

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ГРУПП
МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ
И ИНДИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ВОДОЕМАХ****А.С. Гулин¹, Р.П. Тренкеншу¹, А.О. Дыкман²**¹ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»

РФ, г. Севастополь, ул. Нахимова, 2

*E-mail: gulins_gent@mail.ru*²Севастопольский государственный университет,

РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Рассмотрены различные системы для культивирования, обоснована перспективность систем на основе плавающих культиваторов. Разработана гибридная конструкция открытого пруда и закрытого фотобиореактора, эффективная и простая в эксплуатации и рассматриваемая в качестве индикаторной для экологического мониторинга водоемов и как эффективный накопитель биомассы. Устройство относится к оборудованию для культивирования микроводорослей и может быть использовано в биотехнологии и в исследовательской практике для изучения новых перспективных видов микроводорослей, а также как средство для изучения фаготрофии.

Ключевые слова: культиватор, фотобиореактор, плавающий культиватор, микроводоросли.

Поступила в редакцию: 19.09.2022. После доработки: 26.09.2022

Введение. Микроводоросли обладают большим потенциалом для эффективного производства больших объемов биомассы, используемых как в фармакологии, так и для изготовления качественных продуктов питания, кормов, топлива и химикатов, а также для очистки сточных вод [1, 2]. Однако широкое применение технологий для массовых товаров требует значительных затрат на производство биомассы микроводорослей, что может быть сдерживающим фактором в развитии данного научно-практического направления.

Производство биомассы микроводорослей заключается в синтезе их клетками белков, углеводов, липидов, витаминов и других биологически ценных соединений из углекислого газа, соды, воды и минеральных солей, находящихся в питательной среде, с помощью энергии света [3].

Обычно производство биомассы микроводорослей проходит в режиме фототрофного культивирования с использованием света в качестве источника энергии и неорганического углерода в качестве источника углерода. Проблемы фототрофного культивирования полно-

стью отличаются от проблем гетеротрофных процессов, потому что эффективность фототрофного культивирования ограничена плотностью энергии поступающего солнечного света и поступлением неорганического углерода.

Одной из широко распространенных технологий культивирования биомассы водорослей являются фотобиореакторы.

При производстве биомассы микроводорослей процесс культивирования составляет наиболее значительную часть производственных затрат [4]. Другие производственные затраты связаны со сбором биомассы, ее обезвоживанием, сушкой и последующей переработкой.

Таким образом, разработка технологий культивирования микроводорослей с низкими производственными и эксплуатационными затратами является ключом к решению проблемы широкого производства биомассы микроводорослей.

В процессе культивирования микроводорослей обычно используют две системы: открытые пруды и закрытые фотобиореакторы.

В настоящее время открытые пруды широко используются для производства биомассы микроводорослей из-за низких

производственных и эксплуатационных затрат. Однако эта система имеет недостатки, связанные с большими объемами используемой воды и площади земли, а также низкой плотностью клеток микроводорослей [5].

Основным недостатком является низкая продуктивность ($<10,0 \text{ г/м}^2$ в день). Например, *Spirulina* имеет самый большой объем производства среди коммерческих видов микроводорослей, но ее продуктивность в открытых водоемах колеблется от 8,73 до 14,2 т/га год. Таким образом, открытые пруды не позволяют реализовать преимущества высокой продуктивности микроводорослей.

Закрытые биореакторы обычно имеют гораздо более высокую производительность ($>20,0 \text{ г/м}^2$ день) и плотность клеток ($>2 \text{ г/л}$), чем открытые пруды.

В таких системах существует возможность достижения высокой производительности по биомассе, а также создания стерильных условий для выращивания монокультуры водорослей, однако затраты на изготовление, эксплуатацию и техническое обслуживание слишком высоки [6].

На современном этапе наиболее перспективной системой являются плавающие фотобиореакторы, т.к. обладают большим потенциалом при производстве биомассы микроводорослей при гораздо меньших затратах, чем традиционные системы культивирования, поскольку имеют низкие затраты на изготовление, эксплуатацию и техническое обслуживание [7].

Плавающие фотобиореакторы размещаются непосредственно на поверхности воды, им не требуется почва, а энергия волн обеспечивает бесплатную энергию перемешивания. Кроме того, окружающая вода может использоваться для контроля температуры культуры и снабжения питательными веществами для роста микроводорослей.

В данной работе предлагается конструкция устройства для культивирования микроводорослей в естественных условиях, что позволяет обеспечить выращивание в открытом водоеме микроводорослей в естественных условиях, с

возможностью выделения новых перспективных видов, обладающих высокой скоростью роста при минимальных затратах. В перспективе устройство может быть использовано в иных научно-практических исследованиях, в т.ч. и в экомониторинге.

Описание установки. Устройство для культивирования микроводорослей в естественных условиях, представляет собой гибридную конструкцию открытого пруда и закрытого фотобиореактора, что позволяет совмещать преимущества этих указанных систем.

В основе конструкции – контейнер, выполненный из дерева и имеющий форму параллелепипеда,

В нижней части устройства установлена сетка из мельничного газа с ячейками, имеющими размер 0,02–0,2 мм, который выбирают в зависимости от вида культивируемых водорослей. Сетка обеспечивает беспрепятственное попадание воды из водоема внутрь культиватора. А благодаря тому, что размер ее ячейки меньше размеров клетки микроводорослей, она удерживает микроводоросли внутри устройства.

Возможность выбора размеров ячейки позволяет удерживать в культиваторе более крупные клетки, которые могут питаться более мелкими клетками, поступающими из окружающей водной среды. Это, в свою очередь, в перспективе позволит изучать процессы фаготрофии.

Для защиты технологического объема контейнера от попадания брызг и мусора с водной поверхности, по периметру устройства закреплен каркас с защитным тентом. В качестве тента используется прозрачный полиэтилен, характеризующийся высокой светопропускающей способностью.

Использование дерева в конструкции позволяет обеспечить поддержание ее положительной плавучести, без применения дополнительной поплавковой системы, что существенно снижает производственные затраты.

Конструкция поясняется чертежами, представленными на рис. 1, где схематично изображено устройство.

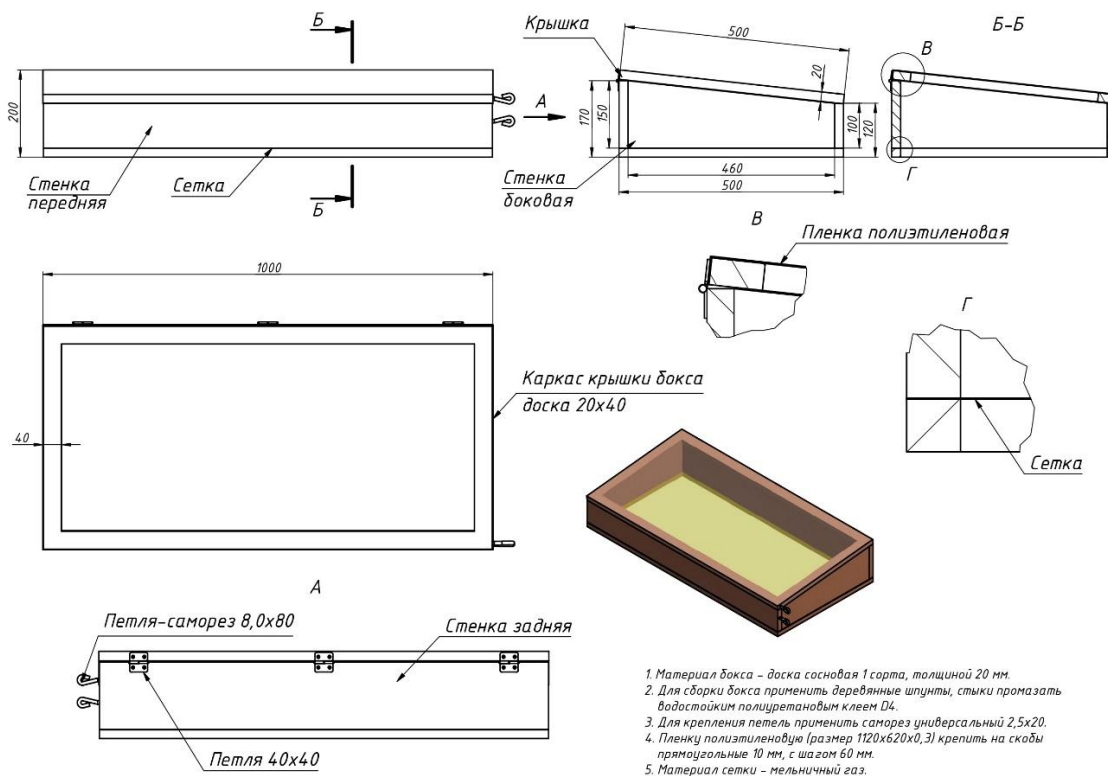


Рис. 1. Общий вид устройства для культивирования микроводорослей в естественных условиях
Fig. 1. General view of a device for cultivating microalgae in natural conditions

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на рост микроводорослей, является перемешивание жидкости в технологическом объеме [8]. Данный процесс выполняет следующие очень важные функции в культивировании микроводорослей:

- равномерное распределение клеток микроводорослей в культиваторе;
- усиление газообмена;
- постоянное поступление питательных веществ из воды водоема;
- охлаждение и поддержание постоянного температурного режима в культиваторе;
- быстрое перемещение клеток водорослей между темными и светлыми зонами на пути света, что может значительно увеличить продуктивность биомассы.

Таким образом, продуктивность роста микроводорослей можно повысить за счет увеличения интенсивности переме-

шивания, если этот процесс не будет вызывать повреждения клеток водорослей.

В предлагаемой конструкции для снижения стоимости изготовления и эксплуатации, а также в целях отказа от использования электрического оборудования в процессе культивирования в качестве системы перемешивания используется энергия волн.

Для работы устройства его устанавливают на поверхность водоема в прибрежной зоне морской акватории.

В контейнер помещают культуру выращиваемых микроводорослей. Крышка защитного тента закрывается и фиксируется посредством пластиковых стяжек. Под действием силы тяжести устройство погружается в воду до рабочего уровня, после чего глубина слоя жидкости над дном достигает 80–90 мм.

По завершению цикла выращивания микроводорослей, устройство транспортируется на берег для последующей разгрузки. При извлечении устройства из

воды, жидкая среда выливается через сетку, а биомасса водорослей остается в контейнере культиватора. После открытия крышки с защитным тентом, биомасса извлекается и отправляется на дальнейшую переработку.

Перед повторным использованием производится очистка и дефектовка (проверка состояния) устройства.

По итогам разработки устройства, был проведен практический эксперимент (апробация). Культиватор эффективной площадью 0,5 м², с размером ячейки сетки 0,26 мм, был установлен на поверхность акватории в прибрежной зоне Черного моря. После заполнения морской водой, в культиватор была помещена смесь культур диатомовых микроводорослей. Так для проведения эксперимента использовались культуры *Striatella unipunctata*, *Licmophora abbreviata*, *Cylindrotheca closterium*.

Цикл выращивания культур микроводорослей продолжался 30 суток в осенний период. В процессе эксперимента проводили ежедневный контроль температуры морской воды и измерение уровня освещенности.

После завершения цикла выращивания и извлечения устройства из воды, было получено 510 г сырой биомассы диатомовых микроводорослей. После высушивания, было получено 42 г сухой биомассы.

Перспективы использования предлагаемого устройства. Предлагаемое устройство позволяет получать некоторые экологические характеристики (индикаторы), а также несет потенциальные возможности, которые могут быть использованы в биотехнологии и в исследовательской практике для изучения новых перспективных видов микроводорослей, обладающих высокой скоростью роста, для получения биологически ценных веществ, а также как средство для изучения фаготрофии.

Поскольку оценка полученной в ходе культивирования биомассы отражает экологическую ситуацию в водоеме, т.е. наличие питательных веществ и отсутствие токсического воздействия возможных загрязнителей антропогенного происхождения, то устройство может быть предложено в качестве индикаторной

системы при проведении комплексного экомониторинга.

Заключение. Разработанное устройство для культивирования микроводорослей в естественных условиях, имеет большие преимущества по сравнению с закрытыми фотобиореакторами и открытыми прудами, включая низкие производственные затраты и эксплуатационные расходы, а также отсутствие необходимости и требований к наличию земли.

Применение в устройстве не герметичного дна из мельничного газа позволяет эксплуатировать фотобиореактор без дополнительных систем аэрации или перемешивания, а использование для этих целей энергии волн, значительно снижает эксплуатационные расходы, в т.ч. и на техническое обслуживание.

Описанное устройство предположительно может быть использовано и в качестве индикаторной системы в ходе экологического мониторинга (по оценке нарастания биологической массы культивируемой индикаторной микроводоросли, особенно требовательной к условиям среды), так и в целом для оценки первичной продукции водоема.

Выращивание микроводорослей в акватории моря – многообещающее решение для простого (использование доступного в создании и эксплуатации устройства), экономного и эффективного производства биомассы, которая используется во многих отраслях, в т.ч. в медицине, фармакологии, ветеринарии и пищевой промышленности.

Работа выполнена на базе ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ, в рамках темы госзадания № 121030300149-0 «Исследование механизмов управления производственными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курс низших растений. М.: Высшая школа, 1981. 520 с.

2. Минюк Г.С., Дробецкая И.В., Чубчикова И.Н., Терентьева Н.В. Одноклеточные водоросли как возобновляемый биологический ресурс: обзор // МЭЖ. 2008. № 2. С. 5–23.

3. *Водоросли*. Справочник. Киев, 1989. С. 608.

4. Kim J. Methods of downstream processing for the production of biodiesel from microalgae // *Biotechnology Advances*. 2013. Vol. 31. P. 862–876.

5. Kumar K., Mishra S.K., Shrivastav A., Park M.S., Yang J-W. Recent trends in the mass cultivation of algae in raceway ponds // *Renewable Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 51. P. 875–885.

6. Acien F.G., Fernandez J.M., Magan J.J., Molina E. Production cost of a real microalgae production plant and strategies to reduce it // *Biotechnology Advances*. 2012. Vol. 30. P. 1344–1353.

7. Dogaris I., Welch M, Meiser A, Walmsley L, Philippidis G. A novel horizontal photobioreactor for high-density cultivation of microalgae // *Bioresource Technology*. 2015. 198:316–324.

8. Лелеков А.С., Тренкеншу Р.П. Простейшие модели роста микроводорослей. 4. Экспоненциальная и линейная фазы роста // *Экология моря*. 2007. № 74. С. 47–49.

SETUP FOR CULTIVATING MICROALGAE OF DIFFERENT SIZE GROUPS IN NATURAL CONDITIONS AND ESTIMATING THE ENVIRONMENTAL SITUATION IN WATER BODIES

A.S. Gulin¹, R.P. Trenkenshu¹, A.O. Dykman²

¹The A.O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas of RAS, RF, Sevastopol, Nachimov Av., 2

²Sevastopol State University, RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

Various systems for cultivation are considered, the prospects of systems based on floating cultivators are substantiated. A hybrid design of an open pond and a closed photobioreactor is developed, which is efficient and easy to operate and can be used both for ecological monitoring of water bodies and as an effective biomass accumulator. The setup belongs to the equipment for cultivating microalgae and can be used in biotechnology and research practice to study new promising species of microalgae, as well as a tool for studying phagotrophy.

Keywords: cultivator, photobioreactor, floating cultivator, microalgae.

REFERENCE

1. *Kurs nizshikh rasteniy* Course of lower plants. Moscow: Vysshaya shkola, 1981. 520 p.
2. Minyuk G.S., Drobetskaya I.V., Chubchikova I.N., and Terent'yeva N.V. Odnokletochnyye vodo roslki kak vozobnovlyayemyy biologicheskiy resurs: obzor (Unicellular algae as a renewable biological resource: a review). *MEZH*, 2008. No. 2, pp. 5–23.
3. *Vodorosli*. (Seaweed). *Spravochnik*. Kyiv, 1989, 608 p.
4. Kim J. Methods of downstream processing for the production of biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 2013, Vol. 31, pp. 862–876.
5. Kumar K., Mishra S.K., Shrivastav A., Park M.S., and Yang J-W. Recent trends in the mass cultivation of algae in raceway ponds. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 2015, Vol. 51, pp. 875–885.
6. Acien F.G., Fernandez J.M., Magan J.J., and Molina E. Production cost of a real microalgae production plant and strategies to reduce it. *Biotechnology Advances*, 2012, Vol. 30, pp. 1344–1353.
7. Dogaris I., Welch M, Meiser A, Walmsley L, and Philippidis G. A novel horizontal photobioreactor for high-density cultivation of microalgae. *Bioresource Technology*, 2015, 198:316–324.
8. Lelekov A.S. and Trenkenshu R.P. Prosteyshie modeli rosta mikrovdoroslej. 4. Eksponencial'naya i linejnaya fazy rosta (The simplest models of microalgae growth. 4. Exponential and linear growth phases). *Ecology of the sea*, 2007, No. 74, pp. 47–49.