

О. А. Каргополова

O.A. Kargopolova

kargopolovaoluha@mail.ru

С. Б. Чачина

S. B. Chachina

Ksb3@yandex.ru

ФГАОУ ВО "Омский государственный  
технический университет", г. Омск  
Omsk State Technical University", Omsk

## МАСШТАБИРУЕМОЕ ПРОИЗВОДСТВО БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ: МИКРОВОДОРОСЛЕВЫЙ ПУТЬ

**Аннотация:** Биодизельное топливо, полученное на основе микроводорослей, является безуглеродным возобновляемым источником энергии и эффективным средством связывания углерода, поскольку углерод нейтрален, и его сжигание не увеличивает чистое содержание углерода в атмосфере. В результате анализа получения биодизеля, можно выявить следующие преимущества их как продуцентов биотоплива: Из-за большой скорости роста (в 20–30 раз быстрее, чем наземные растения) не будет трудности в поставке исходного сырья для производства биодизельного топлива; в них содержится порядка 50% липидов, что позволяет получать больший выход биодизельного топлива; они характеризуются удельной производительностью по биотопливу; выращивание биомассы водорослей не требует пахотных земель, даже выращивается в городских, сельскохозяйственных и промышленных сточных водах, содержащих питательные вещества. Полученный биодизель содержит эфиры жирных кислот, которые соответствуют стандартам ЕС.

**Ключевые слова:** биотопливо, биодизель, водоросли, растительные масла.

## «SCALABLE PRODUCTION OF THIRD-GENERATION BIODIESEL: THE MICROALGAE PATHWAY»

**Annotation:** Microalgae-derived biodiesel is a carbon-free, renewable energy source and an effective carbon sequestration agent because it is carbon neutral and burning it does not add net carbon to the atmosphere. As a result of analyzing the production of biodiesel, the following advantages can be identified as biofuel producers: Due to the high growth rate (20-30 times faster than terrestrial plants), there will be no difficulty in supplying feedstock for the production of biodiesel fuel; they contain about 50% lipids, which makes it possible to obtain a higher yield of biodiesel fuel; they are characterized by specific biofuel productivity; Algae biomass farming requires no arable land, even grown in municipal, agricultural and industrial wastewater containing nutrients. The resulting biodiesel contains fatty acid esters that meet EU standards.

**Keywords:** biofuel, biodiesel, algae, vegetable oils.

**Введение.** Мировое потребление сырой нефти выросло за последние полвека из – за быстрой индустриализации и роста населения [1]. Применение этих видов топлива имеет разрушительные последствия, такие как глобальное потепление, деградация окружающей среды и проблемы со здоровьем. Первое и второе поколения биотоплива были получены из пищевых источников и производных целлюлозы. Богатые липидами микроводоросли можно использовать для производства биотоплива и особенно биодизеля, поскольку выход липидов из них выше, чем у лучших масличных культур. Микроводоросли можно рассматривать как альтернативный кандидат для производства биотоплива и биотоплива третьего поколения [2].

**Цель работы:** Целью данной работы является получение в лабораторных условиях биодизельного топлива из биомассы микроводорослей.

**Основная часть.** Микроводоросли, как весьма разнообразная группа, встречаются в разных средах, например, в пресноводных и морских системах. Они очень эффективно собирают солнечный свет и преобразуют его в биохимические соединения, что приводит к более высокой производительности, чем у растений. Они являются хорошим выбором для производства биодизеля из-за их высокой скорости роста и способности хранить липиды. Высокое содержания липидов в их клетках (до 50%, в исключении *V. braunii* – до 80%) даёт возможность большого выхода биодизельного топлива.

Основными преимуществами микроводорослей являются [3]:

- Растут в 20–30 раз быстрее, чем наземные растения;
- Для их выращивания подходят даже пресные, солёные и сточные воды;
- Не требуют особого ухода и удобрения;
- Обладают высокой эффективностью фотосинтеза;
- микроводоросли могут использовать азот и фосфор из различных источников сточных вод (например, сельскохозяйственных стоков, промышленных и городских сточных вод), обеспечивая дополнительные преимущества биологической очистки сточных вод;
- для выращивания микроводорослей можно использовать пашни, пустыни и засоленные земли, не пригодные для производства сельскохозяйственных продуктов питания;
- продукция несезонная, а сырьё можно получать партиями круглый год;
- микроводоросли являются сырьём для широкого спектра продуктов (например, белков, полисахаридов, пигментов, биополимеров, кормов, удобрений и так далее.);
- организация производства биомассы микроводорослей не требует сложного оборудования и высокого уровня автоматизации производства.

Для производства биотоплива используются водоросли с содержанием концентрации масла от 20 до 50%. Наиболее распространёнными видами водорослей, используемых для производства биодизельного топлива, являются: *Chlorella*, *Nitzschia*, *Chlamydomonas*, *Nannochloropsis*, *Navicula*, *Nannochloris* [4]. Получают биотопливо непосредственно из жиров, которые содержат микроводоросли в составе своих клеток. В составе липидов водорослей содержится значительное количество ненасыщенных жирных кислот до 25% от общего количества жирных кислот, которые путём последовательных

реакций превращаются в биотопливо. На рисунке 1 показана схема превращения жирных кислот в биодизель.



**Рисунок 1.** Схема превращения жирных кислот в биодизельное топливо

Существует множество потенциальных способов преобразования биомассы микроводорослей в топливо. Они делятся на три основные категории:

- 1) превращение экстрактов микроводорослей (например, липидов, углеводов) в биотопливо (например, биодизельное топливо, биоэтанол);
- 2) преобразование всей биомассы водорослей в биотопливо;
- 3) использование водорослей для получения топливных молекул (например, этанола, водорода, метана, алканов) в связи с их жизнедеятельностью. Важнейшими видами биотоплива, производимого на основе биомассы, являются биодизель и биоэтанол [5].

### Результаты и их обсуждение

В сравнении со стандартами ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия» мы провели сравнительную характеристику результатов полученного биодизеля по его физическим показателям. В таблице 1 представлено сравнение показателя плотности топлива, измеренное при температуре 15°C.

**Таблица 1.** Сравнение плотности полученного биодизеля со стандартами ГОСТ Р 52368-2005

Показатель	Биодизель из водорослей	ГОСТ Р 52368-2005
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	825	820–845

Полученное значение биодизеля находится в пределах оптимальных значений плотности по ГОСТ Р 52368-2005, следовательно, это топливо пригодно для использования. Кинематическая вязкость выражает способность топлива течь по выбранному сечению с определённой скоростью. Вязкость зависит от температуры окружающей среды.

В таблице 2 представлены значения параметров кинематической вязкости при температуре 40°C и 100°C в сравнении со стандартами ГОСТ Р 52368-2005.

**Таблица 2.** Сравнение кинематической вязкости полученного биодизеля со стандартами ГОСТ Р 52368-2005

Показатель	Биодизель из водорослей	ГОСТ Р 52368-2005
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	4,510	3,00–4,50
Кинематическая вязкость при 100°C, мм <sup>2</sup> /с	4,651	7,00–9,50

**Выводы.** Показатели плотности полученного биодизеля укладываются в рамки ГОСТ, а показатели кинематической вязкости при разных температурах немного отклоняются от стандартов, но это отклонение незначительно.

Биодизельное топливо, полученное на основе водорослей, пригодно для эксплуатации автомобилей в зимних условиях. В результате анализа получения биодизеля, можно выявить следующие преимущества их как продуцентов биотоплива: Из-за большой скорости роста (в 20–30 раз быстрее, чем наземные растения) не будет трудности в поставке исходного сырья для производства биодизельного топлива, в них содержится порядка 50% липидов, что позволяет получать больший выход биодизельного топлива, а так же, они характеризуются удельной производительностью по биотопливу. Полученный биодизель содержит эфиры жирных кислот, которые соответствуют стандартам ЕС.

### Список литературы

1. Стратегии производства экономически эффективного биотоплива третьего поколения из микроводорослей / Рафа Н., Ахмед С. Ф., Бадруддин И. А., Мофьюр М., Камангар С. // Перспективы. Возобновляемая энергетика. 2021. Т. 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.749968>.
2. Обзор производства биодизеля из микроводорослей: влияющие параметры и последние передовые технологии / Чжан И., Чжан Л., Сюй Г., Ли Ф., Ли С. // Front. Microbiol. 2022. Vol. 13. P. 970028. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.970028>.

3. Биодизель для двигателей HCCI: Перспективы и проблемы устойчивого биодизельного топлива для энергетического перехода / Рияди Т., Эрнандес М., Хераван С. и др. // Results in Engineering. 2023. Vol. 17 (100). P. 100916. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100916>.

4. Воссоединение биогеохимии водорослей для низкоуглеродной замкнутой биоэкономики / Леонг Ю. К., Чу К. В., Чен В. Х. и др. // Trends Plant Sci. 2021. Vol. 26, iss. 7. P. 729–740. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.12.010>.

5. Матимани Т., Пугаженди А. Использование водорослей для производства биотоплива, биопродуктов и биоремедиации // Сельскохозяйственная биотехнология. 2019. Т. 17. С. 326–330. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.12.007>.