УДК 631.147:582.26

DOI: 10.35809/2618-8279-2020-2-2

БИОРЕАКТОР ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ХЛОРЕЛЛЫ

BIOREACTOR FOR CULTIVATION OF CHLORELLE

А.Е. Новиков, доктор технических наук, доцент,
М.И. Филимонов,
Т.Г. Константинова,
А.Ю. Торопов

A.E. Novikov, doctor of technical sciences, associate professor,
M.I. Filimonov,
T.G. Konstantinova,
A.Yu. Toropov

*Всероссийский научно-исследовательский институт
орошаемого земледелия*

All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture

Определяющую роль в обеспечении продовольственной безопасности России, помимо сельского хозяйства и пищевой промышленности, играет рыбное хозяйство, на что есть веские причины – регулярное потребление рыбопродуктов положительно влияет на здоровье и продолжительность жизни человека. При этом имеется общемировая тенденция замещения потребления рыбы и морепродуктов, выросших и выловленных в естественных условиях, на продукцию аквакультуры. В перспективе до 2050 года аквакультура будет способна обеспечить жителей Земли (по прогнозу, более 9 млрд человек) недостающим объемом белка, но для достижения этого необходимо увеличить площадь мелиорируемых водных объектов рыбохозяйственного значения, а существующие технологии воспроизводства водных биологических ресурсов должны претерпеть изменения в части их экологизации и внедрения инновационных методов. Одним из таких методов является вселение в водные объекты, используемые для прудового рыбоводства, подверженные цветению, одноклеточной водоросли хлореллы. После такой операции происходит сукцессия в фитопланктонном сообществе – снижение численности сине-зеленых водорослей и увеличение зеленых водорослей. Для культивирования хлореллы в условиях прудовых рыбных хозяйств разработан и апробирован биореактор открытого типа, выполненный в форме желоба. Высота аппарата зависит от размеров пропиленового листа и может составлять от 0,45 до 0,75 м. На боковой поверхности каркаса биореактора имеется штуцер для тангенциального возврата суспензии. За счет таких особенностей конструкции аппарата достигается свободный отток кислорода, оптимальное поглощение естественной солнечной радиации, исключается образование застойных зон за счет циркуляции суспензии, что в целом способствует снижению ресурсозатрат на процесс культивирования водоросли.

Defining role in ensuring food security in Russia besides agriculture and food industry, plays fisheries, for which there are good reasons – regular consumption of fish products has a positive effect on human health and life expectancy. At the same time, there is a global trend of replacing the consumption of fish and seafood grown and caught in natural conditions with aquaculture products. In the long term, until 2050, aquaculture will be able to provide the inhabitants of the Earth (there are more than 9 billion people in the forecast) with the missing amount of protein, but to achieve this, it is necessary to increase the area of the reclaimed water bodies of fishery significance, and the existing technologies for the reproduction of aquatic biological resources should undergo changes in the direction of their environmental safety and the introduction of innovative methods. One of these methods is the settling of the unicellular algae *Chlorella* into the water bodies involved in pond fish farming, prone to «blooming». After such an operation, there is a succession in the phytoplankton community – a decrease in the number of blue-green algae and an increase in green algae. An open-type bioreactor in the form of a trough has been developed and tested for the cultivation of *Chlorella* in pond fish farms. The height of the device depends on the size of the propylene sheet, and can be from 0.45 to 0.75 m. On the side surface of the bioreactor frame there is a fitting for tangential return of the suspension. Due to these features of the device design, the free outflow of oxygen is achieved, the optimal absorption of natural solar radiation, the formation of stagnant zones is excluded due to the circulation of the suspension, which generally contributes to reducing the resource consumption for the process of cultivating algae.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, аквакультура, мелиорация водных объектов, прудовые рыбные хозяйства, качество воды, хлорелла, биореактор, кормовая добавка

Key words: food security, aquaculture, reclamation of water bodies, prудовые fish farms, water quality, chlorella, bioreactor, feed additive

Введение. Проблема мировой продовольственной безопасности одна из самых актуальных современной цивилизации, что обусловлено интенсивно растущим народонаселением в условиях

ограниченных ресурсов пресной воды, превышением темпов расходования почвенного плодородия над скоростью его воспроизводства, глобальным потеплением климата.

По данным ФАО ООН, число голодающих на планете в настоящее время оценивается уже почти в 700 млн человек, а более миллиарда людей «испытывают состояние отсутствия продовольствен-

ной безопасности», кроме этого, по данным этой же организации, к 2030 году число голодающих, в том числе из-за пандемии COVID-2019 может достигнуть 840 млн человек.

Однако Россия имеет огромный сельскохозяйственный потенциал, возможность нарастить объемы производства сельскохозяйственной продукции, стать одним из мировых лидеров по экспорту продуктов питания. Выполнению этой архиважной задачи должна способство-

вать Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, включающая различные государственные программы субсидирования, одна из которых «Развитие рыбохозяйственного комплекса», в том числе «Развитие аквакультуры» [10, 12].

По данным ФАО ООН, объем производства рыбы и морепродуктов в водоемах и на морских плантациях в настоящее время достигает 55 млн тонн, что составляет 45% потребляемых в мире рыбо-

продуктов. При этом к 2050 году спрос на белковую продукцию увеличится в разы, и значительная роль в обеспечения этого спроса будет принадлежать сектору аквакультуры.

В этой связи в России к 2030 году запланировано увеличить объем производства рыбопродуктов на 300%, а к 2050 году достигнуть мощности в 2 млн тонн [10].

Определенная роль в достижении целевых индикаторов и показателей, заяв-

Рисунок 1 – Схема биореактора для культивирования хлореллы в условиях прудовых рыбных хозяйств:

- 1 – каркас; 2 – аквариум; 3 – штуцер для слива готовой суспензии; 4 – трубопровод отвода готовой суспензии;
- 5 – штуцер для приготовления питательной среды, подачи питательного и маточного раствора, санитарного обслуживания;
- 6 – трубопровод технологических потоков; 7 – циркуляционный насос;
- 8, 9 и 10 – запорно-регулирующие устройства (шаровые краны);
- 11 – тангенциальный штуцер; 12 – циркуляционный трубопровод

ленных в подпрограмме «Развитие аквакультуры», отводятся прудовым рыбным хозяйствам. Однако эвтрофикация водоемов, сопровождающаяся ростом биологической продуктивности сине-зеленых водорослей, их биодegradацией с выделением токсинов, спровоцировала проблему экологической безопасности этих объектов [5, 13].

Анализ исследований показывает, что для реабилитации загрязненных водоемов имеют перспективу методы биологической мелиорации с использованием одноклеточной водоросли хлореллы. Вселение штамма водоросли сопровождается перестройкой фитопланктонного сообщества при преобладающем развитии зеленых водорослей, которые наиболее благоприятны для экологического, санитарного и рыбохозяйственного состояния водоема [1, 4, 5, 13].

По данным многолетних исследований Всероссийского НИИ орошаемого земледелия, вселение хлореллы в прудовые рыбные хозяйства улучшает гидрохимические и гидробиологические показатели воды. Эти эффекты обусловлены ингибирующим воздействием на сине-зеленые водоросли, снижением концентраций биогенных элементов, поглощением диоксида углерода, являющегося элементом питания клетки хлореллы, выделением кислорода и соответственно уменьшением ХПК и БПК [3, 6].

Преимущества суспензии хлореллы как биостимулятора в кормлении рыбы, птицы, сельскохозяйственных животных широко известны. В частности, в научных работах [2, 11, 14] приведены положительные результаты кормления молодняка крупного рогатого скота и перепелов.

Культивирование хлореллы производится в биореакторах, представляющих собой цилиндрические или прямоугольные емкости (аквариумы), имеющие гибкие рукава из полиэтилена, оборудованные системой жизнеобеспечения и контроля за процессом выращивания водоросли.

Для культивирования хлореллы в условиях прудовых хозяйств такие установки использовать не всегда представляется возможным ввиду сложности конструктивного оформления и эксплуатации при высоких затратах энергии, что обусловлено наличием вихревых турбин,

устройств для освещения, охлаждения, подогрева и прочего [7, 8].

Таким образом, цель научно-исследовательской работы состояла в разработке конструкции биореактора для культивирования хлореллы в условиях прудовых рыбных хозяйств.

Материалы и методы. Экспериментальную реализацию технологии культивирования хлореллы в открытых биореакторах проводили в СПК «Рыбхоз «Шапариевский» (Краснодарский край, Славинский район).

Основные виды деятельности этого прудового хозяйства: добыча водных биоресурсов для получения икры, молоки и формирования ремонтно-маточных стад; выращивание с последующим выпуском молоди водных биоресурсов в водные объекты рыбохозяйственного назначения; выращивание товарной рыбы с целью реализации, а также ее переработки.

Биореактор для культивирования хлореллы разрабатывали с использованием метода изобретательского творчества и системы автоматизированного проектирования «Компас».

Результаты и обсуждение. В ходе выполнения научной работы в период с 2018 по 2019 годы разработана конструкция биореактора для культивирования хлореллы в условиях прудовых рыбных хозяйств (рисунок 1) [9].

Конструкцией предусмотрено два режима работы биореактора: I – приготовление питательной среды, II – культивирование хлореллы.

В режиме I вода по трубопроводу технологических потоков 6 через штуцер для приготовления питательной среды, подачи питательного и маточного раствора, санитарного обслуживания 5 и

открытый шаровой кран 10 (шаровые краны 8 и 9 закрыты) поступает в аквариум 2. После его наполнения до необходимого уровня кран 10 следует закрыть, а шаровой кран 8 открыть и включить циркуляционный насос 7. Далее в воду, которая циркулирует по схеме: аквариум 2 → штуцер для слива готовой суспензии 3 → циркуляционный трубопровод 12 → тангенциальный штуцер 11 → аквариум 2 дозируются реактивы. Схема циркуляции и закрученное движение потока, организуемое за счет тангенциального штуцера 11, обеспечивают полное растворение реактивов без дополнительных затрат энергии.

В режиме II по трубопроводу технологических потоков 6 через штуцер для приготовления питательной среды, подачи питательного и маточного раствора, санитарного обслуживания 5 и открытый шаровой кран 10 в аквариум 2 дозируют питательный раствор и маточную суспензию. При этом шаровой кран 8 открыт, циркуляционный насос 7 включен, а шаровой кран 9 закрыт. Полученная жидкостная система циркулирует и перемешивается по схеме: аквариум 2 → штуцер для слива готовой суспензии 3 → циркуляционный трубопровод 12 → тангенциальный штуцер 11 → аквариум 2. После смешения всех компонентов циркуляционный насос 7 следует отключить, а шаровые краны 8 и 10 закрыть. За время культивирования хлореллы ее нужно периодически перемешивать тем же способом. При готовности суспензии шаровой кран 9 следует открыть и отвести ее через штуцер для слива готовой суспензии 3 по трубопроводу отвода готовой суспензии 4 в емкость готовой суспензии.

Заключение. Разработан биореактор для культивирования хлореллы в условиях прудовых рыбных хозяйств, имеющий ряд преимуществ относительно известных конструкций. В частности, выполнение аквариума сделано открытым в форме желоба высотой 0,45-0,75 м и под наклоном 3-5° в сторону слива готовой суспензии, что обеспечивает отвод кислорода, как продукта жизнедеятельности хлореллы, оптимальную освещенность суспензии и беспрепятственный ее сток, исключает образование в аппарате застойных зон. Наличие на боковой поверхности аквариума тангенциального ввода способствует закрученному движению суспензии и соответственно интенсивному ее перемешиванию во всем объеме аппарата, благодаря чему достигается снижение энергозатрат при культивировании хлореллы преимущественно в условиях открытой площадки.

Библиографический список

1. Влияние кормовой добавки хлореллы на продуктивность Веслоноса / М.В. Фролова, М.В. Московец, Л.А. Птицына, А.Ю. Торопов // Аграрно-пищевые инновации. – 2019. – №2 (6). – С. 28-34.
2. Использование суспензии хлореллы в перепеловодстве и влияние ее на выводимость и сохранность перепелов / В.В. Мелихов, М.В. Фролова, М.В. Московец, А.Ю. Торопов // Известия Неволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – №2 (58). – С. 214-222.

Bibliographic list

1. Effect of Chlorella Feed Additive on Paddlefish Productivity / M.V. Frolova, M.V. Moskovets, L.A. Ptitsyna, A.Yu. Toropov // Agricultural and food innovations. – 2019. – No.2 (6). – P. 28-34.
2. The use of chlorella suspension in quail farming and its effect on hatchability and safety of quail / V.V. Melikhov, M.V. Frolova, M.V. Moskovets, A.Yu. Toropov // Bulletin of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. – 2020. – No.2 (58). – P. 214-222.

3. Использование микроводоросли для улучшения качества воды и естественной рыбопродуктивности / М.В. Фролова, М.В. Московец, Л.А. Птицына, А.Ю. Торопов // Орошаемое земледелие. – 2019. – №4. – С. 59-62.

4. Калайда, М.Л. Эксперименты по альголизации водоемов одноклеточной водорослью *Chlorella Vulgaris* / М.Л. Калайда, М.Э. Галеева // Вестник Казанского энергетического университета. – 2011. – №3 (10). – С. 45-49.

5. Кружилин, И.П. Использование штамма *Chlorella Vulgaris* Bin для биологической реабилитации сточных вод и загрязненных водоемов / И.П. Кружилин, Н.И. Богданов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – №6. – С. 37-38.

6. Особенности влияния штамма *Chlorella Vulgaris* ИФР №С-111 на качество воды в прудовом рыбоводстве / М.В. Фролова, М.В. Московец, Л.А. Птицына, А.Ю. Торопов // Орошаемое земледелие. – 2019. – №3. – С. 46-49.

7. Пат. 2485174 Российская Федерация, МПК C12M 1/00, C12M 3/02, A01G 33/00, C12N 1/12. Установка для выращивания планктонных водорослей / Н.И. Богданов, Н.В. Карелин; заявитель и патентообладатель Богданов Николай Иванович. – №2011147970/10; заявл. 25.11.2011; опубл. 2013, Бюл. №17.

8. Пат. 2315805 Российская Федерация, МПК C12M 3/02, C12M 3/02, C12N 1/12. Устройство для культивирования микроводорослей / В.В. Мелихов [и др.]; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия РАСХН. – №2006106081/13; заявл. 26.02.2006; опубл. 2008, Бюл. №3.

9. Пат. 191241 Российская Федерация, МПК C12M 1/02, C12M 3/02, A01G 33/00, C12N 1/12. Установка для выращивания хлореллы / В.В. Мелихов [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИОЗ. – №2019106940; заявл. 11.03.2019; опубл. 2019, Бюл. №22.

10. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. №314 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса» (с изменениями на 31 марта 2020 г.).

11. Суспензия хлореллы как биостимулятор в кормлении молодняка крупного рогатого скота / М.В. Фролова, М.В. Московец, Л.А. Птицына, А.Ю. Торопов // Аграрно-пищевые инновации. – 2019. – №2 (6). – С. 34-39.

12. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. №20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». – Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/> (дата обращения 28.07.2020).

13. Фролова, М.В. Современная биотехнология в улучшении качества воды открытых водоемов многоцелевого назначения / М.В. Фролова, О.П. Комарова, М.В. Московец // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – №4 (52). – С. 213-218.

14. Хлорелла в рационах перепелов эстонской породы / М.В. Фролова, М.В. Московец, Л.А. Птицына, А.Ю. Торопов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – №4 (52). – С. 178-184.

3. Using microalgae to improve water quality and natural fish production / M.V. Frolova, M.V. Moskovets, L.A. Ptitsyna, A.Yu. Toropov // Irrigated agriculture. – 2019. – No.4. – P. 59-62.

4. Kalayda, M.L. Experiments on algolization of water bodies by the unicellular alga *Chlorella Vulgaris* / M.L. Kalayda, M.E. Galeeva // Kazan Energy University Bulletin. – 2011. – No.3 (10). – P. 45-49.

5. Kruzhilin, I.P. Use of the *Chlorella Vulgaris* Bin strain for biological rehabilitation of wastewater and polluted water bodies / I.P. Kruzhilin, N.I. Bogdanov // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. – 2009. – No.6. – P. 37-38.

6. Features of the influence of the strain *Chlorella Vulgaris* IGF No. C-111 on the quality of water in pond fish farming / M.V. Frolova, M.V. Moskovets, L.A. Ptitsyna, A.Yu. Toropov // Irrigated agriculture. – 2019. – No.3. – P. 46-49.

7. Pat. 2485174 Russian Federation, IPC C12M 1/00, C12M 3/02, A01G 33/00, C12N 1/12. Installation for growing planktonic algae / N.I. Bogdanov, N.V. Karelin; applicant and patent holder Bogdanov Nikolay Ivanovich. – No.2011147970/10; application 25.11.2011; publ. 2013, Byul. No.17.

8. Pat. 2315805 Russian Federation, IPC C12M 3/02, C12M 3/02, C12N 1/12. Microalgae cultivation device / V.V. Melikhov [et al.]; applicant and patent holder State scientific institution all-Russian research Institute of irrigated agriculture Russian agricultural academy. – No.2006106081/13; application 26.02.2006; publ. 2008, Byul. No.3.

9. Pat. 191241 Russian Federation, IPC C12M 1/02, C12M 3/02, A01G 33/00, C12N 1/12. Chlorella growing plant / V.V. Melikhov [et al.]; applicant and patent holder FGBNU VNIIOZ. – No.2019106940; declared 11.03.2019; publ. 2019, Byul. No.22.

10. Decree of the Government of the Russian Federation of April 15, 2014. No.314 "On approval of the state program of the Russian Federation" Development of the fishing industry «(as amended on March 31, 2020).

11. Chlorella suspension as a biostimulant in feeding young cattle / M.V. Frolova, M.V. Moskovets, L.A. Ptitsyna, A.Yu. Toropov // Agricultural and food innovations. – 2019. – No.2 (6). – P. 34-39.

12. Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020. No.20 "On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation". – Official Internet portal of legal information [Electronic resource]. – 2020. – Access Mode: <http://pravo.gov.ru/> (accessed date 28.07.2020).

13. Frolova, M.V. Modern biotechnology in improving the water quality of open reservoirs for multipurpose purposes / M.V. Frolova, O.P. Komarova, M.V. Moskovets // Bulletin of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. – 2018. – No.4 (52). – P. 213-218.

14. Chlorella in the diets of Estonian quail / M.V. Frolova, M.V. Moskovets, L.A. Ptitsyna, A.Yu. Toropov // Bulletin of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. – 2018. – No.4 (52). – P. 178-184.

Дополнительные сведения об авторах:

Андрей Евгеньевич Новиков, врио директора, ae-novikov@mail.ru,

Максим Игоревич Филимонов, младший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, maks.filimonov.1986@mail.ru,

Татьяна Геннадьевна Константинова, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, tg.konstantinova.55@mail.ru,

Алексей Юрьевич Торопов, научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, toropov.19@inbox.ru

Additional information about the authors:

Andrey Evgenievich Novikov, interim director, ae-novikov@mail.ru,

Maxim Igorevich Filimonov, junior researcher of the department of irrigation and reclamation, maks.filimonov.1986@mail.ru,

Tatyana Gennad'evna Konstantinova, senior researcher of the department of irrigation and reclamation, tg.konstantinova.55@mail.ru,

Alexey Yuryevich Toropov, senior researcher of the department of irrigation and reclamation, toropov.19@inbox.ru