G., Gregory J. Doucette, Gary J. Kirkpatrick. Harmful algal blooms: causes, impacts and detection // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 30.7 (2003): 383–406.
4. Nykyforov V.V., Yelizarov O.I., Lugovoy A.V., Kozlovska T.F. et al. Nature protection and energy-resource saving technology of green-blue algae utilization in Dnieper reservoirs // *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University* – Kremen- chuk: KrNU, 2011. – № 1 (66) – P. 115–117.

5. Загірняк М.В., Никифоров В.В., Мальованний М.С., Самешова Д., Козловська Т.Ф., Єлізаров М.А., Штрбова Е., Шлик С.В., Дегтяр С.В. Екологічна біотехнологія переробки синьо-зелених водоростей / Монографія – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. – 104 с.
6. V. Nykyforov, M. Malovanyu, T. Kozlovs`ka, O. Novokhatko, S. Digtar. The biotechnological ways of blue-green algae complex processing // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* – Kharkov, 2016. – N 5/10 (83). – P. 11–18.
7. Никифоров В.В., Шмандий В.М., Алферов В.П., Харламова Е.В., Дегтяр С.В. И др. Использование синезеленых водорослей для получения биогаза // *Гигиена и санитария*. – М.: НИИ ЭЧиГОС им. А.Н. Сысина, 2010. – № 6. – С. 35–38.

METHODS OF THE GATHERING AND PROCESSING OF CYANEABIOMASS, CAUSING WATER RESERVOIR «BLOOMING»

M. Zagirnyak, V. Nykyforov, M. Yelizarov

Kremenchuk Mikhailo Ostrohradsky National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail:v-nik@kdu.edu.ua

M. Malovanyu

National University «LvivPolytechnika»
vul. Stepana Bendery,12, Lviv, 79013, Ukraine. E-mail:myroslav.mal@gmail.com

E. Binner, L. Kamarad, O.Pukhnyuk, K. Meixner

University of Natural Resources and Life Sciences
Muthgasse, 107, Vienna, 1190, Austria. E-mail: pukhnyuk@boku.ac.at

Purpose. To provide scientific and technical substantiation of methods for the processing of biomass cyanides, in particular, ecological biotechnology for obtaining biogas, biofuels and bio-fertilizers. **Methodology.** We have applied mathematical (statistical, computer methods and modeling), physical (colorimetry, X-ray diffraction analysis, electronic and light microscopy, etc.), chemical (qualitative and quantitative analysis), biological (biotesting) and ecological (bioindication and monitoring). **Results.** The dynamics of methane formation, its qualitative composition and quantitative characteristics are experimentally established. Biotesting of digestat has been conducted to determine its toxicity for further application as biofuel in agriculture and forestry. **Originality.** Project will address development of the methods of cyanea processing aimed to produce renewable energy, biologically active compounds (including mineral-organic fertilizers), rational use of biological resources, solving the national environmental problems related to water use. **Practical value.** The methane production process was conducted at the of environmental biotechnology and bioenergy of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. Distinctive features of the experimental unit are the type of used substrate (cyanea biomass) and quantitative composition of biogas (methane increase due to absence of hydrogen sulfide and carbon dioxide reduction).

Key words: environmental protection, water reservoir, «bloomings», biomass, cyanea, biomethanogenesis, biogas, biofertilizers.

REFERENCE

1. Smith, V.H. and Schindler, D.W. (2009), «Eutrophication science: where do we go from here?» *Trends in Ecology & Evolution* 24.4: 201–207.
2. Nasir Khan, M., Mohammad, F. (2013), «Eutrophication of Lakes»; in A. A. Ansari, S. S. Gill (eds.), *Eutrophication: Challenges and Solutions*; V. II of «Eutrophication: Causes, Consequences and Control», Springer Science+Business Media Dordrecht 2014.
3. Sellner, A., Kevin, G., Doucette, Gregory J. and Kirkpatrick, G.J. (2003) «Harmful algal blooms: causes, impacts and detection» // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30.7: 383–406.
4. Nykyforov, V.V., Yelizarov, O.I., Lugovoy, A.V., Kozlovska, T.F. et al. (2011), «Nature protection and energy-resource saving technology of green-blue algae utilization in Dnieper reservoirs» // *Transactions of*

- Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University* – Kremenchuk: KrNU. – № 1 (66) – P. 115–117.
5. Zagirnyak, M.V., Nykyforov, V.V., Malovany, M.S., Sameshova, D., Kozlovskaya, T.F., Yelizarov, M.A., Shtrbova, E., Shlik, S.V., Degtyar, S.V. (2017), *Ecological biotechnology for the processing of blue-green algae* / Monograph – Kremenchuk: PP Shcherbatih O.V. – 104 p.
 6. Nykyforov, V., Malovanyu, M., Kozlovs`ka, T., Novokhatko, O., Digtar, S. (2016), *The biotechnological ways of blue-green algae complex processing* // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* – Kharkov. – N 5/10 (83). – P. 11–18.
 7. Nykyforov, V.V., Shmandiy, V.M., Alferov, V.P., Kharlamova, E.V., Degtyar, S.V. etc. (2010), *Use of blue-green algae for biogas production* // *Hygiene and Sanitation*. – М. : SRI ESIGIOS them. A.N. Sysina. – № 6. – P. 35–38.

Стаття надійшла 04.12.2017.