

УДК 504.064.37:502.55.

## О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНЕ-ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ УКРАИНЫ

*Шумаков Ф.Т.*

*Харьковская национальная академия городского хозяйства  
E-mail: shumakov@ksame.kharkov.ua*

Рассматриваются вопросы перспективного использования биомассы сине-зеленых водорослей (цианобактерий) ее переработка в биогаз для производства тепловой и электрической энергии. В основу предлагаемого способа предложен метод очистки поверхностных вод от сине-зеленых водорослей с помощью береговых и плавающих насосных систем. Для определения динамики пространственно-временного распределения пятен «цветения» фитопланктона использовались материалы космических съемок с ИСЗ «Landsat». При получении биогаза предложено использовать биотехнологию метанового «брожения». Метановое брожение происходит в водонепроницаемых цистернах (реакторах) с боковым отверстием для подачи субстрата (концентрированной биомассы цианобактерий). Эта технология улучшает качество воды в водоемах при экономии энергоресурсов.  
**Ключевые слова:** биомасса, сине-зеленые водоросли, цианобактерии, фитопланктон, «цветение воды» евтрофирование, водоем, водохранилище, космическая съемка, изображение, биотехнология, биогаз, метан, тепловая и электрическая энергия, энергосбережение.

В настоящее время во многих странах мира широко исследуются процессы антропогенного евтрофирования озер, водохранилищ и морей. Это нашло отражение в многочисленных работах по этой проблеме [1, 2, 3].

Увеличение продуктивности водоемов при их старении - естественный процесс евтрофирования, обычно длящийся века. Однако в последнее время в некоторых озерах, морях отмечено резкое возрастание скорости этого процесса - евтрофирование осуществляется за десятилетия или даже за меньший период. Повышение содержания биогенных веществ в воде приводит к интенсивному увеличению продуктивности, ухудшению качества воды, ее природных свойств и снижению эстетической ценности этого природного ресурса. Подобный негативный процесс может быть ослаблен, остановлен и даже направлен в обратную сторону с помощью соответствующих методов; в конечном счете, качество воды может быть восстановлено. Это ускоренное, или «антропогенное», евтрофирование вызывается преимущественно увеличением выноса фосфора и азота с суши в водоемы за счет усиления хозяйственной деятельности на водосборах. Интенсификация сельскохозяйственного производства (возрастающее использование фосфорсодержащих удобрений) и процессы урбанизации (особенно в связи со сбросом в озера сточных вод и коммунальные стоки городов) - главные источники поступления, биогенных веществ. Воздействие антропогенного евтрофирования в первую очередь проявляется в озерах и водохранилищах, так как относительная неподвижность среды в них способствует накоплению присутствующих в водной

толще биогенных веществ. Пресноводные озера и водохранилища деградируют и исчезают с все более увеличивающейся скоростью. Деятельность человека и его пассивность - главные причины быстрой деградации водоемов [2].

Процесс антропогенного евтрофирования наиболее ярко проявляется в водохранилищах. Это связано с тем, что эти водные объекты обладают замедленным водным обменом, что способствует накоплению в них различных веществ (биогенные элементы, взвешенные вещества органического и неорганического происхождения и других), которые способствуют повышению первичной продукции. Следствием антропогенного евтрофирования является «цветение» воды в результате массового размножения отдельных видов сине-зеленых водорослей. Обильному «цветению» сине-зеленых водорослей благоприятствует ослабленное течение, высокая прозрачность, большое содержание подвижных форм растворенного органического вещества, усиленное поступление биогенных элементов, а также большая площадь плесов малой глубины. Цианобактерии - 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. 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 гидросистемах. Содержание биомассы сухого вещества в пятнах «цветения» воды достигало в Кременчугском водохранилище  $42 \text{ кг/м}^3$  [1]. Первичная продукция фитопланктона днепровских водохранилищ за июль-сентябрь месяцы по различным оценкам составляет более  $10^8$  тонн сухой биомассы водорослей. При образовании 1 кг сухой биомассы водорослей поглощается около  $1,83 \text{ кг CO}_2$  и столько же выделяется при ее разложении. В результате содержание углекислого газа в атмосфере остается неизменным. В результате фотосинтеза в течение одного года фитопланктон днепропетровских водохранилищ вовлекает в углеродный оборот из атмосферы более  $1,83 \cdot 10^8$  тонн  $\text{CO}_2$ . В основу проекта положен метод очистки поверхностных вод от сине-зеленых водорослей путем сбора и использования их концентрированной биомассы как субстрата для получения биогаза посредством биотехнологии метанового «брожения» и обеспечения тем самым надлежащего уровня качества воды в каскаде водохранилищ при экономии энергоресурсов. Этот проект имеет относительную дешевизну и дает возможность регулировать размеры капиталовложений на начальных этапах внедрения в зависимости от выбранных масштабов производства. Преимуществом предлагаемой технологии является простота устройства конструкций для сбора водорослей, ферментеров и газосборного оборудования, используемых для получения и накопления биогаза, что даст возможность широкого внедрения в энергетике этой биотехнологии.

Опытным полигоном данного проекта был выбран днепровский каскад водохранилищ. На Днестре возведен каскад из шести водохранилищ: Киевского ( $922 \text{ км}^2$ ), Каневского ( $675 \text{ км}^2$ ), Кременчугского ( $2250 \text{ км}^2$ ), Днепродзержинского ( $576 \text{ км}^2$ ), Запорожского ( $410 \text{ км}^2$ ) и Каховского ( $2150 \text{ км}^2$ ).

При трофической классификации и изучении характера «цветения» воды днепровских водохранилищ использовались космические снимки, полученные со спутников Landsat-5 и Landsat-7 сканерами ТМ и ЕТМ+. Для изучения характера «цветения» воды использовались синтезированные космические снимки каналов съемки ТМ3, ТМ2, ТМ1. Ниже приведены синтезированные космические снимки днепровских водохранилищ и Днепробугского лимана с пространственным разрешением 30 м, синтез RGB 3:2:1.

Для выбора мест и технологии сбора биомассы водорослей перспективно использовать материалы космических съемок для изучения пространственно-временной динамики распределения фитопланктона [4, 5, 6, 7, 8].

На рис. 1-7. представлены синтезированные космические изображения сканера ЕТМ+ спутника Landsat-7 днепровских водохранилищ и Днепробугского лимана. Синтез изображений производился с помощью пакета программ ERDAS IMAGINE 9.1. На этих снимках представлена пространственно-временная динамика пятен «цветения» воды в водохранилищах.

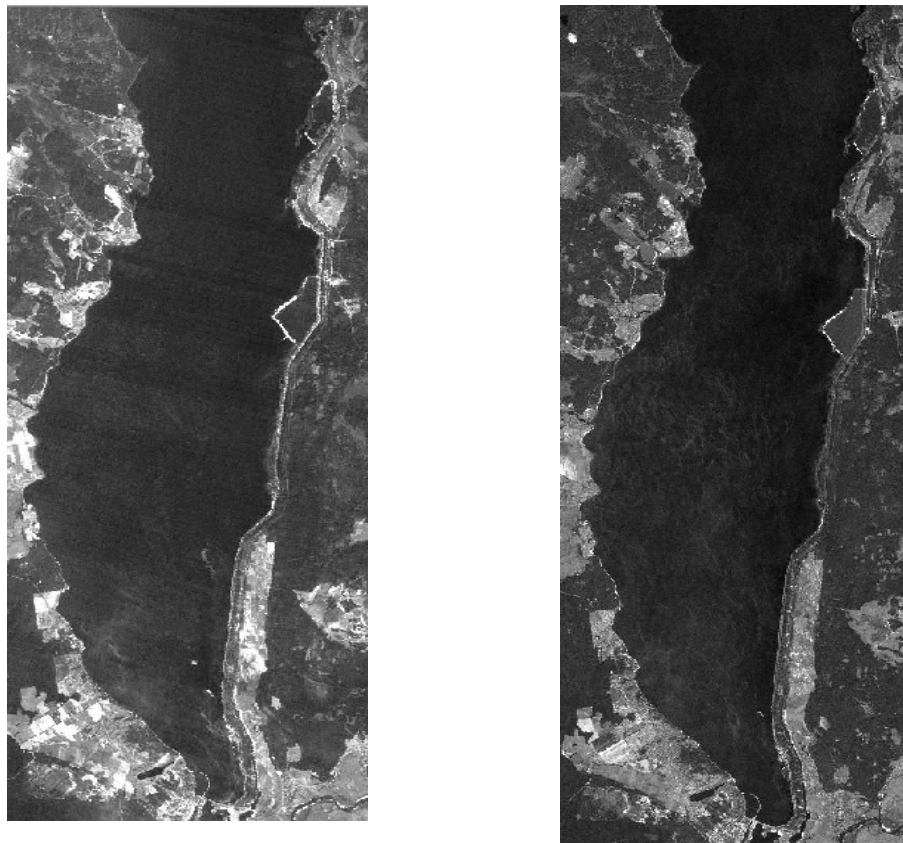


Рис.1. Пространственно-временное распределение водорослей в Киевском водохранилище 21 сентября 1989 г. и 14 сентября 2001 г.



Рис.2. Пространственно-временное распределение водорослей в Каневском водохранилище 21 сентября. 1989 г. И 14 сентября 2001 г.

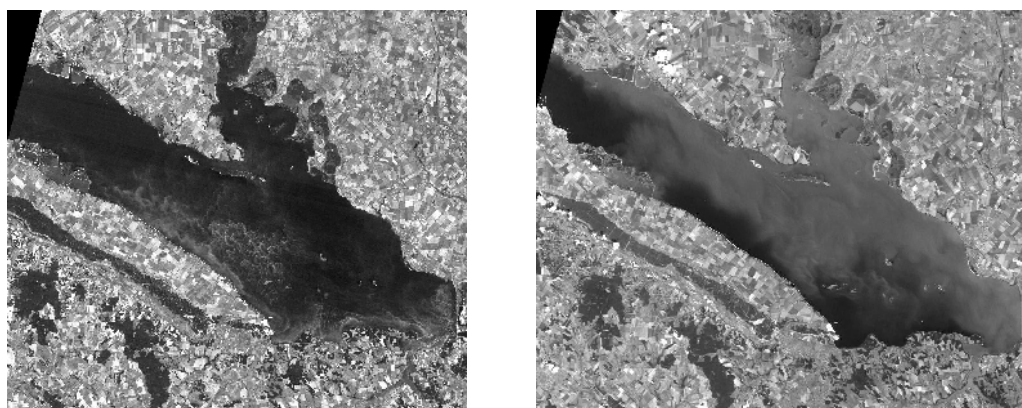


Рис.3. Пространственно-временное распределение водорослей в Кременчугском водохранилище 17.августа 1993 г. и 14.июля 2001 г.

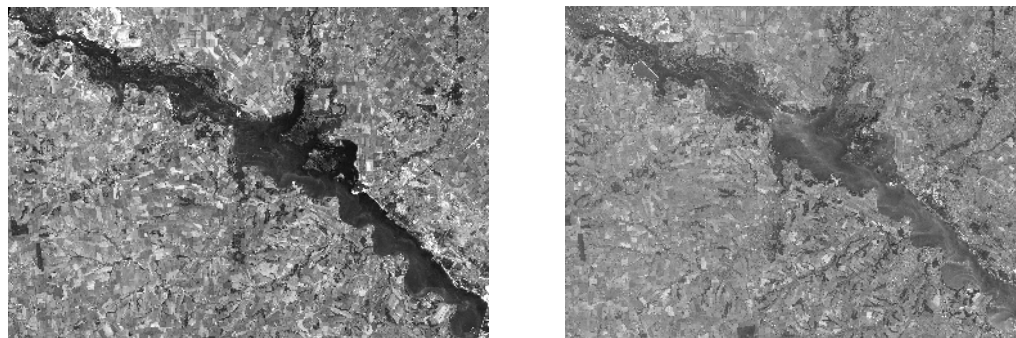


Рис.4. Пространственно-временное распределение водорослей в ДнепроДзержинском водохранилище 07 августа 1986 г. и 21 августа 2000 г.



Рис.5. Пространственно-временное распределение водорослей в Запорожском водохранилище 07.августа 1986 и 21 августа 2000 г.

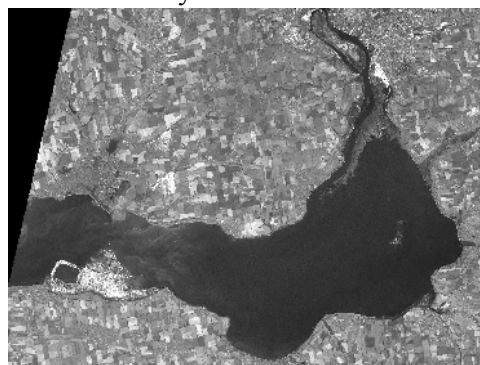
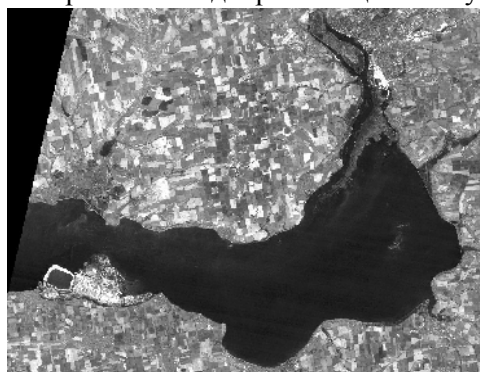


Рис. 6. Пространственно-временное распределение водорослей в Каховском водохранилище 16 августа. 1992 г. и 16 июля 2001 г.



Рис. 7. Пространственно-временное распределение водорослей в Днепробугском лимане 18 мая 1989 г. и 14 мая 2002 г.

Использование гидромеханического удаления биомассы водорослей из мест их скоплений, в период интенсивного «цветения» воды с помощью береговых или плавучих насосных установок. Метановое брожение происходит в водонепроницаемых цистернах (реакторах) с боковым отверстием для подачи субстрата (концентрированной биомассы цианобактерий). Над ними находятся контейнеры 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 биогаза. Реакторы изготавливают из кирпича, бетона или стали. Купол для сбора газа может быть изготовлен из нейлона или других газонепроницаемых материалов. Биогаз наполняет емкость, соединенную с компрессором для повышения его давления. Результатом технологии метанового брожения является получение смеси газов – более  $0,8-1,0 \text{ м}^3$  из 1 кг сухой биомассы водорослей на протяжении недели при оптимальной температуре  $32^\circ\text{C}$  - с составом полученного в камеральных условиях биогаза:  $\text{CH}_4$  (65%),  $\text{CO}_2$  (30%),  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2$  (по 1%). Подвергнув  $10^6$  тонн сухой биомассы ферментации в процессе метанового «брожения», можно получить до  $10^9 \text{ м}^3$  биогаза ( $0,65 \cdot 10^9 \text{ м}^3$  метана). Метан будет использоваться для производства электрической и тепловой энергии.

Водоросли утилизируют коротковолновую радиацию в качестве энергетического источника для извлечения углерода из атмосферного и растворенного в водной среде  $\text{CO}_2$  и синтеза глюкозы. Первичная продукция водорослей при сборе биомассы и превращенная в биогаз может использоваться при сокращении вредного воздействия от выбросов при производстве электроэнергии и тепловой энергии. Реализация проекта приведет к сокращению потребления электроэнергии и тепловой энергии, получаемых из ископаемых видов топлива (природный газ, нефть, уголь). Согласно данным, указанных в методике подготовки проектов совместного осуществления, в 2007 году в Украине при производстве и транспортировке электроэнергии выбрасывается в атмосферу 856 кг углекислого газа на каждый 1 МВт/ч. Котельные, работающие на природном газе, выбрасывают около 224 кг  $\text{CO}_2$  на каждый 1 МВт/ч тепловой энергии. Украина очень зависима от импорта первичных энергоносителей – природного газа, нефти, мазута. Между тем, огромное количество сбросного потенциала выбрасывается и загрязняет атмосферу. Это и шахтный газ ( $2,2 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$  или 3% от импортируемого Украиной газа), и метан, выделяющийся с мусорных свалок ( $0,4 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$  или 0,7%). Биомасса фитопланктона, продуцируемая в водоемах Украины, практически не востребована. Из сухой биомассы сине-зеленых водорослей  $10^7$  тонн можно получить  $6,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3$  метана или 8,86 % импортируемого природного газа в Украину.

Для Украины возможно использование двух механизмов Киотского протокола: международной торговли выбросами и механизма совместного осуществления. Учитывая, что в Украине нет системы распределения квот на выбросы парниковых газов, международная торговля выбросами может осуществляться только

государством. При этом средства от такой торговли будут поступать в госбюджет. В проектах совместного осуществления могут участвовать отдельные предприятия различной формы собственности при условии прохождения проектом независимой международной экспертизы и получения одобрения государства. В этом случае средства от продажи единиц выбросов будут поступать непосредственно на счет предприятия. Внедрение и эксплуатация электростанций на биогазе приводит к сокращению выбросов парниковых газов, поэтому такие проекты могут стать проектами совместного осуществления. Украина принимает участие в международном сотрудничестве в сфере производства и потребления энергии, произведенной из альтернативных источников, согласно законодательству Украины и международных договоров Украины.

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 и трансформации его в электроэнергию;

- утилизация отходов производства как минеральных и органических удобрений в сельском 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.

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 реки Днепр и прилегающих территорий. Проект уменьшает затрат на очистку природных вод питьевого назначения, увеличения продуктивности рыбы, а также утилизации отходов биотехнологического процесса в отраслях сельского хозяйства.

Экологический результат инвестиций:

- сокращение потребления электрической и тепловой энергии;

- снижение выбросов парниковых газов;

- утилизация биомассы водорослей;

- замена угля и мазута на биогаз.

- снижение загрязнения и антропогенного евтрофирования бассейна реки Днепр;

- большой вклад в систему устойчивого развития водопользования.

Повышение доли возобновляемых источников энергии в общем производстве первичных энергоресурсов. Сокращение объемов потребления топлива на электростанциях ЕЭС Украины. Увеличение количества модернизированных электрических сетей и систем муниципального теплоснабжения. Повышение

привлекательности инвестиций в муниципальный сектор. Содействие естественному восстановлению экологического состояния днепровских водохранилищ.

Постепенное повышение цен на газ и электроэнергию до уровня мировых цен. Проект приведет к снижению объемов выбросов парниковых газов. К тому же, он создаст новые рабочие места для целого ряда профессий и местных предприятий. Проект продемонстрирует преимущества нового типа финансирования и реализации, включая привлечение частного капитала и использование механизма проектов совместного осуществления (ПСО).

Проект базируется на ряде современных технологий и подходов, которые будут переняты украинскими предприятиями в процессе разработки и реализации проекта. Ожидается, что объем местных инвестиций в проект составит примерно 12,8 миллионов долларов США в год. При коэффициенте трудоемкости в 200 рабочих мест на миллион долларов США, уровень трудовой занятости во время реализации проекта составит примерно 2560 рабочих мест в год. Предположив, что 70% трудовых ресурсов будут представлены местной рабочей силой, прирост занятости для Украины составит 1792 рабочих мест в год. К тому же, ожидается, что напрямую или косвенно для эксплуатации и обслуживания объекта понадобится 300 постоянно задействованных местных сотрудников в течение всего пятидесяти лет срока реализации проекта. Создание дополнительных рабочих мест при поставке строительных материалов и технологического оборудования: суда, насосы, компрессоры, трубы и трубная арматура, когенерационные установки GE Jenbacher получения электрической и тепловой энергии. На данный момент большая часть газопоршневых двигателей работает на природном газе, однако с каждым годом все больше двигателей продается для работы на возобновляемых топливах, таких как пиролизный газ, биогазы и пр. Доля таких двигателей в объеме продаж GE Jenbacher превышает 35%.

Следует отметить, что украинская законодательная база создает все условия для развития технологий по использованию этого потенциала. В первую очередь, это ратификация киотского протокола и создание механизма продажи сокращений выбросов парниковых газов, которых добился владелец проекта. А также целый ряд других законов и нормативных актов, в частности Закон «О комбинированном производстве тепловой и электрической энергии (когенерации) и использовании сбросного энергopotенциала», дающий определенные преференции таким технологиям. Основным эффектом проекта является поставка потребителю дополнительного объема биогаза, т. е. более полное удовлетворение спроса потребителей углеводородного сырья из возобновляемых источников биомассы. Проект станет примером того, как использование биомассы фитопланктона днепровских водохранилищ и полученного биогаза может улучшить местную и глобальную окружающую среду. Внедрение новых технологий и возможность собственных технологических разработок с применением украинского научного и

инженерного потенциала также станет реальностью при успешной реализации проекта.

Проект полностью согласуется с природоохранной стратегией и приоритетами Украины. Снижение зависимости от импортируемых энергоносителей является основным приоритетом национальной энергетической политики. Одним из ключевых направлений данной политики является стимулирование использования местных видов топлива и, что более важно, возобновляемой энергии, чему и способствует данный проект. Организуя международное сотрудничество в области охраны окружающей среды, Украина подписала ряд международных Конвенций, таких как: Конвенция по сохранению биоразнообразия (1995 г.), Венская Конвенция об охране озонового слоя (1993 г.), Рамочной Конвенции ООН об изменении климата, Киотский протокол (1999 г.). В Украине принято более 45 Законов, прямо или косвенно связанных с вопросами охраны окружающей среды и 70 подзаконных нормативных актов. Принятые законы и нормативные документы направлены на повышение эффективности использования энергетических ресурсов и улучшения состояния окружающей среды. Украина заинтересована в осуществлении и намерена реализовать экономически выгодные проекты по снижению парникового эффекта.

#### Список использованной литературы.

1. Сиренко Л.А. «Цветение» воды и евтрофирование / Л.А. Сиренко, М.Я. Гавриленко – Киев: Наукова думка, 1978. - 232 с.
2. Хендерсон-Селерс Б. Инженерная лимнология / Б. Хендерсон-Селерс [Пер. с англ. под ред. К.Я. Кондратьева].- Л. Гидрометеиздат, 1987. – 336 с.
3. Хендерсон-Селерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хендерсон-Селерс, Х.Р. Маркленд [Пер. с англ. Под ред. К.Я. Кондратьева и Н.Н. Филатова].- Л., Гидрометеиздат, 1990. – 290 с.
4. Кондратьев К.Я. Дистанционный мониторинг эвтрофирования водоемов / К.Я. Кондратьев, Ф.Т. Шумаков // Водные ресурсы. - 1990. - N 5.- С. 152-160.
5. Кондратьев К.Я. Возможности использования космической информации для изучения процессов загрязнения и эвтрофирования озерных систем / К.Я. Кондратьев, В.В. Брук, Г.В. Дружинин, Л.К. Егоров, И.И. Малыгина, Ф.Т. Шумаков // Исследование Земли из космоса. - 1988. - N 4. - С. 49-57.
6. Кондратьев К.Я. Особенности методики использования многозональной космической информации для оценки трофического состояния озерных систем / К.Я. Кондратьев, В.А. Львов, Ф.Т. Шумаков // ДАН СССР - 1990. - т.1. N 3. - С. 571-574.
7. Шутенко Л.Н. Экономические особенности дистанционного мониторинга экологического состояния бассейна р. Северский Донец / Л.Н. Шутенко, В.И. Торкатюк., Ф.Т. Шумаков // Коммунальное хозяйство городов. Киев, «Техника». Вып. 62. 2005. – С.145-151.
8. Шумаков Ф.Т. Комический мониторинг эвтрофирования водных ресурсов Украины / Ф.Т. Шумаков // Коммунальное хозяйство городов. Киев, «Техника». Вып. 79. 2007. – С. 217-231.

**Шумаков Ф.Т. Про перспективи використання синьо-зелені водорості в системі енергозбереження України / Ф.Т.Шумаков // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Географія. – 2010. – Т.23 (62). – № 2 – С. 286-295.**

Розглядаються питання перспективного використання біомаси синьо-зелених водоростей (ціанобактерій) її переробка на біогаз для виробництва теплової та електричної енергії. В основу пропонованого способу запропонований метод очищення поверхневих вод від синьо-зелених водоростей з допомогу берегових і плаваючих насосних систем. Для визначення динаміки просторово-часового розподілу плям «цвітіння» фітопланктону використовувалися матеріали космічних зйомок з ШСЗ «Landsat». При одержанні біогазу запропоновано використовувати біотехнологію метанового «бродіння». Метанове бродіння відбувається в водонепроникних цистернах (реакторах) з боковим отвором для подачі субстрату (концентрованої біомаси ціанобактерій). Ця технологія покращує якість води у водоймах при економії енергоресурсів.

**Ключові слова:** біомаса, синьо-зелені водорості, ціанобактерії, фітопланктон, «цвітіння води» евтрофікування, водойма, водосховище, космічна зйомка, зображення, біотехнологія, біогаз, метан, тепла та електрична енергія, енергозбереження.

**Shumakov F.T. On the prospects of using blue-green algae in energy systems of Ukraine / F.T.Shumakov // Scientific Notes of Taurida National V. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2010. – Vol. 23 (62). – № 2 – P. 286-295.**

The issues of long-term use of biomass of blue-green algae (cyanobacteria), its conversion into biogas for heat and electricity. The basis of the proposed method proposed method of cleaning the surface waters of the blue-green algae to help shore and floating pump systems. To determine the dynamics of spatial-temporal distribution of spots "bloom" of phytoplankton used materials space shooting from satellites «Landsat». If you are invited to use biogas, bio methane "ferment". Methane fermentation takes place in watertight tanks (reactors) with a lateral hole for the filing of the substrate (a concentrated biomass of cyanobacteria). This technology improves the quality of water in reservoirs for energy savings.

**Key words:** biomass, blue-green algae, cyanobacteria, phytoplankton "blooms" eutrofication, pond, reservoir, satellite imagery, image, biotechnology, bio-gas, methane, heat and electric energy, energy efficiency.

*Поступила в редакцию 26.04.2010 г.*