

**В.В. Никифоров****О ПРИРОДООХРАННЫХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПЕРСПЕКТИВАХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНЕЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**

синезеленые водоросли, биогаз, охрана природы, энергосбережение, днепровские водохранилища

**Введение**

Водорослям отводят важную роль в решении ряда глобальных проблем, волнующих человечество, – энергетической и природоохранной; освоение Космоса, Мирового океана и недр Земли; изыскание новых источников кормового и пищевого белка, промышленного сырья и строительных материалов, биологически активных веществ, фармацевтических препаратов и новых объектов биотехнологии.

Наиболее перспективным практическим применением представляется использование водорослей в качестве продукта питания, источника белкового корма, витаминов и других физиологически активных веществ в рационе сельскохозяйственных животных и рыб, агентов повышения почвенного плодородия, индикаторов состояния наземных и водных экосистем, источника промышленного сырья и энергии, агентов самоочищения природных и очистки сточных вод, а также в геологоразведательной и юридической практике. Вред, наносимый водорослями, определяется коррозией наземных материалов и конструкций, обрастанием судов и гидротехнических сооружений, а также токсичностью воды во время их «цветения» [1, 4, 5, 9, 14, 125].

**Объект и цель исследований**

Объект наших исследований – синезеленые водоросли (*Cyanophyta*) или, точнее, цианобактерии (*Oxyphotobacteriobionta*) – является древнейшей группой автотрофных организмов, остатки которых обнаружены в докембрийских строматолитах возрастом 2,7 – 3,2 млрд. лет [2]. Будучи космополитами, цианобактерии, несмотря на незначительное видовое разнообразие (около 2 тыс. видов), встречаются везде и повсюду, поскольку их адаптационным возможностям (экологической пластичности и резистентности), обусловленным их древностью, почти нет предела [6, 8]. Среди них есть криофилы (обнаружены в антарктических льдах при температуре –83°C) и термофилы (обитают в горячих источниках при температуре +90°C). Причиной такой эврико-толерантности является уникальная политрофность цианобактерий – единственных на планете организмов, способных усваивать четыре газа: углекислый газ для фотосинтеза, кислород для дыхания, сероводород для хемосинтеза и азот для его фиксации, что позволяет одной исходной клетке за вегетационный период (70 дней) произвести  $10^{20}$  дочерних и приводит к их массовому развитию – «цветению» воды [2, 8].

Запредельное «цветение» воды, доминирующими агентами которого в условиях днепровских водохранилищ являются представители родов *Microcystis*, *Phormidium*, *Aphanizomenon*, *Anabeana* и *Oscillatoria*, следует рассматривать как биологический сигнал неблагополучия в гидроекосистемах. Среди многочисленных механических, физико-химических, биологических и экологических методов подавления массового развития цианобактерий наиболее эффективными представляются виды последних двух родов, поскольку они позволяют избавиться от причин, а не от последствий «цветения» воды [6, 13].

Если значительная часть энергетического потенциала наземной биомассы растительного происхождения утилизируется человечеством (на сегодня шестую часть потребляемой энергии получают из сельскохозяйственной и другой фитомассы, что эквивалентно ежедневному использованию более 4 млн. т нефти), то биомасса фитопланктона практически не востребована. Поэтому, целью наших исследований является разработка комплексной технологии, обеспечивающей

рентабельное производство биогаза (клар-газа) из биомассы цианобактерий, собранной в период «цветения» акватории водохранилищ днепровского каскада. Моделирование технологии планируется провести на крупнейшем в Европе водохранилище – Кременчугском. Апробация процесса получения биогаза проведена на базе биоэкологической, в последствии – физической лаборатории Кременчугского государственного университета имени М. Остроградского.

К числу наиболее весомых среди ожидаемых результатов относятся:

- использование бесплатного сырья в качестве ферментируемого субстрата;
- применение экологически безопасных и не требующих особых энергозатрат способов сбора фитопланктона, производства биогаза с последующим сжижением метановой фракции или трансформации его в электроэнергию;
- утилизация отходов производства как минералоорганических удобрений в сельском и лесном хозяйстве;
- улучшение качества природных вод и, как результат, оздоровление окружающей среды и населения;
- использование социального и финансового эффекта для обеспечения устойчивого эколого-экономического развития приднепровских регионов;
- выполнение условий Киотского протокола.

### Результаты исследований и их обсуждение

Растения утилизируют около 0,1% солнечной энергии, достигающей поверхности Земли, что в 10 раз превышает мировое потребление энергии. Поэтому возникла идея использования биогаза – топлива, получаемого из органической массы путем ее биоконверсии. Биометаногенез был открыт в 1776 г. Вольтой, который установил наличие метана в болотном газе. При этом, наиболее перспективными утилизаторами солнечной энергии оказались микроводоросли: максимальное значение КПД фотосинтеза у цианей достигает 20%, что более чем в 200 раз превышает среднее значение КПД фотосинтеза на земном шаре. Энергия, заключенная в 1 м<sup>3</sup> биогаза, эквивалентна энергии 0,6 м<sup>3</sup> природного газа, 0,7 л нефти или 0,6 л дизельного топлива [1, 5, 12, 13].

Классическая технология получения клар-газа из органических отходов агрогенного происхождения основана на симбиотическом взаимодействии трех групп микроорганизмов, на одном из этапов которого происходит процесс биосинтеза метанобактериями смеси газов с преобладанием метана (более половины по объему) и примеси других газов, в присутствии которых метаногены развиваются (Н<sub>2</sub> и СО<sub>2</sub>) или подавляются (О<sub>2</sub>). Доминирующими в процессе метаногенеза являются виды *Methanobacterium formicicum* и *Methanospirillum hungati* [12].

Поэтому, интенсивность биосинтеза метана во многом зависит от концентрации в субстрате кислорода и других ингибиторов этого процесса. Соотношение различных условий протекания метаногенеза (суммарное уравнение реакции  $4 C_6H_5COOH + 18 H_2O \rightarrow 15 CH_4 + 13 CO_2$ ) – рН 6,0 – 8,0, t не менее 30° С, отношение углерода к азоту в субстрате по массе – 30:1 и твердых компонентов к воде – 1:1, – обуславливает его продолжительность (от 8 до 20 суток).

Использование биомассы цианобактерий, собранной во время «цветения» воды на акваториях водохранилищ днепровского каскада, для получения биогаза (применение альтернативных источников энергии) является одним из эффективных способов улучшения экологического состояния р. Днепр и прилегающих территорий, уменьшения затрат на очистку природных вод до ГОСТ «вода питьевая» [3], увеличения продуктивности рыбы, а также утилизации отходов биотехнологического процесса в отраслях сельского и лесного хозяйства.

В основу предлагаемого способа положена разработка метода очистки поверхностных вод от синезеленых водорослей путем сбора и использования их концентрированной биомассы как субстрата для получения клар-газа посредством биотехнологии метанового «брожения» и обеспечения тем самым надлежащего уровня качества воды в каскаде водохранилищ при экономии энергоресурсов. Применение цианобактерий в качестве сырья для производства биогаза является инновационной разработкой, не имеющей мировых аналогов.

Кроме природоохранного и энергосберегающего эффекта данного способа следует также отметить его относительную дешевизну и возможность регулировать размеры капиталовложений на начальных этапах внедрения в зависимости от выбранных масштабов производства. Одним из преимуществ предлагаемой технологии является простота устройства конструкций для сбора водорослей, ферментеров и газосборного оборудования, используемых для получения и накопления биогаза, что даст возможность внедрения этой биотехнологии в небольших частных хозяйствах.

Метановое «брожение» происходит в водонепроницаемых цистернах (дайджестерах) с боковым отверстием для подачи субстрата (концентрированной биомассы цианобактерий). Над ним находится контейнер для сбора биогаза. Нависая над ферментируемой смесью в виде купола, контейнер препятствует проникновению вовнутрь цистерны воздуха, что обеспечивает анаэробность процесса. В газовом куполе находится труба для отведения клар-газа. Дайджестеры изготавливают из кирпича, бетона или стали. Купол для сбора газа может быть изготовлен из нейлона или других газонепроницаемых материалов. Биогаз наполняет мешок, соединенный с компрессором для повышения его давления.

### Выводы

Предлагаемый способ получения биогаза (клар-газа) из синезеленых водорослей (цианобактерий) отличается от аналогов типом используемого субстрата и количественным составом биогаза (повышенное содержание метана за счет уменьшения сероводорода и диоксида углерода). Техническим результатом является получение смеси газов – более 700 мл из 1 дм<sup>3</sup> субстрата на протяжении недели при оптимальной температуре 20 – 30°C – с качественно-количественным составом полученного в камеральных условиях продукта: CH<sub>4</sub> (≈65%), CO<sub>2</sub> (≈30%), H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> (≈по 1%) [7].

Перспективы использования цианобактерий для получения биогаза в условиях Кременчугского водохранилища с площадью водного зеркала 2250 км<sup>2</sup> можно оценить с помощью следующих цифр: при сборе сестона в пятнах «цветения» в количестве до 50 кг/м<sup>3</sup> [11] из объема 828 млн. м<sup>3</sup> воды мелководий (глубина до 2 м; 18,4% площади водоема) его биомасса составит 4,14×10<sup>7</sup> т за вегетационный период. Подвергнув эту биомассу ферментации в процессе метанового «брожения», можно получить до 28,98 млн. м<sup>3</sup> биогаза (≈18,837 млн. м<sup>3</sup> метана), что эквивалентно 20 тыс. т нефти или 17 тыс. т дизельного топлива.

1. *Водоросли*. Справочник / Под ред. С.П. Вассера. – Киев: Наук. думка, 1989. – С. 142 – 166.
2. *Водоросли и лишайники // Жизнь растений / Под ред. А.А. Федорова*. – М.: Просвещение, 1977. – Т. 3. – С. 78 – 93.
3. *ГОСТ 2874-82*. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 7с.
4. *Кирпенко Ю.А.* Природные популяции синезеленых водорослей – продуценты биологически активных веществ / Ю.А. Кирпенко, Н.И. Кирпенко, А.В. Паршиков // *Гидробиол. журн.* – 1999. – Т. 35, №1. – С. 77 – 82.
5. *Кульский Л.А.* Фитопланктон и вода / Л.А. Кульский, Л.А. Сиренко, З.И. Шкавро. – Киев: Наук. думка, 1986. – 134 с.
6. *Никифоров В.В.* О методах подавления массового развития синезеленых водорослей / В.В. Никифоров // *Вісник проблем біології і медицини*. – 2002. – Вип. 4. – С. 27 – 31.
7. *Никифоров В.В.* Отримання біогазу із синьозелених водоростей / В.В. Никифоров // *Матер. другої Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф.*, 27 – 29 березня 2007 року. – К., 2007. – С. 1 – 2.
8. *Никифоров В.В.* Хіміко-токсикологічні проблеми підготовки питної води при дії екстремальних природних чинників / В.В. Никифоров, Т.Ф. Козловська // *Вісник КДПУ*. – 2002. – Вип. 5 (16). – С. 106 – 108.
9. *Никифоров В.В.* Особенности хозяйственного значения синезеленых водорослей в условиях Кременчугского и Днепродзержинского водохранилищ / В.В. Никифоров, Т.Ф. Козловская // *Вісник КДПУ*. – 2002. – Вип. 5 (16). – С. 109 – 108.
10. *Никифоров В.В.* Химико-биологические причины ухудшения качества природной воды / В.В. Никифоров, Т.Ф. Козловская // *Вісник КДПУ*. – 2002. – Вип. 6 (17). – С. 82 – 85.

11. *Приймаченко А.Д.* Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ / А.Д. Приймаченко. – Киев: Наук. думка, 1981. – 278 с.
12. *Сассон А.* Биотехнология: свершения и надежды / А. Сассон; под ред. В.Г. Дебабова. – М.: Мир, 1987. – 411 с.
13. *Сиренко Л.А.* «Цветение» воды и евтрофирование / Л.А. Сиренко, М.Я. Гавриленко. – Киев: Наук. думка, 1978. – 232 с.
14. *Судьїна О.Г.* Біохімічні особливості синьозелених водоростей, що викликають «цвітіння» води / О.Г. Судьїна, Є.І. Шнюкова, Н.В. Костлан та ін. // Укр. ботан. журн. – 1978. – Т. 30, №4. – С. 497 – 505.
15. *Carmichael W.W.* Algal Toxins and Health / W.W. Carmichael // Water Environment. Environmental Sci. Res. – New York: Plenum Press, 1981. – Vol. 20. – P. 1125 – 1138.

Кременчугский государственный университет им. М. Остроградского

Получено 07.09.2010

УДК 574.6:477.63/64

#### О ПРИРОДООХРАННЫХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНЕЗЕЛЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

В.В. Никифоров

Кременчугский государственный университет им. М. Остроградского

Обсуждаются природоохранные и энергосберегающие перспективы использования синезеленых водорослей. Утилизация их фитомассы для получения биогаза приведет к оздоровлению Днепра и его прилегающих территорий и позволит получать до 19 млн. м<sup>3</sup> метана за вегетационный период (70 дней) из акватории лишь Кременчугского водохранилища.

UDC 574.6:477.63/64

#### ON ENVIRONMENT-PROTECTING AND ENERGY-SAVING PROSPECTS OF BLUE-GREEN ALGAE

V.V. Nikiforov

Ostrogradskiy Kremenchug State University

Environment-protecting and energy-saving prospects of blue-green algae have been discussed. Utilization of their phytomass to obtain biogas will lead to the recovery of River Dnepr and its subjacent territories, allowing to get up to 19 mln. м<sup>3</sup> of methane during the vegetation period (70 days) out of Kremenchug reservoir storage water area.