

**НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ГРУПП МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ИНДИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ВОДОЕМАХ****А.С. Гулин, Р.П. Тренкеншу, Е.Л. Неврова, И.А. Харчук, А.А. Чекушкин**

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»

РФ, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2

E-mail: gulins\_gent@mail.ru

Представлены результаты апробации в морской акватории гибридной конструкции открытого пруда и закрытого фотобиореактора, эффективной и простой в эксплуатации и рассматриваемой для экологического мониторинга водоемов. Эксперимент, проведенный в течение 40 суток, показал высокий потенциал культивирования диатомовых водорослей в фотобиореакторе. Привнесения иных альгологических таксонов в культиватор выявлено не было. Подтверждена возможность использования плавающего фотобиореактора для выращивания различных видов микроводорослей с перспективой использования в научно-практических целях, в т.ч. для экологического мониторинга и оценки качества водной среды.

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

Поступила в редакцию: 28.04.2023. После доработки: 04.05.2023.

**Введение.** Диатомовые водоросли — эукариотические одноклеточные микроорганизмы с наружным кремнеземным панцирем, живущие одиночно или соединенные в колонии. Средние размеры их колеблются от 20 до 100 микрон (гиганты достигают 2000 мкм, а самые малые — около 1 мкм). Основная масса видов — фотосинтетики. Клетки имеют коричневатую-желтую окраску, поскольку в хлоропластах, кроме хлорофилла *a* и *c*, содержится много каротиноидов и пигментов (фукоксантин, неофукоксантин, диадиноксантин, диатоксантин), а также запасные вещества (масла, волютин, хризоламинарин), которые составляют до 20% сухого веса. Отличительная особенность Bacillariophyta — кремнеземный панцирь (гидрат окиси кремния  $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ), состоящий из двух створок (эпитеки и гипотеки) и пояски между ними. Диатомовые водоросли играют огромную роль в водных экосистемах, составляя основную часть фитопланктона и микрофитобентоса и создавая 20–25% глобальной первичной продукции океана [1].

Диатомовые обладают значительно более высокими темпами роста, по сравнению с иными группами микроводо-

рослей. Большинство штаммов могут удвоить свою клеточную массу в культурах в течение 24 часов, причем для этого требуется небольшое количество простых питательных веществ. Темпы роста, а также поглощения  $\text{CO}_2$  у диатомовых самые высокие среди всех групп фотосинтезирующих организмов, их продуктивность по биомассе значительно выше, чем у наземных культур [2], а производство липидов достигает до 30–70% от сухой массы у отдельных видов. Указанные особенности Bacillariophyta представляют интерес для их использования в биотехнологической, медицинской, пищевой и сельскохозяйственной промышленности, а также для очистки сточных вод [3].

Другие преимущества микроводорослей включают возможность выращивания их в засушливых условиях и местностях с низким качеством грунта, а также способность многих видов произрастать в соленой или солоноватой воде [4]. Выращивание микроводорослей возможно в широком диапазоне условий, в которых неосуществимо возделывание сельскохозяйственных культур. Но, несмотря на огромный потенциал культивирования микроводорослей, в настоя-

щее время существуют ограничения для коммерциализации производства. Связано это в первую очередь с высокой стоимостью их производства.

В настоящее время существуют две распространенные системы для выращивания микроводорослей: открытые пруды и закрытые фотобиореакторы [5]. Открытые пруды широко используются для большинства коммерческих производств микроводорослей из-за низких капитальных вложений, невысоких энергозатрат и возможности масштабирования. Однако выявлены следующие недостатки: низкая плотность культур клеток, большая скорость испарения, трудности в контроле условий выращивания, высокие риски биологических загрязнений [6]. Следствием является нестабильность производства, низкая продуктивность биомассы, невысокое качество продукции на основе микроводорослей.

По сравнению с открытыми прудами, закрытые системы могут обеспечивать гораздо более высокую плотность культур клеток и продуктивность биомассы, а также возможность контроля условий выращивания.

Однако, закрытые фотобиореакторы требуют дорогостоящего технического обслуживания, дополнительных энергозатрат. Отмечены трудности реализации масштабирования, что затрудняет их использование для производства в промышленных объемах [5]. Таким образом, повышение эффективности производства в дорогостоящих закрытых фотобиореакторах не обеспечивает экономической целесообразности производства биотоплива из микроводорослей.

В связи с вышеизложенными проблемами, разработка экономически выгодной системы культивирования микроводорослей, которая должна системно снизить эксплуатационные расходы на производство и свести к минимуму использование рабочей силы, является актуальной и представляет научный интерес. Наиболее перспективным является

использование акваторий морей и океанов в качестве пространства для выращивания микроводорослей. Океан, занимающий 72% земной поверхности, является естественной средой обитания многих микроводорослей. Океаническая водная масса обладает более высокой удельной теплоемкостью, чем атмосфера, что позволяет обеспечить поддержание постоянной температуры и исключить дополнительные энергозатраты. В качестве питательной среды для вегетирования микроводорослей может успешно служить морская вода с естественным составом минеральных и органических соединений [7]. Кроме того, энергия волн служит для перемешивания среды в культуре микроводорослей. Использование перечисленных свойств океанических вод может способствовать снижению себестоимости производства биомассы микроводорослей. К сожалению, в настоящий момент большинство систем, используемых для выращивания микроводорослей в промышленных масштабах, реализованы в виде открытых прудов.

Ранее нами был спроектирован и создан простой плавающий фотобиореактор для выращивания микроводорослей в морской акватории, состоящий из деревянного корпуса в форме параллелепипеда с фильтрующей сеткой внутри, и съемной крышки из полиэтилена [8]. Как указывалось, устройство в перспективе может быть использовано в иных научно-практических исследованиях, в т.ч. и в экомониторинге.

Цель работы: апробация созданного устройства для культивирования в естественных условиях различных размерных групп морских микроводорослей.

**Материалы и методы.** Апробация устройства, подробно описанного нами ранее в [8], проводилась в период с 08.10.2021 по 16.11.2021 в прибрежной акватории Чёрного моря, на территории ФИЦ ИнБЮМ имени А. О. Ковалевского РАН. Внешний вид культиватора в процессе апробации представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Плавающий фотобиореактор в процессе эксперимента  
**Fig. 1.** Floating photobioreactor during the experiment

Эффективная площадь поверхности плавающего культиватора составила 0,5 м<sup>2</sup>, с размером ячейки сетки 0,26 мм. Культиватор был установлен на поверхности воды и зафиксирован растяжками. Ежедневно производили контроль тем-

пературы морской воды и уровня инсоляции с помощью автоматического датчика регистрации суточных колебаний освещённости [9]. Результаты измерений приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Изменение суммарной энергии ФАР ( $E_s$ ) и температуры морской воды ( $t$  °С) в плавающем культиваторе микроводорослей в период эксперимента

<b>Дата</b>	<b>08.10</b>	<b>09.10</b>	<b>10.10</b>	<b>11.10</b>	<b>12.10</b>	<b>13.10</b>	<b>14.10</b>	<b>15.10</b>	<b>16.10</b>	<b>17.10</b>
$t$ °С	19	18	17	17	17	17	18	19	19	18
$E_s$ , Дж/м <sup>2</sup>	7,2	7,2	7,1	5,8	6	6,2	5,7	5,8	4,2	5,6
<b>Дата</b>	<b>18.10</b>	<b>19.10</b>	<b>20.10</b>	<b>21.10</b>	<b>22.10</b>	<b>23.10</b>	<b>24.10</b>	<b>25.10</b>	<b>26.10</b>	<b>27.10</b>
$t$ °С	17	17	17	17	18	17	17	18	16	16
$E_s$ , Дж/м <sup>2</sup>	5,6	5,5	5,7	5,3	3,7	4,9	4,9	4,7	4,9	4,5
<b>Дата</b>	<b>28.10</b>	<b>29.10</b>	<b>30.10</b>	<b>31.10</b>	<b>01.11</b>	<b>02.11</b>	<b>03.11</b>	<b>04.11</b>	<b>05.11</b>	<b>06.11</b>
$t$ °С	16	16	16	17	16	16	16	16	16	17
$E_s$ , Дж/м <sup>2</sup>	4,1	4,3	4,2	4	3,9	3,8	3,6	4,8	4,3	3,2
<b>Дата</b>	<b>07.11</b>	<b>08.11</b>	<b>09.11</b>	<b>10.11</b>	<b>11.11</b>	<b>12.11</b>	<b>13.11</b>	<b>14.11</b>	<b>15.11</b>	<b>16.11</b>
$t$ °С	17	17	17	16	16	16	15	15	15	15
$E_s$ , Дж/м <sup>2</sup>	3,3	3,6	3,4	4,1	3,3	3,2	2,9	2,7	3,1	2,7

Для проведения таксономической идентификации изъятых в конце эксперимента диатомовых водорослей их панцири освобождали от органического содержимого концентрированной  $H_2SO_4$  с добавлением кристаллов  $K_2Cr_2O_7$ , затем осадок 7–10 раз отмывали дистиллированной водой до полного удаления следов серной кислоты. Для изготовления препаратов для сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) каплю суспензии очищенных створок наносили на поликарбонатную мембрану Nuclepore Whatman, высушивали, приклеивали к предметному столику из алюминия и покрывали напылением из золота и палладия в вакуумной установке [10]. Микрофотографирование створок проведено

с помощью СЭМ Hitachi SU3500. Таксономическое положение Bacillariophyta определено по системе [11], с дополнениями [12, 13, 14]. Морфометрические измерения клеток проводили с помощью программы ImageJ (v1.4.3.67) [15].

**Результаты и обсуждение.** По завершении цикла выращивания и извлечения устройства из воды, было получено 510 г сырой биомассы водорослей, которые проникли в культиватор сквозь ячейу нижней сетки и успешно развивались в течение эксперимента. После высушивания урожай составил 42 г сухой биомассы.

На рис. 2 представлен внешний вид культиватора после извлечения из воды с биомассой водорослей.



**Рис. 2.** Биомасса микроводорослей, полученная в результате эксперимента  
**Fig. 2.** Biomass of microalgae obtained as a result of the experiment

Проведенная идентификация состава микроводорослей в контейнере плавающего культиватора показала отсутствие иных альгологических таксонов, помимо Bacillariophyta. В составе диатомовых водорослей выявлено 18 массовых видов, относящихся к 15 родам, 11 семействам, 9 порядкам и 3 классам Bacillariophyta. Все они относятся к бентопланктонным формам, т.е. в течение жизненного цикла способны подниматься из бентоса в толщу воды и переноситься течениями, что дает им значительное преимущество при расселении в различные местообитания. Именно эта особенность оказалась важной для заселения культиватора клетками, способными проникнуть через сетную ячейу.

Наибольшее видовое богатство отмечено у представителей класса

Bacillariophyceae – 10 видов, у класса Fragilariophyceae обнаружено 6 видов, у класса Coscinodiscophyceae – 2 вида.

Несколько видов определить не удалось, но мы приводим их микрофотографии. По численности доминировал мелкоклеточный вид *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin, отличающийся наибольшей скоростью деления. По биомассе преобладали крупноклеточные таксоны *Licmophora flabellata* (Carmichael ex Grev.) C. Agardh, *Licmophora abbreviata* C. Agardh, *Striatella unipunctata* (Lyngb.) C. Agardh, *Synedrosphenia crystallina* (C. Agardh) Lobban et Ashworth [Syn.: *Ardissonaea crystallina* (C. Agardh) Grunow], *Tabularia tabulata* (C. Agardh) Snoeijs. Средние размеры клеток приведены в табл. 2, изображения видов – на рис. 3

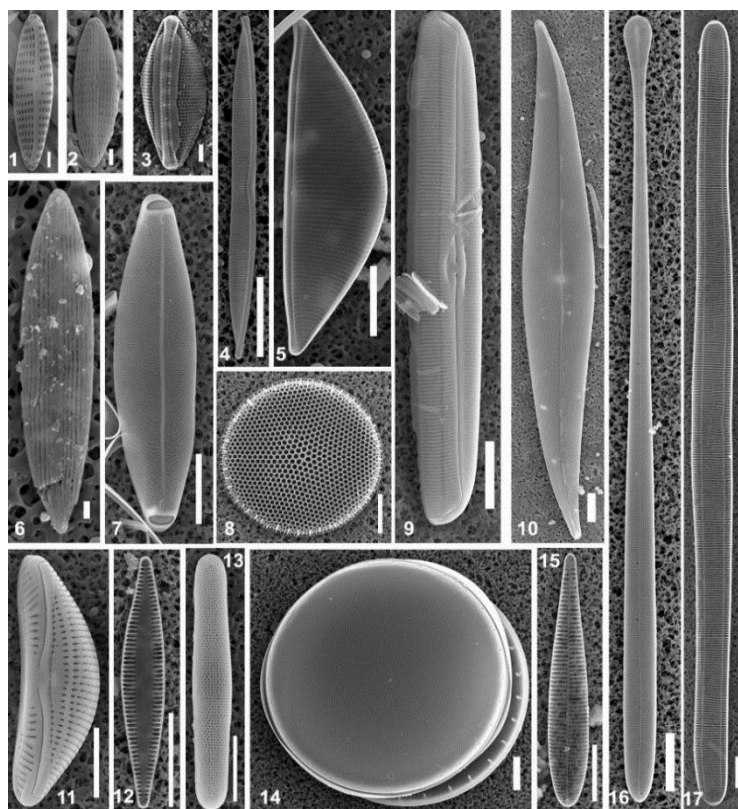
## Monitoring systems of environment No 2 (52) 2023

**Таблица 2.** Средние размеры клеток массовых видов Bacillariophyta, обнаруженных в плавающем фотобиореакторе

Таксон (класс, порядок, семейство, род, вид)	Длина створки, мкм	Ширина створки, мкм
<b>COSCINODISCOPHYCEAE</b>		
Thalassiosirales Gleser et I.V. Makarova 1986 Thalassiosiraceae M. Lebour 1930 <i>Thalassiosira</i> Cleve 1873		
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenb.) Cleve	40	40
Coscinodiscales Round et R.M. Crawford 1990 Hemidiscaceae Hendeby 1937 emend. Simonsen 1975 <i>Actinocyclus</i> Ehrenb. 1837		
<i>Actinocyclus subtilis</i> (W. Greg.) Ralfs	68	68
<b>FRAGILARIOPHYCEAE</b>		
Fragilariales P.C. Silva 1962 Fragilariaceae Grev. 1833 <i>Tabularia</i> (Kütz.) D.M. Williams et Round 1986		
<i>Tabularia tabulata</i> (C. Agardh) Snoeijs	27	4,5
Licmophorales Round 1990 Licmophoraceae Kütz. 1844 <i>Licmophora</i> C. Agardh 1827		
<i>Licmophora flabellata</i> (Carmichael ex Grev.) C. Agardh	125	5
<i>Licmophora abbreviata</i> C. Agardh	44	6,7
Ardissoneales Round 1990 Ardissoneaceae Round 1990 <i>Ardissonea</i> De Not. ex De Not. et Bagl. 1870		
<i>Ardissonea crystallina</i> (C. Agardh) Grunow [Currentl. accept. name: <i>Synedrosphenia crystallina</i> (C. Agardh) Lobban et Ashworth 2022]	235	12
Striatellales Round 1990 Striatellaceae Kütz. 1844 <i>Striatella</i> C. Agardh 1832		
<i>Striatella unipunctata</i> (Lyngb.) C. Agardh	48	11,7
<i>Grammatophora</i> Ehrenb. 1840		
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Kütz.	38	5,7
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>		
Naviculales Bessey 1907 emend. D.G. Mann Pinnulariaceae D.G. Mann 1990 <i>Caloneis</i> Cleve 1894		
<i>Caloneis liber</i> (W. Sm.) Cleve	77	13
Naviculaceae Kütz. 1844 <i>Navicula</i> Bory 1822		
<i>Navicula perminuta</i> Grunow ex Van Heurck	10,5	2,6
<i>Navicula ramosissima</i> (C. Agardh) Cleve	10	2,8
<i>Haslea</i> Simonsen 1974		
<i>Haslea</i> sp.	19	4
Pleurosigmataceae Mereschk. 1903 <i>Pleurosigma</i> W. Sm. 1852		
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Sm.	184	26

Продолжение таблицы 2

Thalassiophysales D.G. Mann 1990 Catenulaceae Mereschk. 1902 <i>Amphora</i> Ehrenb. 1844		
<i>Amphora marina</i> (W. Sm.) Chase	35	10,8
<i>Halamphora</i> (Cleve) Levkov 2009		
<i>Halamphora</i> sp.	49,5	14,5
Bacillariales Hendey 1937 emend. D.G. Mann Bacillariaceae Ehrenb. 1831 <i>Cylindrotheca</i> Rabenh. 1859		
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.) Reimann et Lewin	25	1,5
<i>Nitzschia</i> Hassall 1845		
<i>Nitzschia hybrida</i> Grunow	43	6,5
<i>Nitzschia</i> sp.	8,8	4,5



**Рис. 3** Массовые виды диатомовых водорослей в культиваторе (СЭМ). 1 – *Navicula perminuta*, 2 – *Navicula ramosissima*, 3 – *Nitzschia* sp., 4 – *Nitzschia hybrida*, 5 – *Halamphora* sp., 6 – *Haslea* sp., 7 – *Striatella unipunctata*, 8 – *Thalassiosira eccentrica*, 9 *Thalassiosira eccentrica*, 9 – *Caloneis liber*, 10 – *Pleurosigma elongatum*, 11 – *Amphora marina*, 12 – *Tabularia tabulata*, 13 – *Grammatophora marina*, 14 – *Actinocyclus subtilis*, 15 – *Licmophora abbreviata*, 16 – *Licmophora flabellata*, 17 – *Ardissonea crystallina*. Размерная шкала: 1, 2, 3, 6 – 1 мкм; 4, 5, 7–17 – 10 мкм.

**Fig. 3** Mass species of diatoms in a floating cultivator (SEM). 1 – *Navicula perminuta*, 2 – *Navicula ramosissima*, 3 – *Nitzschia* sp., 4 – *Nitzschia hybrida*, 5 – *Halamphora* sp., 6 – *Haslea* sp., 7 – *Striatella unipunctata*, 8 – *Thalassiosira eccentrica*, 9 *Thalassiosira eccentrica*, 9 – *Caloneis liber*, 10 – *Pleurosigma elongatum*, 11 – *Amphora marina*, 12 – *Tabularia tabulata*, 13 – *Grammatophora marina*, 14 – *Actinocyclus subtilis*, 15 – *Licmophora abbreviata*, 16 – *Licmophora flabellata*, 17 – *Ardissonea crystallina*. Scale bar: 1, 2, 3, 6 – 1  $\mu\text{m}$ ; 4, 5, 7–17 – 10  $\mu\text{m}$ .

В результате проведенного эксперимента установлена возможность вселения и дальнейшего успешного развития в контейнере плавающего фотобиореактора разноразмерных представителей трех классов отдела Bacillariophyta, являющихся перспективными объектами для культивирования в целях биотехнологического производства их высокой биомассы. Особый интерес представляет исследование биохимического состава данных видов для сравнительного изучения содержания липидов и биологически активных веществ, ценных для медицинской и пищевой промышленности.

Разработанный фотобиореактор может быть использован при культивировании и отдельных видов индикаторных микроводорослей, особенно требовательных к условиям среды, с последующим анализом нарастания их численности и биомассы. 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.

Помимо этого, по видовому составу диатомовых водорослей, вселившихся и развивающихся в контейнере фотобиореактора, можно провести опосредованную оценку качества морской среды, поскольку представители Bacillariophyta обладают высокой чувствительностью к воздействию различных поллютантов, и изменение параметров их разнообразия и развития является удобным инструментом при проведении экологического мониторинга [10].

**Выводы.** Проведена апробация в прибрежной акватории Чёрного моря плавающего фотобиореактора, разработанного нами ранее для культивирования различных размерных групп микроводорослей в естественных условиях. Результаты выполненного в течение 40 суток эксперимента показали успешное внесе-

ние в культиватор массовых видов бентопланктонных Bacillariophyta и отсутствие иных альгологических групп, тем самым подтвердив функциональность конструкции фотобиореактора *in situ*. Наибольшая численность отмечена у мелкоклеточных видов диатомовых с максимальной скоростью размножения, наибольшая биомасса – у крупноклеточных видов.

Поскольку плавающие культиваторы имеют более высокую производительность, чем традиционные системы открытого пруда, и используют энергию свободных волн для необходимого перемешивания культур, дальнейшее усовершенствование и внедрение в практику подобных систем будут способствовать снижению себестоимости получения биомассы микроводорослей и повышению экономической целесообразности производства биотоплива из микроводорослей.

Устройство может быть также предложено в качестве индикаторной системы при проведении комплексного экологического мониторинга состояния среды, поскольку оценка таксономического состава и полученной в ходе культивирования биомассы микроводорослей опосредованно отражает экологическую ситуацию в водоеме, в том числе наличие питательных веществ и отсутствие токсического воздействия контаминантов антропогенного происхождения.

*Работа выполнена на базе ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ, в рамках тем госзадания: № 121040500247-0 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия», № 121041400077-1 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяции в биотопах с различным физико-химическим режимом» и № 121030300149-0 «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплек-*

сах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса».

Работа в части идентификации видов диатомовых выполнена в отделе Экологии бентоса в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ по теме № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна».

Выражаем благодарность начальнику Лаборатории микроскопии ИнБЮМ Лишаеву В.Н. за помощь при микрофотографировании на СЭМ Hitachi SU3500.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Seckbach J., Gordon R.* Diatoms: fundamentals and applications / Eds: Hoboken, New Jersey: Wiley, Salem, Massachusetts: Scrivener. 2019. 679 p.
2. *Chisti Y.* Biodiesel from microalgae // *Biotechnology Advances*. 2007. Vol. 25. P. 294–306.
3. *Fangrui M., Milford A., Hanna B.* Biodiesel production: a review // *Biore-source Technology*. 1999. Vol. 70. P. 1–15.
4. *Amaro H.* Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel // *Applied Energy*. 2011. Vol. 88. P. 3402–3410.
5. *Kumar V.* Plants and algae species: Promising renewable energy production source // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2014. Vol. 26. P. 679–692.
6. *Hoffman J., Pate R., Drennen T., Quinn J.* Techno-economic assessment of open microalgae production systems // *Algal Research-Biomass Biofuels Bioprodu-cts*. 2017. Vol. 23. P. 51–57.
7. *Vasudevan V., Stratton R., Pearlson M., Jersey G., Beyene A., Weissman J., Rubino M., Hileman J.* Environmental perfor-mance of algal biofuel technology options // *Environmental Science & Technology*. 2012. Vol. 46. P. 2451–2459.
8. *Гулин А.С., Тренкеншу Р.П., Дык-ман А.О.* Устройство для культивирова-ния различных размерных групп микро-водорослей в естественных условиях и индикации экологической ситуации в водоемах // *Системы контроля окру-жающей среды*. 2022. № 4 (50). С. 93–97.
9. *Чекушкин А.А., Лелеков А.С., Трен-кеншу Р.П.* Автоматической датчик регистрации суточных колебаний освещённости в районе г. Севастополя // *Ак-туальные вопросы биологической физики и химии*. 2018. Т. 3. № 3. С. 547–552.
10. *Неврова Е.Л.* Разнообразие и структура таксоценов бентосных диато-мовых водорослей (Bacillariophyta) Чёр-ного моря / Ред: Гаевская А.В.; Институт биологии южных морей им. А.О. Кова-левского РАН. Севастополь: ФИЦ Ин-БЮМ, 2022. 329 с.
11. *Round F., Crawford R., Mann D.* The diatoms. Biology and morphology of the general. Cambridge: Cambridge Uni-versity press. 1990. 747 p.
12. *Guiry M.D., Guiry G.* AlgaeBase. World-wide electronic publication / Comp.: M. National University of Ireland, Galway. 1996–2023. <https://www.algaebase.org>; searched on 5.04.2023.
13. *Levkov Z.* Amphora sensu lato. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G. (Dia-toms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats / Ed: Lange-Bertalot H. 2009. Vol. 5. 916 p.
14. *Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D.* Diatom flora of marine coast 1 Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Monographs. Koenigstein: Koeltz Scientific Books. 2000. Vol. 7. 926 p.
15. ImageJ (v1.4.3.67) (Image Pro-cessing and analysis in Java): [site]. 2010. URL: <https://imagej.nih.gov/ij/> (accessed on 05.03.2022).



**FIELD TESTING OF A SET-UP FOR CULTIVATION OF DIFFERENT SIZE MICROALGAE GROUPS IN NATURAL CONDITIONS AND ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL SITUATION IN WATER BODIES**

**A.S. Gulin, R.P. Trenkenshu, E.L. Nevrova, I.A. Kharchuk, A.A. Chekushkin**

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

The results of testing a hybrid set-up of an open pond and a closed photobioreactor in the marine area are presented. The set-up is efficient and easy to operate and designed for environmental monitoring of water bodies. The experiment, carried out for 40 days, demonstrated the high potential for the cultivation of diatoms in the photobioreactor. The introduction of other algological taxa into the cultivator was not revealed. The possibility of using the floating photobioreactor for growing various types of microalgae with the prospect of using it for scientific and practical purposes, including environmental monitoring and water quality assessment is confirmed.

**Keywords:** photobioreactor, floating cultivator, microalgae.

**REFERENCES**

1. *Seckbach J. and Gordon R.* Diatoms: fundamentals and applications / Eds: Hoboken, New Jersey: Wiley, Salem, Massachusetts: Scrivener, 2019, 679 p.
2. *Chisti Y.* Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 2007, Vol. 25, pp. 294–306.
3. *Fangrui M., Milford A., and Hanna B.* Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 1999, Vol. 70, pp. 1–15.
4. *Amaro H.* Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied Energy*, 2011, Vol. 88, pp. 3402–3410.
5. *Kumar V.* Plants and algae species: Promising renewable energy production source. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2014, Vol. 26, pp. 679–692.
6. *Hoffman J., Pate R., Drennen T., and Quinn J.* Techno-economic assessment of open microalgae production systems. *Algal Research-Biomass Biofuels Bioproducts*, 2017, Vol. 23, pp. 51–57.
7. *Vasudevan V., Stratton R., Pearlson M., Jersey G., Beyene A., Weissman J., Rubino M., and Hileman J.* Environmental performance of algal biofuel technology options. *Environmental Science & Technology*, 2012, Vol. 46, pp. 2451–2459.
8. *Gulin A.S., Trenkenshu R.P., and Dykman A.O.* Ustroystvo dlya kul'tivirovaniya razlichnykh razmernykh grupp mikrovodorosley v yestestvennykh usloviyakh i indikatsii ekologicheskoy situatsii v vodoyemakh (A device for cultivating various size groups of microalgae in natural conditions and indicating the ecological situation in water bodies). *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy*, 2022, № 4 (50), pp. 93–97.
9. *Chekushkin A.A., Lelekov A.S., and Trenkenshu R.P.* Avtomaticheskii datchik registratsii sutochnykh kolebaniy osveshchonnosti v rayone g. Sevastopolya (Automatic sensor for registration of daily fluctuations in illumination in the area of Sevastopol). *Aktual'nyye voprosy biologicheskoy fiziki i khimii*, 2018, Vol. 3, No. 3, pp. 547–552.
10. *Nevrova E.L.* Raznoobrazie i struktura taksocenov bentosnykh diatomovykh vodoroslej (Ba-cillariophyta) Chyornogo morya (Diversity and structure of taxocenes of benthic diatoms (Bacillariophyta) of the Black Sea). Ed.: Gaevskaya A.V., Institute of Biology of the Southern Seas, A. O. Kovalevsky RAS, Sevastopol: FIC InBYuM, 2022, 329 p.
11. *Round F., Crawford R., and Mann D.* The diatoms. Biology and morphology of the general. Cambridge: Cambridge University press, 1990, 747 p.

12. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication / Comp.: Guiry M. D., Guiry G. M. National University of Ireland, Galway. 1996–2023. <https://www.algaebase.org>; searched on 5.04.2023.
13. *Levkov Z.* Amphora sensu lato. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G. (Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats / Ed: Lange-Bertalot H. 2009. Vol. 5, 916 p.
14. *Witkowski A., Lange-Bertalot H., and Metzeltin D.* Diatom flora of marine coast 1 Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Monographs. Koenigstein: Koeltz Scientific Books. 2000, Vol. 7, 926 p.
15. ImageJ (v1.4.3.67) (Image Processing and analysis in Java): [site]. 2010. URL: <https://imagej.nih.gov/ij/> (March 5, 2022).