

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Российский химико-технологический университет  
имени Д. И. Менделеева

**VI МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
ПО ПРОБЛЕМАМ  
ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*К 10-летию кафедры ТСБ*

**Москва, 25–26 апреля 2024 г.**

**Материалы конференции**

Москва

2024

УДК 504.06:66(075)

ББК 65.9(2)248

М43

**М43 VI Международная научно-практическая конференция молодых ученых по проблемам техносферной безопасности:** материалы конференции. – М.: РХТУ им Д. И. Менделеева, 2024. – 300 с.  
ISBN 978-5-7237-2078-7

В сборник вошли статьи по актуальным проблемам техносферной безопасности. **Основными проблемно-тематическими направлениями работы конференции стали:** промышленная безопасность и охрана труда, пожарная безопасность, экологическая безопасность, особенности подготовки студентов и аспирантов в области техносферной безопасности.

Материалы сборника были представлены для широкого обсуждения 25–26 апреля 2024 г. на Международной научно-практической конференции молодых ученых по проблемам техносферной безопасности, посвященной 10-летию кафедры ТСБ. Сборник представляет интерес для научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 504.06:66(075)

ББК 65.9(2)248

Редакционная коллегия:

Сопредседатель конференции – профессор **Н. И. Акинин**

Ученый секретарь – профессор **А. Я. Васин**

Секретари оргкомитета – доцент **М. Д. Чернецкая**

доцент **А. Н. Шушпанов**

Научное издание

## **VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО ПРОБЛЕМАМ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

### **Материалы конференции**

Текст репродуцирован с оригиналов авторов

Компьютерная верстка: М. Д. Чернецкая

Подписано в печать 16.05.2024 Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. 17,4. Уч.-изд. л. 26,7. Тираж 100 экз. Заказ

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

Издательский центр

Адрес университета и издательского центра: 125047 Москва, Миусская пл., 9

ISBN 978-5-7237-2078-7

© Российский химико-технологический  
университет им. Д. И. Менделеева, 2024

ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ СВОЙСТВ НОВОЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ Н027-4289 <i>Миловидов П.Д., Тимофеева В.А., Васин А.Я., Шушпанов А.Н.</i>	80
ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫЕ СВОЙСТВА ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА РАВИДАСВИР <i>Сахацкая А. В., Васин А. Я., Миловидов П. Д.</i>	85
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА И ТЕМПЕРАТУРУ ВСПЫШКИ <i>Лукашова Д. Н., Бредихина К.А., Райкова В. М.</i>	89
АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДИКУМИЛПЕРОКСИДА <i>Крюков Г.Н., Райкова В. М.</i>	93
СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К УДАРУ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ОКТОГЕН/CuO И ОКФОЛ-3,5/CuO <i>Дмитриев Н.В., Акинин Н.И.</i>	98
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К УДАРУ СМЕСИ ПЕРХЛОРАТА АММОНИЯ С АЛЮМИНИЕМ <i>Еремина А.В., Дмитриев Н.В.</i>	102
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К УДАРУ ДИНИТРОАНИЗОЛА <i>Чаплыгин А.Е., Гаджиев Г.Г.</i>	105
<b>ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДОРОСЛЕЙ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА</b> <i>Солодухин Е.С., Шушпанов. А.Н.</i>	<b>109</b>
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ РЯДА СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ <i>Шугаева А.Р., Леонтьева И.Н., Шушпанов А.Н.</i>	112
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМОЛИЗА D-СЕРИНА <i>Шарова Е.Н., Шинкарев Н.А., Шушпанов А.Н.</i>	116
ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРАСИТЕЛЯ ЦЕМАКТИВ БФ-0 <i>Шинкарев Н.А., Терехова М.А., Солодухин Е.С., Шушпанов А.Н.</i>	96
ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭНТАЛЬПИЙ ОБРАЗОВАНИЯ РЯДА АЗО- И АНТРАХИНОНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ <i>Звездунова В.А., Шушпанов А.Н.</i>	122
ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИАММОНИЙФОСФАТА И СУЛЬФАТА АММОНИЯ И ИХ СМЕСЕЙ <i>Капранова Е.М., Колесова В.Ю., Мельников Н.О.</i>	125
РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БОР-, АЗОТ-, ФОСФОРСОДЕРЖАЩЕГО ОГНЕЗАЩИТНОГО СОСТАВА ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ <i>Давидова А. А., Мирсаяпова А. И., Монахов А.А., Мельников Н. О.</i>	127
ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРУДНОВЫМЫВАЕМЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ХРОМА И МЕДИ <i>Бондаревская А.М., Монахов А.А., Мельников Н.О.</i>	130
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК И ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДРЕВЕСИНЫ В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ ВРЕМЕНИ <i>Пищикова А.В., Андруняк И.В.</i>	133
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ <i>Сандалов В.М., Аносова Е.Б.</i>	137
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРНОГО РИСКА УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ РХТУ им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ <i>Фрикель М.Д., Пасхина Д.А., Аносова Е.Б.</i>	143
АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ <i>Давитадзе Л.Т., Скуртова И.В.</i>	148
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6, 10 КВ <i>Бажина А.О., Крапивин Д.А.</i>	152

УДК: 662.756.3 + 543.579

## ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДОРОСЛЕЙ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

*Е.С. Солодухин, А.Н. Шушпанов*

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

**Аннотация.** В работе проведен термохимический анализ образцов двух видов водорослей, которые являются перспективным сырьем для синтеза биодизельного топлива. На основе полученных данных определена оптимальная температура для проведения пиролитической экстракции жидкой органической фазы из водорослей.

**Ключевые слова:** биодизельное топливо, термоанализ, пиролиз.

## THERMOCHEMICAL ANALYSIS OF ALGAE AS A POTENTIAL SOURCE OF BIODIESEL FUEL

*E. S. Solodukhin, A. N. Shushpanov*

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

**Abstract.** The thermochemical analysis of two different samples of algae, which are promising raw materials for the synthesis of biodiesel, was carried out in this paper. Based on the obtained data, the optimal temperature for pyrolytic extraction of the liquid organic phase from algae was determined.

**Keywords:** biodiesel fuel, thermal analysis, pyrolysis.

Вопрос о переходе на возобновляемые источники энергии на сегодняшний день стал одним из наиболее актуальных в научном сообществе ввиду значительного количества выбрасываемых в атмосферу парниковых газов. Одним из элементов более экологичного подхода к энергетике является замена ископаемого горючего на биотопливо [1]. Наиболее значительный интерес научного сообщества в данной области вызывает синтез биотоплива из микроводорослей, однако применение макроводорослей могло бы значительно упростить процесс получения биотоплива ввиду их легкодоступности и большого содержания жидкой органической фазы, пригодной для дальнейшей переработки [2]. Уже существует целый ряд методов по превращению биомассы в топливо, из которых одними из наиболее перспективных для переработки водорослей являются термические методы, а именно гидротермальное сжижение, газификация и пиролиз. Данные методы применимы на промышленном уровне ввиду проведения всего процесса в рамках одного термохимического реактора, что отличает их от методов, основанных на сепарации [3]. Однако при их применении остро стоит вопрос термической стабильности биомассы, которая, по большей части, состоит из крайне чувствительных к температурному

воздействию углеводов и жирных кислот [4]. В атмосфере воздуха особенно вероятна реакция окисления компонентов биотоплива.

Ввиду этого, для проведения синтеза биодизельного топлива, а также для его эксплуатации требуется четкое понимание границ термической устойчивости как сырья, так и готового продукта. Оценить эту устойчивость можно различными методами термического анализа, из которых для нашего исследования были выбраны методы дифференциального термического анализа (ДТА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Предметом же исследования стала термическая устойчивость водорослей, используемых нами для синтеза биодизеля (*Fucus vesiculosus* и *Laminaria digitata*).

Для оценки пожароопасности образцов водорослей и, соответственно, безопасной температуры проведения пиролитической экстракции была определена их температура самовоспламенения на установке ОТП согласно ГОСТ 12.1.044-89 [5].

Дифференциальный термический анализ (ДТА) совместно с термогравиметрическим анализом водорослей проводился на дериватографе при скорости нагревания 10 К/мин в атмосфере воздуха в диапазоне температур от температуры в помещении (24 °С) до 700 °С. В качестве эталона использовался оксид алюминия. Полученные на дериватографе данные в дальнейшем были обработаны при помощи программы GetData Graph Digitizer 2.24.

Дифференциальная сканирующая калориметрия водорослей была проведена на приборе NETZSCH STA 449 F3 в атмосфере воздуха. Скорость нагревания составляла 2,5 К/мин, исследование проводилось в диапазоне температур от 50 °С до 300 °С. Масса образца составляла 8,2 мг для фукуса и 6,3 мг для ламинарии.

В ходе исследования была изучена термическая устойчивость водорослей *Fucus vesiculosus* и *Laminaria digitata*. Преимуществами данных видов водорослей является их доступность как на севере, так и в южных регионах России, а также высокое содержание жидкой органической фазы, пригодной для синтеза биодизеля [6, 7]. В рамках предварительной подготовки образцов водоросли были высушены и измельчены.

Температура самовоспламенения для образцов *Fucus vesiculosus* составила 565 °С, а для образцов *Laminaria digitata* – 535 °С. Вследствие этого, данные температуры являются максимально допустимыми для безопасного проведения пиролитической экстракции.

Полученные из ДТА данные позволяют оценить необходимые условия проведения процесса пиролитической экстракции. На кривых ДТА видно, что наиболее интенсивная потеря массы у обоих видов водорослей наблюдается при температуре порядка 230 °С у фукуса и 220 °С у ламинарии и соответствует отделению жидкой органической фазы, которая после конденсации может использоваться в качестве сырья для биодизельного топлива (рис. 1а и 1б). Наблюдаемые при данной температуре незначительные экзотермические пики, наиболее вероятно, соответствуют разложению содержащихся в водорослях незначительного количества биополимеров: целлюлозы и лингина. Незначительная потеря массы в температурном диапазоне до отделения

органической фазы связана и испарением остаточной воды. Экзотермический пик при 460 °С у фукуса и 420 °С у ламинарии соответствует разложению и окислению оставшейся органической фазы водорослей, и, как следствие, является верхним температурным пределом при проведении процесса в атмосфере воздуха. Проведение процесса экстракции в атмосфере инертного газа может полностью исключить возможность окисления первичных продуктов, и, как следствие, является предпочтительным для промышленности. Ввиду этого максимальная температура пиролиза будет ограничена только термической устойчивостью материалов реакционного сосуда.

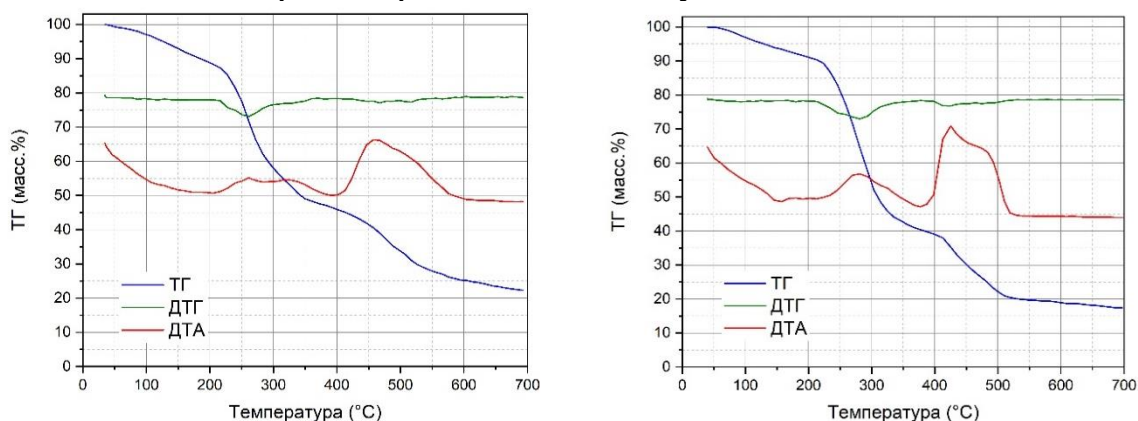


Рис. 1. Кривые ДТА и термогравиметрического анализа водорослей *Fucus vesiculosus* (а) и *Laminaria digitata* (б)

На рисунке 2а и 2б представлены кривые ДСК фукуса и ламинарии соответственно. Полученные данные подтверждают ранее полученные результаты ДТА: наибольшая потеря массы происходит при 210 °С для фукуса и при 220 °С для ламинарии и сопровождается незначительным экзотермическим эффектом, связанным с разложением биополимеров. На кривой для ламинарии также наблюдается незначительный эндотермический пик при 148 °С, который, скорее всего, связан с разложением и испарением наиболее легкокипящих фракций органической фазы.

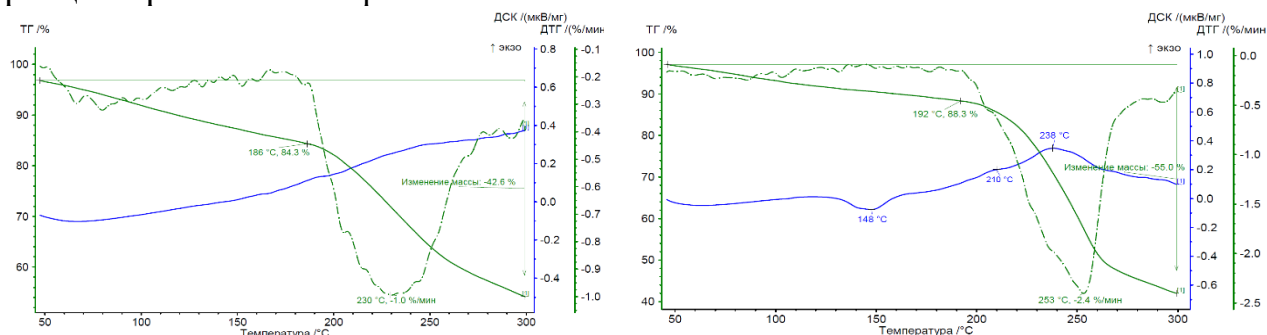


Рис. 2. Кривые ДСК водорослей *Fucus vesiculosus* (а) и *Laminaria digitata* (б)

Таким образом, на основе данных, полученных при помощи термоанализа, можно сделать вывод, что оптимальной температурой пиролитической экстракции жидкой органической фазы в инертной атмосфере из представленных видов водорослей является достаточно широкий температурный диапазон от 220 °С до предельно допустимой температуры по отношению к реакционному сосуду, в котором протекает процесс пиролиза.

### Список использованной литературы

1. S. Ulgiati. A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels: When «Green» Is Not Enough / S. Ulgiati // *CRC Crit. Rev. Plant. Sci.*, 2001. – Vol. 20., № 1. – P. 71–106.
2. A. Demirbas. Importance of algae oil as a source of biodiesel / A. Demirbas, M. Fatih Demirbas // *Energy Convers. Manag.*, 2011. – Vol. 52, № 1. – P. 163–170.
3. D. Chiaramonti. Thermochemical conversion of microalgae: challenges and opportunities / D. Chiaramonti, M. Prussi, M. Buffi et al. // *Energy Procedia*, 2015. – Vol. 75. – P. 819–826.
4. E. Membere. Thermochemical characterization of brown seaweed, *Laminaria digitata* from UK shores / E. Membere, P. Sallis // *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2018. – Vol. 131. – P. 42–51.
5. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12.12.89 N 3683: дата введения 1991-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004802> (дата обращения: 09.05.2023). – Текст: электронный.
6. E. T. Kostas. Development of a bio-refinery process for the production of speciality chemical, biofuel and bioactive compounds from *Laminaria digitata* / D. A. White, D. J. Cook // *Algal Res.*, 2017. – Vol. 28. – P. 211–219.
7. A. A. Jazie. Hydrothermal liquefaction of *Fucus vesiculosus* algae catalyzed by H $\beta$  zeolite catalyst for Biocrude oil production / J. Haydary, S. A. Abed, M. F. Al-Dawody // *Algal Res.*, 2022. – Vol. 61. – 102596.