

# ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОБЕЗПЕКИ

УДК 574.6:477.63/64

## ЕКОЛОГІЧНА БІОТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНУ ТА БІОДОБРИВА ІЗ СИНЬО-ЗЕЛЕНИХ ВОДОРОСТЕЙ

Никифоров В.В., Дігтяр С.В.

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

Представлена екологічна біотехнологія виробництва метану і біодобрива з синьо-зелених водоростей. Обговорюються природоохоронні, енергозберігаючі та агротехнологічні перспективи використання синьо-зелених водоростей під час «цвітіння» води. Утилізація їх критичної фітомаси (0,5 млн т) призведе до оздоровлення території середнього Придніпров'я та забезпечить отримання близько 0,5 млн м<sup>3</sup> метану з акваторії Кременчуцького водосховища протягом вегетаційного періоду (70 днів), а також понад 0,4 млн т збалансованого рідкого біодобрива. *Ключові слова:* синьо-зелені водорості, біогаз, біодобриво, охорона природи, енергозбереження, дніпровські водосховища.

**Экологическая биотехнология производства метана и биоудобрения из сине-зеленых водоростей.** Никифоров В.В., Дегтярь С.В. Представлена экологическая биотехнология производства метана и биоудобрения из сине-зеленых водоростей. Обсуждаются природоохранные, энергосберегающие и агротехнологические перспективы использования сине-зеленых водоростей во время «цветения» воды. Утилизация их критической фитомассы (0500000 т) приведет к оздоровлению территории среднего Приднепровья и обеспечит получение около 0500000 м<sup>3</sup> метана из акватории Кременчугского водохранилища в течение вегетационного периода (70 дней), а также более 0400000 т сбалансированного жидкого биоудобрения. *Ключевые слова:* сине-зеленые водоросли, биогаз, биоудобрение, охрана природы, энергосбережения, днепровские водохранилища.

**Environmental biotechnology is the production of methane and fertilizer from blue-green algae.** Nikiforov V., Dihtyar S. The presented environmental biotechnology production of methane and fertilizer from blue-green algae. We discuss the environmental, energy saving and Agrotechnological prospects of blue-green algae during the "flowering" of water. Disposal of critical biomass (0.5 million tons) will lead to the recovery of the Middle Dnieper and will provide the approximately 0.5 million m<sup>3</sup> of methane from Kremenchug reservoir waters during the growing season (70 days) and more than 0.4 million tons of balanced liquid fertilizer. *Keywords:* blue-green algae, biogas, bio, environmental protection, energy saving, Dnieper Reservoir.

Прикладне значення досліджень пов'язано з тим, що екологічна (природоохоронна, безвідходна) біотехнологія (БТ) виробництва метану (біогазу) із синьо-зелених водоростей (СЗВ), що масово розвиваються влітку у водосховищах дніпровського каскаду, спрямована на забезпечення питною водою понад 80 % населення України. Супутнім продуктом БТ є мінералорганічні добрива, що зумовлює її безвідходність. Упровадження БТ для національної економіки забезпечуватиме розв'язання важливих проблем енергетичного, екологічного й аграрного значення.

Це одержання забезпечить дешевим метаном і добривом фермерські господарства та поліпшить екологічний стан р. Дніпро, прибережних населених пунктів і місць відпочинку, збільшить продуктивність риби, а також знизить витрати на очистку води відповідно до ДСТУ «вода питна», оскільки вилучення ціанобактерій із води призведе до поліпшення її якості. Дослідження показали, що під час природного бродіння у воді накопичуються метан, ацетон, олійна і оцтова кислоти, бутанол, феноли, аміни типу «групних отрут» (путресцини), у результаті життєдіяльності СЗВ виділяється понад 20 різноманітних альготоксинів тощо.

Про актуальність досліджень свідчить віднесення їх до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки: Закон України № 2623-III, щодо «збереження навколишнього середовища та сталій розвитку»; спільний Указ МОН і НАН України № 1066/605 «Екологія збереження біорізноманітності та проблеми раціонального використання біоресурсів»; Програма прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку (Постанова Кабінету Міністрів Укра-

їни № 1086), відповідно до яких проводяться дослідження.

Проект є продовженням фундаментальних досліджень теми «Фізико-хімічна біологія метаногенезу гідробіонтів на прикладі ціанобактерій» (№ державної реєстрації 0108U002170) у межах якої визначаються біохімічні та мікробіологічні характеристики процесу і способи виробництва біогазу, особливості хімічної кінетики метаногенезу субстрату СЗВ.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Якщо на сьогодні певна частина енергетичного потенціалу наземної біомаси рослинного походження утилізується людом (сьогодні шосту частину споживаної енергії отримують із агрогенної та іншої фітомаси, що еквівалентно щоденному використанню понад чотирьох млн т нафти), то біомаса гідробіонтів загалом фітопланктону зокрема майже не затребувана. Тому використання СЗВ під час їх «цвітіння» на акваторії водосховища дніпровського каскаду для виробництва біогазу дозволить одержати не лише додаткове джерело енергії, а й поліпшити санітарно-гігієнічний стан води та прибережних територій [1].

Рослини утилізують близько 0,1 % сонячної енергії, яка сягає поверхні Землі, що в 10 разів перевищує світове споживання енергії. Тому виникла ідея використання клар-газу – палива, яке отримується з органічної маси шляхом її біоконверсії. Метаногенез (метанове «бродіння») був відкритий у 1776 р. Вольфом, який виявив наявність метану в болотному газі. При цьому, найбільш перспективними акумуляторами сонячної енергії виявилися мікробіодорості:

максимальне значення ККД фотосинтезу у цианей сягає 20 %, що у 200 разів перевищує середнє значення ККД фотосинтезу на земній кулі. Енергія, накопичена в 1 м<sup>3</sup> біогазу, еквівалентна енергії 0,6 м<sup>3</sup> природного газу, 0,7 л нафти або 0,6 л дизельного палива [2-5].

#### Новизну у дослідженнях становлять:

- ідея використання надлишкової біомаси гідробіонтів загомі та синьо-зелених водоростей зокрема як субстрату для біометаногенезу;

- спосіб екологічно безпечного й економічно вигідного збору сестона як безкоштовної сировини;

- ідея використання відпрацьованого субстрату як мінералорганічного добрива;

- гіпотеза багаторазового завантаження анаеробних камер відпрацьованим субстратом (інокуляція) для скорочення тривалості перших етапів метаногенезу;

- оздоровлення довкілля і населення шляхом поліпшення якості природної, у тому числі питної води, внаслідок вилучення СЗВ з акваторії водосховищ дніпровського каскаду.

#### Викладення основного матеріалу

Об'єктом досліджень є синьо-зелені водорості (*Cyanophyta*), точніше ціанобактерії (*Oxyphotobacteriobionta*), що є якнайдавнішою групою автотрофних організмів, залишки яких виявлено в докембрійських строматолітах віком 2,7–3,2 млрд. років. Як космополіт ціанобактерії навіть за їх незначної видової різноманітності (близько двох тис. видів), зустрічаються всюди, оскільки їх адаптаційні можливості (екологічна пластичність і резистентність), зумовле-

ні їх стародавністю і не мають 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 (70 днів) породжувати 10<sup>20</sup> дочірніх, спричиняє їх масовий розвиток – «цвітіння» води.

Предметом досліджень є збір й утилізація СЗВ, зібраних під час «цвітіння» з акваторії водосховищ дніпровського каскаду (застосування альтернативних енергоджерел), для отримання метану та біодобрива. Дослідження спрямовано на впровадження проектованої БТ для отримання додаткового джерела енергії, мінералорганічних добрив, раціонального використання біоресурсів, вирішення національних природоохоронних питань, пов'язаних з водокористуванням.

Апробовано отримання метану на базі лабораторій кафедри екологічної біотехнології та біоенергетики факультету природничих наук Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Експериментальна розробка відрізняється типом використаного субстрату (біомаса СЗВ) і кількісним складом біогазу (збільшення вмісту метану за рахунок відсутності сірководню і зменшення двооксиду вуглецю). Технічним результатом цього є отримання 1,7 дм<sup>3</sup> суміші газів із 1,0 дм<sup>3</sup> концентрованого субстрату протягом тижня при оптимальній температурі 20-30°C кількісно-якісного складу: метан (85 %), двооксид вуглецю (10 %), інші гази (5 %), а також зникнення сірководню, який входить до складу біогазу, отриманого із інших (зоогенних) субстратів, і викликає корозію металевих конструкцій.

Для впровадження в національну економіку екологічної біотехнології виробництва метану із синьо-зелених водоростей:

- досліджено специфіку ферментативних реакцій біометаногенезу фітомаси СЗВ;

- визначено видовий склад ціанобактерій і мікроорганізмів, які беруть участь у деградації та біоконверсії органічної речовини (фіто- і зоогенного субстрату);

- вивчено технологічні умови виробництва метану;

- розроблено комплексну екологічну біотехнологію, що забезпечує рентабельне виробництво біогазу (клар-газу) із біомаси ціанобактерій, зібраної під час «цвітіння» акваторії водосховищ дніпровського каскаду;

- проведено моделювання БТ на найбільшому в Європі Кременчуцькому водосховищі;

- розраховано економічну та соціальну ефективність упровадження біоконверсійних дайджестерів (метантенків) в умовах фермерських господарств на території Середнього Придніпров'я;

- проведено біотестування водних розчинів рідкого біодобрива.

У прикладних (експериментальних) дослідженнях використано 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) методи.

Дослідження виконуються на базі кафедри екологічної біотехнології та біоенергетики Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського зі застосуванням скануючого електронного мікроскопу РЕМ

106-В, тринокулярного світлового мікроскопу для морфологічних досліджень XS-3330, спектрофотометру ФЕК 3-М тощо.

Новітня екологічна (природоохорона, безвідходна) біотехнологія виробництва метану як альтернативного джерела енергії із синьо-зелених водоростей та інших гідробіонтів не має світових аналогів та передбачає розбудову мережі стаціонарних і пересувних комплексів з утилізації СЗВ та іншої надлишкової біомаси (вищої водної рослинності, відходів рослинництва і тваринництва, листяного опадів із населених пунктів тощо) уздовж Дніпровського національного екологічного коридору для забезпечення сталого еколого-економічного розвитку придніпровських регіонів. До потенційних замовників та зацікавлених у використанні результатів досліджень є водоочисні споруди, фермерські господарства, агропромислові підприємства, пов'язані з післяурожайною діяльністю, організації у галузі аквакультури.

#### Висновки

Утилізація ціанобактерій має природоохоронний, енергоресурсний, енергозберігаючий та агротехнологічний ефекти:

- застосування екологічно безпечно, без суттєвих енерговитрат, способу збору сестона;

- 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.;

- відновлення порушеної структурно-функціональної організації літоталь-

них екосистем водосховищ дніпровсько-го каскаду (газовий баланс, гідрохімічний режим, зниження токсичності води, нерест іхтіофауни та ін.);

– оздоровлення довкілля і населення завдяки поліпшенню якості природного середовища, у тому числі питної води;

– використання продуктів виробництва як мінералорганічного добрива в сільському і лісовому господарстві;

– використання соціального і фінансового ефекту для забезпечення сталого еколого-економічного розвитку придніпровських регіонів;

– використання безкоштовної сировини як субстрату для ферментації;

– впровадження дешевого виробництва біогазу і трансформація його в електроенергію;

– під час збору сестона в плямах «цвітіння» на акваторії лише Кременчуцького водосховища площею 2250 км<sup>2</sup> у кількості до 50 кг/м<sup>3</sup> із об'єму 828 млн м<sup>3</sup> води мілководь (глибина до 2 м; 18,4% площі водойми) його біомаса становитиме 4.14·10<sup>7</sup> т за вегетаційний період (70 діб);

– ферментація цієї біомаси в процесі метаногенезу, забезпечує отримання до 28,9 млн м<sup>3</sup> біогазу (≈ 18,8 млн. м<sup>3</sup> метану), що еквівалентно 20 тис. т нафти або 17 тис. т дизельного палива.

**Перспективи використання результатів досліджень.** Очікуване впровадження результатів досліджень у навчальному процесі полягає у:

– підготовці нових лекційних курсів та циклів лабораторних робіт з дисциплін «основи екологічної біотехнології», «сучасні біотехнології в агросфері», «підготовка питної води», «хімічна мікробіологія», «мікробіологія та хімія води»;

– виконанні та захисті кваліфікаційних робіт бакалавра і магістра;

– виданні підручника і навчальних посібників з дисциплін «основи екологічної біотехнології», «технології біорекультивациі», «біоремедіація ґрунтового і водного середовищ»;

– прийнятті до захисту спеціалізованою вченою радою двох кандидатських і однієї докторської дисертації за відповідною проблематикою.

### Література

1. Никифоров В.В. Про природоохоронні та енергозберігаючі перспективи використання синьо-зелених водоростей // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецк, 2010. – Вып. 10. – С. 193–196.
2. Водоросли. Справочник / Под ред. С.П. Вассера. – К.: Наук. думка, 1989. – С. 142–166.
3. Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.И. Фитопланктон и вода. – К.: Наук. думка, 1986. – 134 с.
4. Сассон А. Биотехнология: свершения и надежды / Под ред. В.Г. Дебабова. – М.: Мир, 1987. – 411 с.
5. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и эвтрофирование. – К.: Наук. думка, 1978. – 232 с.

## ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО

УДК 504.058:54-414

### ЛИКВИДАЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ С ПОМОЩЬЮ СОРБЕНТОВ

Дан Е. Л., Бутенко Э.О., Капустин А.Е.

ГВУЗ Приазовский государственный технический университет,  
ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500,  
danelen@list.ru;

Исследовано влияние отвалов шлаков металлургического и коксохимического производства на состояние прилегающих к ним водоемов. Рассмотрена кинетика ликвидации сульфидсодержащих соединений с помощью сорбентов - слоистых двойных гидроксидов. Определен оптимальный состав сорбента для очистки водоемов, загрязненных шлаками. *Ключевые слова:* шлак, сульфид, слоистые двойные гидроксиды.

**Ліквідація сульфідних промислових стоків за допомогою сорбентів.** Дан О.Л., Бутенко Е.О., Капустин О.Є. Досліджено вплив відвалів шлаків металургійного та коксохімічного виробництв на стан прилеглих до них водойм. Розглянута кінетика ліквідації з'єднань, що містять сульфід, за допомогою сорбентів - шаруватих подвійних гідроксидів. Визначено оптимальний склад сорбенту для очищення водойм, забруднених шлаками. *Ключові слова:* шлак, сульфід, шаруваті подвійні гідроксиди.

**The liquidation of sulfide industrial wastewater by means of sorbents.** Dan O., Butenko E., Kapustin A. The influence of slag dumps of metallurgical and coke production on the state of adjacent waters was investigated. The kinetics of liquidation of sulfide compounds by sorbents - layered double hydroxides was researched. The optimal composition of the sorbent for water treatment contaminated by slags was calculated. *Keywords:* slag, sulfide, layered double hydroxides.

### Введение

В технологическом цикле металлургических предприятий используется большое количество воды, что обуславливает расположение их вблизи водных объектов, металлургические шлаки в основном складываются в отвалах на берегах рек и морей открытым спо-

собом. При открытом способе складирования отвал металлургических шлаков является источником вторичного загрязнения окружающей среды вследствие эмиссии загрязняющих веществ в воздух, объекты гидросферы и почву [1]. Таким образом, шлаки являются основным источником серо-