

УДК 502

ЕКОЛОГІЧНІ Й ЕНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ ШТУЧНОГО ВИЛУЧЕННЯ ЦІАНОБАКТЕРІЙ З АКВАТОРІЇ ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ**О. І. Єлізаров, М. О. Єлізаров**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: yel@bigmir.net

Обговорюється екологічні й енергетичні аспекти можливого очищення акваторій дніпровських водосховищ від ціанобактерій шляхом поверхневого збирання насиченого ними шару води з наступною переробкою зібраної маси на біогаз і добрива.

Ключові слова: ціанобактерії, біогаз, водосховище, Дніпро, цвітіння води.**ECOLOGIC AND ENERGETIC ASPECTS OF THE ARTIFICIAL REMOVING OF CYANOBACTERIA FROM AQUATORIUM OF DNIEPER WATER RESERVOIRS****A. I. Yelizarov, M. A. Yelizarov**Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: yel@bigmir.net

Ecologic and energetic aspects of possible clearing aquatorium of Dnieper water reservoirs for withdrawing cyanobacteria by superficial gathering water layer, saturated by them, with the subsequent processing of the collected mass on a bio-gas and agricultural fertilizers come into question.

Key words: cyanobacteria, biogas, water reservoir, Dnieper, algal bloom.**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСКУССТВЕННОГО УДАЛЕНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ИЗ АКВАТОРИИ ДНЕПРОВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ****А. И. Елизаров, М. А. Елизаров**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: yel@bigmir.net

Обсуждаются экологические и энергетические аспекты возможной очистки акваторий днепровских водохранилищ от цианобактерий путем поверхностного збора насыщенного ими слоя воды с последующей переработкой собранной массы на биогаз и сельскохозяйственные удобрения.

Ключевые слова: цианобактерии, биогаз, водохранилище, Днепр, цветение воды.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Наслідками побудови в 1950-70 роках каскаду гідроелектростанцій на Дніпрі стала радикальна зміна водного режиму річки й різке погіршення якості дніпровської води. Головні причини таких наслідків дві: перша – затоплення територій населених пунктів, обширних ланів, тваринницьких ферм тощо, і друга – суттєве зменшення швидкості течії ріки. Об'єм води у водосховищах дніпровського каскаду – ~43,65 км³, а річний стік Дніпра становить ~50 км³, тож штучно затриманий у водосховищах об'єм води є співмірним із річним стоком. Водосховища суттєво збільшили переріз русла Дніпра, який, як відомо, формує швидкість неперервного потоку. За цих умов у водосховищах вода є практично стоячою. Тому ми можемо констатувати: сучасний Дніпро в своєму середньому і нижньому руслі є скоріше каскадом ставків, аніж річкою. Отже, в основу дослідження екосистеми Дніпра необхідно покласти лімнологічний підхід.

Затоплення великих площ ланів призвело до насичення вод Дніпра різноманітною номенклатурою органічних речовин, маса яких продовжує зростати завдяки потраплянню у річку промислових і комунальних стоків, а також зливних стоків із прибережних зон. Ці ж зони, на відміну від плавневих територій пойми старого Дніпра, включені в інтенсивне хліборобство і щороку вбирають в себе величезну кількість добрив, значна частина яких урешті решт опиняється у водоймі. Насиченість органікою і втрата водою течії після утворення водосховищ при-

звели до радикальної зміни спектру біоти, більш того, ця зміна при створенні нових взаємозв'язків і вибудовуванні нової ієрархії своїм наслідком мала примат ціанобактерій [1, 2]. Ця обставина, власне, не залишила Дніпру жодного природного фактору для самоочищення. Свідчення тому – багаторічне панування ціанобактерій за відсутності будь-яких ознак самоперетворення біоти в іншу, екологічно кращу структуру.

Сам характер циклу „зародження → розвиток → деградація → відмирання ціанобактерій” послідовно включає лише механізми позитивного зворотного зв'язку природних процесів, які утверджують їх домінуючу роль в екосистемі сучасного Дніпра. Справді, ціанобактерії не пов'язані з ґрунтом, а, значить, і впливом глибин на чисельність їхньої популяції, тож розселяються по всій акваторії; їх питома густина трохи менша від густини води, тому після шторму і перемішування води вони досить швидко спливають на поверхню, де ефективно перехоплюють сонячну радіацію для свого розвитку, забираючи її в інших мешканців водойми. Утворюючи досить щільний поверхневий шар, вони зменшують коефіцієнт відбиття сонячної радіації, що сприяє додатковому прогріванню саме поверхневого шару водойми, а, отже, і прискоренню розвитку ціанобактерій; вони також не є ланцюгом харчування для інших біологічних видів.

Наслідки панування ціанобактерій у водоймі Дніпра виключно негативні. У фазі свого розкла-

дання, яка триває з другої половини липня до кінця вересня, ціанобактерії перетворюють воду Дніпра на смердючу і брудну рідину, унеможливають очищення до необхідних стандартів питної води на станціях первинної очистки водогонів великих промислових міст із загальним населенням понад 6,3 млн. чол., наповнюють повітряний басейн нудотним запахом, збіднюють воду киснем, що спричиняє задуху риби особливо цінних порід. Свідченням тому є типова картина спливання загиблої риби на поверхню і розкладання її під гарячим сонцем. Про збіднення водойми киснем свідчать і дані складу повітря над акваторією Рибінського водосховища в період його цвітіння [3]. Серед компонентів автори [3] виявили метан. Останній, як відомо, утворюється в процесі анаеробного бродіння.

Отже, можна зробити висновок, що збіднення киснем води під час розкладання ціанобактерій настільки суттєве, що в приповерхневому шарі виникають умови для безкисневого гниття. Часті коливання рівня на нижніх б'єфах гідростанцій призводять до затоплення широких прибережних смуг і потрапляння насиченої ціанобактеріями літньої дніпровської води на територію плавень, в озера, рукави і стариці Дніпра. З цієї причини замулились і практично загинули чудові піщані пляжі. Акваторія Дніпра перетворюється літньої пори на джерело небезпечного бактеріцидного забруднення.

Чи ж має змальована вище ситуація хоч який-небудь, хай спочатку гіпотетичний, шанс на позитивне вирішення, чи сучасний стан Дніпра – даність, яку принципово змінити неможливо?

Звернімося до прецедентів у нашій проблематиці. Добре відомий позитивний досвід відновлення озерних вод Канади [4]. Задача, яка була розв'язана лімнологами – суттєве зниження евтрофності Великих озер (оз. Ері – 25,8 тис. км², 458 км³; оз. Онтаріо – 190 тис. км², 1638 км³), яка виникла в 1960-70 роки у зв'язку зі зростанням населення і викликаного цим забруднення водойм речовинами, живильними для розвитку небажаної флори, зокрема ціанобактерій.

Тут хотілось би звернути увагу на дві важливі обставини:

- величезні об'єми води, якість якої було, хоч би частково, відновлено;
- об'єктом відновлення були трансформовані антропогенним забрудненням водойми природного походження, тобто водойми, що мають досить потужні механізми самоочищення.

До успішно здійсненого людиною у великих масштабах очищення забруднених вод необхідно віднести і станції очищення стічних вод мегаполісів. Відмінність цього об'єкту очищення від попереднього полягає у тому, що він є:

- на порядки більшим при початковому забрудненні води, як за концентраціями, так і за складом забруднюючих компонентів;
- цілковито штучно наповненим водою басейнів-відстійників, і у зв'язку з цим є можливість проводити процедури очищення послідовно (від басейну до басейну) [5].

Крім того, об'єми очищеної в рік води тут хоч і величезні (для 5-ти мільйонного міста це $\sim 5 \cdot 10^6 \cdot 10 \text{ м}^3 \cdot 12 \text{ місяців} = 6 \cdot 10^8 \text{ м}^3 = 0,6 \text{ км}^3$), проте значно менші за об'єми озер Канади.

У зв'язку із вищезазначеним метою цієї роботи є розгляд можливості, доцільності й ефективності очищення водосховищ Дніпра від ціанобактерій способом поверхневого збирання насиченого ними шару води та можливостей подальшого використання цієї маси.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Об'єкт нашого дослідження – каскад дніпровських водосховищ – суттєво відмінний як від озер Канади, так і від крупних штучних станцій очистки стічних вод, а, отже, безпосередньо ми не можемо скористатися досвідом відновлення якості води, накопиченого в цих проектах. Справді, водосховища не мають потужних природних механізмів очищення, як озера Канади, їх не можна вибудувати як послідовність резервуарів, у кожному з яких здійснювався б свій етап відновлення, як це робиться на полігонах очистки стічних вод великих міст. Проте, на наш погляд, існує можливість, бодай не стовідсотково, та все ж суттєвого відновлення якості води Дніпра.

1. Дніпро має досить потужний, хоч і специфічний, механізм самоочищення. Справді, евтрофність водосховищ, яка породжує примат ціанобактерій в їхній біоті, суттєво знижується на період їхньої вегетації. Адаже саме компоненти живильного для ціанобактерій «бульйону» йдуть на утворення їх біомаси. Іншими словами, ціанобактерії вбирають в себе біогени, видають їх, подібно до того, як це робить активний мул в аеротенках. Щоправда, відмираючи і розкладаючись, ціанобактерії вертають це все назад у водойму, а не відкладають у вигляді пасивного мулу і в такий спосіб знову забруднюють водойму. Оскільки в загальній масі ціанобактерій одночасно присутні різні покоління цієї культури, то ми спостерігаємо накладання процесів очищення і забруднення водойми. І, якщо під час розвитку ціанобактерії виділяють кисень і, можливо, збагачують ним поверхневий шар води, то поруч із цим померлі особини, розкладаючись, збіднюють водойму на кисень не лише в приповерхневому шарі, а й на глибині, куди вони опускаються. Процес збіднення киснем є потужнішим за процес насичення, і тому водойма в цілому його втрачає. Ці втрати можуть бути настільки суттєвими, що створюють передумови для анаеробного розкладання органічної речовини. Справді, серед складових повітря над акваторією Рибінського водосховища під час цвітіння ціанобактерій виявлено метан [3]. Отже, вилучення з водойми біомаси ціанобактерій є необхідною умовою її очищення.

2. Ціанобактерії є прекрасною сировиною для одержання біогазу. Про це свідчать результати наших дослідів, які полягали в наступному. Тенк об'ємом 50 л був залитий насиченою ціанобактеріями дніпровською водою, і ця маса була піддана анаеробному бродінню, під час якого зареєстровано постійне виділення газу. Скоро після початку процесу газ почав горіти, причому хроматографічний аналіз показав, що його склад (85% метану) близь-

кий за складом до природного газу (табл. 1) і не має компонентів, шкідливих при згорянні.

Таблиця 1 – Хімічний склад біогазу, одержуваного з ціанобактерій

Складова газу	Об'ємна частка, %
Метан	85,26
Азот	10,36
Кисень	2,90
Етан	0,95
Пропан	0,33
Інші гази	0,2

3. Теплотворна здатність цього біогазу становить приблизно 33 МДж/м³. Отже, екологічний захід очищення водойми від ціанобактерій може бути доповнений енергоощадним. Додатковим корисним продуктом є маса, яка залишається після бродіння водоростей: результати наших експериментів показують, що її можна успішно використовувати як сільськогосподарське добриво, причому вони, як показує їх хімічний аналіз (табл. 2), не містять важких металів (за винятків малої кількості міді), а отже, їх можна використовувати як добриво не лише для технічних, але й для харчових сільськогосподарських культур.

Таблиця 2 – Хімічний склад решток ціанобактерій після анаеробного бродіння

Елементи	Вага, %
C	54,66
O	37,81
Si	0,61
P	1,34
S	0,69
Cl	0,22
K	2,14
Ca	1,92
Cu	0,6

4. Приповерхнева локалізація біомаси ціанобактерій дозволяє запропонувати ефективні способи їх збирання. Якщо навіть взяти акваторію всіх водосховищ і товщину шару води в 5 см для збору ціанобактерій з метою подальшої перегонки на біогаз, то об'єм зібраної води складе $7 \cdot 10^9 \text{ м}^2 \cdot 0,05 \text{ м} = 0,35 \text{ км}^3$, що є співмірним (навіть меншим), ніж об'єм стічних вод мегаполіса. Так, наприклад, річний об'єм стоків із Києва – 0,44 км³.

5. Помічено, що вода влітку в придонних шарах середнього Дніпра набуває червонуватого кольору, що часто пояснюють наявністю марганцю, який чи то потрапляє у річку з промисловими стоками, чи то виділяється під час розмноження ціанобактерій. Проте наші дослідження показують, що це суто оптичний ефект, який спричиняють частинки, що утворюються при розкладанні ціанобактерій. Червонуватий колір така вода має лише у відбитому світлі, натомість у прохідному має чистий блакитно-синій колір, що може бути обумовлене особливостями розсіювання світла на зважених частинках, розмір яких співмірний з довжиною хвилі. Насичена ціанобактеріями вода з часом

утрачає цей червонуватий колір. Відстеження спектрів відбиття і пропускання такої води може дати інформацію про те, на якій стадії знаходиться розкладання ціанобактерій.

ВИСНОВКИ. Виконані дослідження підтвердили, що ціанобактерії можна повністю утилізувати, виділивши з них біогаз і використавши залишкову масу як добриво. Теплотворна здатність біогазу з ціанобактерій співмірна з теплотворною здатністю побутового газу. Запропоновані способи збирання ціанобактерій не є інженерно складними. Це дозволяє приступити до розробки технічно й економічно обгрунтованого крупномасштабного проекту очищення від них всього басейну Дніпра. Наслідком такого екологічного оздоровлення буде суттєве покращення якості Дніпрової води, що, свою чергу, полегшить її очищення до питної, покращить умови проживання риб і, відповідно, збільшить їхню популяцію і видобуток, сприятиме відновленню берегів Дніпра як привабливої зони туризму і здорового відпочинку людей. Навіть, якщо одержаний з ціанобактерій біогаз і добрива не відшкодують повністю витрачених на проект коштів, то екологічні наслідки проекту (опосередкована користь від покращення якості води) значною мірою компенсують їх.

ЛІТЕРАТУРА

1. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. – К.: Наукова думка, 1981. – 278 с.
2. Сиренко Л.А., Корелява И.А., Михайленко Л.Е. и др. Растительность и бактериальное население Днепра и днепровских водохранилищ. – К.: Наукова думка, 1989. – 231 с.
3. Дзюбан А. Н. Сезонная динамика микробиологического цикла метана в воде прибрежных мелководий Рыбинского водохранилища // Гидробиол. журнал. – 2006. – Т. 42, № 6. – С. 47–51.
4. Валлентайн Дж. Восстановление озерных вод Канады // Наука и человечество. – 1978. – С. 123–134.
5. Дубровский А. Путешествие капли воды // Наука и жизнь. – 2008. – № 9. – С. 84–88.

REFERENCE

1. Pryjmachenko A.D. Fitoplankton and primary products of Dnieper and Dnieper water reservoirs. – K.: Naukova Dumka, 1981. – 278 p. [in Russian].
2. Sirenko L.A., Korelyava I.A., Mykhajlenko L.E. and others. Vegetation and bacterial population of Dnieper and Dnieper water reservoirs. – K.: Naukova Dumka, 1989. – 231 p. [in Russian].
3. Dziuban A.N. A seasonal dynamics of microbiological cycle of methane in water of off-shore shoals of the Rybinsk' water reservoir // Hydrobiol. J. – 2006. – V. 42, № 6. – P. 47–51 [in Russian].
4. Vallentane J. Restoration of Canadian lake waters // Nauka i Chelovechestvo. – 1978. – P. 123–134 [in Russian].
5. Dubrovskij A. The adventure of water drop // Nauka i Zhyzn'. – 2008. – № 9. – P. 84–88 [in Russian].

Стаття надійшла 12.01.2011.
Рекомендована до друку
к.х.н., доц. Козловською Т.Ф.