

**ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОЕ И КИНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ИЗ БИОМАССЫ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN****И.Н. Полина, М.В. Миронов, В.А. Белый**

Ирина Николаевна Полина\*, Михаил Валериевич Миронов

Кафедра Транспортно-технологические машины и оборудование, Сыктывкарский лесной институт (филиал) ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, ул. Ленина, 39, Сыктывкар, Российская Федерация, 167000  
E-mail: shamshina@rambler.ru\*, monolignol@mail.ru

Владимир Александрович Белый

Лаборатория физико-химических методов исследования, Институт химии Коми научного центра УрО РАН, ул. Первомайская, 48, Сыктывкар, Российская Федерация, 167000  
E-mail: skeyling@yandex.ru

*Проведено комплексное изучение процесса термического разложения топливных гранул из биомассы борщевика Сосновского, определены кинетические параметры процесса на основе термогравиметрического анализа в сравнении с образцом древесных пеллет из хвойной древесины. Биомасса борщевика Сосновского была собрана на территории села Вильгорт республики Коми, высушена до атмосферно-сухого состояния, измельчена до  $d_m < 0,25$  мм. В качестве образца сравнения были выбраны хвойные пеллеты производства ОАО «СеЛесПил» г. Сыктывкара Республики Коми. Определен элементный состав, содержание основных компонентов, величина теплового эффекта исходного растительного сырья в зависимости от степени запрессовки (10 и 20 кН), установлены особенности процесса термического разложения образцов. Кинетические исследования запрессованных при 10 кН образцов проводились в воздушной среде при скоростях нагрева 5, 10 и 15 °С/мин в температурном диапазоне от 25 до 1000 °С с использованием дифференциальных методов Фридмана и Озава-Флин-Уолла. Проведенные исследования позволили установить теплотехнические параметры топливных гранул, проанализировать особенности их термического разложения, а также оценить кинетические параметры процесса. Сравнительный анализ указанных характеристик пеллет и топливных гранул подтвердил возможность использования последних как самостоятельного энергетического топлива, так и в качестве добавки к пеллетам без существенного снижения характеристик, определяющих качество конечного продукта. Результаты представленных исследований можно использовать для разработки технологии и оборудования сжигания топливных гранул из биомассы борщевика Сосновского или пеллет комбинированного состава с целью рационального извлечения тепловой энергии.*

**Ключевые слова:** борщевик, топливные гранулы, элементный анализ, компонентный состав, термическое разложение, теплотворная способность, термогравиметрический анализ, кинетика, энергия активации, предэкспоненциальный множитель

**Для цитирования:**

Полина И.Н., Миронов М.В., Белый В.А. Термогравиметрическое и кинетическое исследование топливных гранул из биомассы *Heracleum Sosnowskyi* Manden. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 4. С. 15–20

**For citation:**

Polina I.N., Mironov M.V., Belyu V.A. Thermogravimetric and kinetic study of fuel pellets from biomass of *Heracleum Sosnowskyi* Manden. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [ChemChemTech]. 2021. V. 64. N 4. P. 15–20

## THERMOGRAVIMETRIC AND KINETIC STUDY OF FUEL PELLETS FROM BIOMASS OF *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN

I.N. Polina, M.V. Mironov, V.A. Belyy

Irina N. Polina\*, Mikhail V. Mironov

Department of Transport-Technological Machines and Equipment, Syktyvkar Forest Institute (branch) of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of S.M. Kirov Saint-Petersburg State Forest-technical University, Lenin st., 39, Syktyvkar, 167000, Russia  
E-mail: shamshina@rambler.ru\*, monolignol@mail.ru

Vladimir A. Belyy

Laboratory of Physical and Chemical Research Methods, Institute of Chemistry of Komi Scientific Center of Ural branch of RAS, Pervomayskaya st., 48, Syktyvkar, 167000, Russia  
E-mail: skeyling@yandex.ru

*The comprehensive study of the process of thermal decomposition of fuel pellets from *Heracleum Sosnowskyi* biomass was carried out. Kinetic parameters of the process were determined based on thermo-gravimetric analysis in comparison with a sample of wood pellets from coniferous wood. The biomass of *heracleum Sosnowskyi* was collected in the village of Vylgort, Komi Republic, dried to atmospheric-dry state, ground to mean diameter  $d_m < 0.25$  mm. The elemental composition, the content of the main components, the value of the thermal effect of the initial plant raw materials are determined. The features of the thermal decomposition of samples are established. Kinetic studies of samples pressed at 10 kN were carried out in air environment at heating rate of 5, 10 and 15 °C/min in the temperature range from 25 to 1000 °C using differential methods of Friedman and Ozawa-Flyn-Wall. Comparative analysis of softwood pellets and fuel pellets of hogweed *Sosnowskyi* confirmed the possibility of using the latter as an independent energy fuel, and as an additive to pellets without significantly reducing their quality characteristics. The results of the presented studies can be used to develop technology and equipment for burning fuel pellets for the purpose of rational extraction of thermal energy.*

**Key words:** hogweed *Sosnowskyi*, fuel pellets, elemental analysis, main components content, thermal decomposition, thermal effect, thermogravimetric analysis, kinetic, activation energy, pre exponential factor

### ВВЕДЕНИЕ

Высокая жизнеспособность вида и тенденция 90-х гг. прошлого века повсеместного снижения посевных площадей создали предпосылки для широкого распространения борщевика Сосновского. Предполагаемые перспективы использования не дали положительных результатов, а методы борьбы на сегодняшний день требуют серьезного комплексного подхода, реализация которого ограничена множеством факторов [1, 2]. Решение проблемы с позиции использования растительного сырья для получения полезного продукта также находится пока в стадии разработки [3, 4]. При этом площади, занимаемые видом, ежегодно увеличиваются примерно на 10%, занимая в основном обочины дорог, заброшенные поля, лесные опушки и периметр возделываемых полей. Такая ситуация с распространением борщевика характерна не только для России, но и для других государств [5-7].

На территории г. Сыктывкара борщевиком было занято около 66 га по данным 2016 г [8] и 248 га в 2018 г [9]. Все это, с одной стороны, является толчком для поиска возможных перспективных решений, а с другой диктует необходимость использовать уже имеющиеся наработки.

Одним из возможных вариантов решения задачи может стать производство топливных гранул, тем более, что экологически обоснованный устойчивый рост спроса на пеллеты в совокупности с тенденцией снижения нагрузки на лесную отрасль способствуют развитию данного тренда. Перспектива использования борщевика в качестве энергетического сырья подкрепляется с одной стороны высокими показателями биомассы (500-1200 ц/га) и возможностью длительного использования плантации (10-15 лет) [10], а с другой – показателями его теплотворной способности.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Борщевик Сосновского был заготовлен в селе Выльгорт, высушен до атмосферно-сухого состояния, измельчен и расфракционирован. Анализ

образцов  $d_m < 0,25$  мм проводили методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), широко применяемый для изучения потенциала производства синтетических топлив из растительной биомассы [11, 12], рациональной утилизации отходов переработки растительного сырья [13, 14], а также при исследованиях возможностей создания новых материалов с применением целлюлозы [15]. Анализ проводили при степени запрессовки 10 и 20 кН в трехкратной повторности. В качестве объекта сравнения использовали пеллеты из 100% хвойной древесины. Показатель теплотворной способности оценивали по площади пиков термограммы, ограниченной температурным интервалом 200-500 °С для образцов из биомассы борщевика Сосновского (ББС) и 200-575 °С для образцов из древесных пеллет (ДП). Также оценивалось содержание влаги в образцах и количество золы. Величина низшей теплоты сгорания была определена с помощью быстрогодействующего калориметра сжигания БСК-2х.

На основании данных элементного состава образцов ББС были рассчитаны рабочая и сухая беззольная массы [16] (табл. 1).

Таблица 1

Показатели образца ББС  
Table 1. Indicators of sample

элемент, %	показатель	
	рабочая масса	сухая беззольная (горючая) масса
C	43,07±2,33	48,69
H	5,46±0,42	6,17
S	0,06±0,006	0,07
O	39,21	44,33
N	0,65±0,07	0,73
A	6,46±1,6	–
W	5,09±0,9	–
Σ	100	100

Примечание: Показатели A и W определены по результатам термогравиметрического анализа

Note: Indicators A and W are determined according to the results of thermogravimetric analysis

По методике [16] была рассчитана величина низшей теплоты сгорания:

$$Q_H = 339,4 \cdot W_C + 1257 \cdot W_H - 108,9 \cdot [W_O + W_N - W_S] - 25,1 \cdot [9 \cdot W_H + W_W] = 15785,79 \quad \text{кДж/кг}$$

Это значение является типичным для лигно-целлюлозного сырья [17], для большинства древесных материалов составляет 15-20 МДж/кг. Оценка показателя с применением калориметра БСК-2х показала: для образца ББС 19,0 МДж/кг, для образца ДП 19,5 МДж/кг.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

## Термогравиметрическое исследование

Анализ термограмм образцов ББС показал высокую сходимость результатов 8,2 МДж/кг,  $\Delta = \pm 0,1$  МДж/кг, при этом степень запрессовки оказывает незначительное влияние на величину теплотворной способности ( $\Delta = \pm 0,5$  МДж/кг), поэтому дальнейшие исследования проводились только при запрессовке 10 кН. Образец ББС показал более высокий показатель теплотворной способности (8,2 МДж) по сравнению с образцом ДП (7 МДж) при сопоставимом содержании основных компонентов: целлюлозы в образце ББС – 39,65%, лигнина – 20,35%, экстрактивных веществ – 16,3%, минеральных веществ – 4,46% [4]. В древесине ели содержится 44,2% целлюлозы, 28,6% лигнина [18]. При этом максимальный тепловой эффект при сгорании образца ББС наблюдается на 83-й мин., тогда как для образца ДП – только на 105-й мин.. Сравнительный анализ представлен в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ термограмм образцов  
Table 2. Comparative analysis of sample thermograms

параметры	образец	
	ББС	ДП
потеря массы при испарении воды, %	3,1	3,4
потеря массы при горении органических соединений, %	57,5	52,3
потеря массы при горении угля, %	30,4	43,3
содержание золы, %	8,1	0,9
тепловой эффект, Дж/г	8201	7081
максимальный тепловой поток, °t	435	533

Представленные данные свидетельствуют о сопоставимой величине теплового эффекта образца ББС, реализуемого при более низкой температуре, и о наличии более высокого содержания минеральных примесей.

## Кинетическое исследование

Кинетический анализ проводился на основе данных термогравиметрических зависимостей разложения образцов ББС, запрессованных с усилием 10 кН при различных скоростях нагрева. Для определения кинетических параметров процесса разложения образцов были использованы дифференциальный метод Фридмана и Озава-Флин-Уолла (табл. 3, рисунок) [17]. Сравнительный анализ результатов исследования с данными для пеллет из ели [19] и рисовой лузги [3] показал, что образец ББС имеет существенно более низкие значения энергии активации, что указывает на наличие более слабого межмолекулярного взаимодействия в молекулах ББС и, следовательно, требует меньших энергетических затрат на разрушение молекулярных связей.

Таблица 3

Результаты кинетического анализа образцов ББС  
Table 3. Results of kinetic analysis of BHS samples

$\alpha$ , %	метод Фридмана		метод Озава-Флинн-Уолла	
	EA, кДж/моль	log A, 1/с	EA, кДж/моль	log A, 1/с
2	72	17	67	17
5	67	16	69	17
10	61	15	65	16
20	53	13	64	15
30	49	12	58	13
40	49	11	58	13
50	42	9	49	11
60	16	4	34	8
70	10	2	24	5
80	7	1	19	4
90	4	1	15	3
среднее	39	9	47	11

Примечание:  $\alpha$  – степень превращения образца; EA – энергия активации

Note:  $\alpha$  is the degree of conversion of the sample; EA - activation energy

Анализ данных табл. 3 в сравнении с данными для стандартных еловых пеллет и рисовой лузги [20] показал, что образец ББС имеет существенно более низкие значения энергии активации, что указывает на наличие более слабого межмолекулярного взаимодействия в молекулах ББС.

Анализ зависимостей (рисунок) указывает, что процесс выхода летучих веществ протекает в две стадии, т.к. присутствуют две группы параллельных прямых с близкими значениями энергии активации.

### ВЫВОДЫ

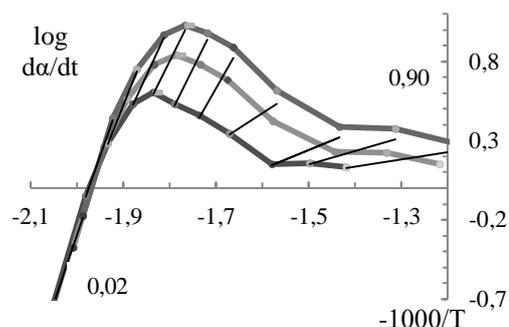
Тепловой эффект при сжигании топливных гранул из биомассы борщевика Сосновского имеет сопоставимые значения с пеллетами из хвойной древесины.

### ЛИТЕРАТУРА

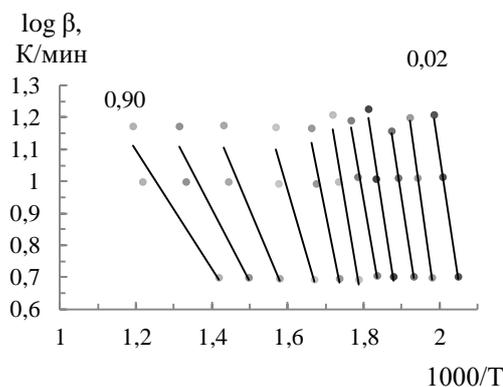
1. Лунева Н.Н. Борщевик Сосновского в России: современный статус и актуальность его скорейшего подавления. *Вестн. защиты растений*. 2013. № 1. С. 29-43.
2. Лунева Н.Н., Конечная Г.Ю., Смекалова Т.Н., Чухина И.Г. О статусе вида борщевик Сосновского *Heracleum Sosnowskyi* Manden на территории РФ. *Вестн. защиты растений*. 2018. № 3. С. 10-15. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-3(97)-10-15.
3. Cheila G. Mothe, Iara C. de Miranda Decomposition through pyrolysis process of coconut fiber and rice husk and determination of kinetic parameters according isoconversional methods. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2018. N 131. 601–609. DOI: 10.1007/s10973-017-6377-2.

Топливные гранулы из биомассы борщевика Сосновского имеют более низкие показатели энергии активации по сравнению с пеллетами из ели.

Результаты исследований могут быть использованы для разработки технологии и оборудования сжигания топливных гранул из борщевика Сосновского или пеллет комбинированного состава.



а



б

Рис. Результаты кинетического анализа образца ББС на основе дифференциального метода Фридмана (а) и Озава-Флинн-Уолла (б)  $d\alpha/dt$  – скорость превращения образца;  $-1000/T$  – обратная температура;  $\beta = dT/dt$  – скорость нагрева образца;  $1000/T$  – обратная температура

Fig. Results of kinetic analysis of BHS sample based on the differential methods of Friedman (a) and Ozawa-Flynn-Wall (b)  $d\alpha/dt$  – sample conversion rate;  $-1000/T$  – reverse temperature;  $\beta = dT/dt$  – sample heating rate;  $1000/T$  – reverse temperature

### REFERENCES

1. Luneva N.N. Heracleum Sosnowskyi in Russia: present status and relevance of its fastest suppression. *Vestn. Zashch. Rasteniy*. 2013. N 1. P. 29-43. (in Russian).
2. Luneva N.N., Konechnaya G.Yu., Smekalova T.N., Chukhina I.G. On status of Heracleum Sosnowskyi manden on the territory of Russian Federation. *Vestn. Zashch. Rasteniy*. 2018. N 3. P. 10-15 (in Russian). DOI: 10.31993/2308-6459-2018-3(97)-10-15.
3. Cheila G. Mothe, Iara C. de Miranda Decomposition through pyrolysis process of coconut fiber and rice husk and determination of kinetic parameters according isoconversional methods. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2018. N 131. 601–609. DOI: 10.1007/s10973-017-6377-2.

4. Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Дегтярев Р.В., Тарасов Н.И. Термоокислительное разложение древесины различного эксплуатационного возраста. *Лесной вестн.* 2010. № 1. С. 115-124.
5. Chen J., Fan X., Jiang B., Mub L., Yao P., Yin H., Song X. Pyrolysis of oil-plant wastes in a TGA and a fixed-bed reactor: Thermochemical behaviors, kinetics, and products characterization. *Biores. Technol.* 2015. N 192. 592–602. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.05.108.
6. Pysek P. *Heracleum mantegazzianum* in the Czech Republic: dynamics of spreading from the historical perspective. *Folia Geobotan. et Phytotaxon.* 1991. N 26. V. 4. P. 439-454. DOI: 10.1007/BF02912779.
7. Abdullah S., Tajuddin R.M. Thermal Gravimetric Analysis (Tga) of Kenaf Core and Its Cellulose for Membrane Fabrication. *InCIEC.* 2015. P. 667-677. DOI: 10.1007/978-981-10-0155-0\_56.
8. Далькэ И.В., Чадин И.Ф., Захожий И.Г. Сбор и анализ данных о распространении борщевика Сосновского на территории республики Коми. Сб. тр. Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Радуга-ПРЕСС. 2016. С. 11-14.
9. Далькэ И.В., Захожий И.Г., Чадин И.Ф. Распространение борщевика Сосновского и мероприятия по его ликвидации на территории МО ГО «Сыктывкар» (Республика Коми). *Вестн. ИБ Коми НЦ УрО РАН.* 2018. № 3. С. 2-13. DOI: 10.31140/j.vestnikb.2018.3(205).1.
10. Бабела А.В., Беляева Р.А., Безносиков В.А., Втурин Г.М., Волкова Г.А., Головки Т.К., Голубева А.П., Дулесова К.Н., Иевлев Н.И., Котелина Н.С., Куренкова С.В., Мишуров В.П., Пономарь Н.И., Портнягина Н.В., Рубан Г.А., Семенчин С.И., Семьяшкин Г.М., Скупченко Л.А., Табаленкова Г.Н., Урнышева Т.Г., Фролов Ю.М., Хмелинин И.Н., Чеботарев Н.Т., Чупров В.М., Швецова В.М., Шморгунов Г.Т. Агробиологические ресурсы Республики Коми и их рациональное использование. Сыктывкар: изд-во Коми НЦ УрО РАН. 1999. 229 с.
11. Caffrey J.M., Barrett P.R.F., Ferreira M.T., Moreira I.S., Murphy K.J., Wade P.M. Phenology and long-term control of *Heracleum mantegazzianum*. *Hydrobiologia.* 1999. N 415. P. 223–228. DOI: 10.1023/A:1003854221931.
12. Niinikoski P., Korpelainen H. Population genetics of the invasive giant hogweed (*Heracleum* sp.) in a northern European region. *Plant ecology.* 2015. N 216. P. 1155–1162. DOI: 10.1007/s11258-015-0498-0.
13. Gou X., Zhao X., Singh S., Qiao D. Tri-pyrolysis: A thermo-kinetic characterisation of polyethylene, cornstalk, and anthracite coal using TGA-FTIR analysis. *Fuel.* 2019. N 252. 393–402. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.03.143.
14. Cai J., Li B., Chen C., Wang J., Zhao M., Zhang K. Hydrothermal carbonization of tobacco stalk for fuel application. *Biores. Technol.* 2016. N 220. P. 305–311. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.08.098.
4. Serkov B.B., Sivenkov A.B., Degtyarev R.V., Tarasov N.I. Thermooxidative destruction of wood with different operating age. *Lesnoy Vestn.* 2010. N 1. P. 115-124 (in Russian).
5. Chen J., Fan X., Jiang B., Mub L., Yao P., Yin H., Song X. Pyrolysis of oil-plant wastes in a TGA and a fixed-bed reactor: Thermochemical behaviors, kinetics, and products characterization. *Biores. Technol.* 2015. N 192. 592–602. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.05.108.
6. Pysek P. *Heracleum mantegazzianum* in the Czech Republic: dynamics of spreading from the historical perspective. *Folia Geobotan. et Phytotaxon.* 1991. N 26. V. 4. P. 439-454. DOI: 10.1007/BF02912779.
7. Abdullah S., Tajuddin R.M. Thermal Gravimetric Analysis (Tga) of Kenaf Core and Its Cellulose for Membrane Fabrication. *InCIEC.* 2015. P. 667-677. DOI: 10.1007/978-981-10-0155-0\_56.
8. Dalke I.V., Chadin I.F., Zahozhy I.G. Collection and analysis of data on the distribution of hogweed *Sosnovskyi* on the territory of the Komi Republic. *Biodiagnostika sosnoyaniya prirodnyh i prirodno-tekhnogennyh sistem: materialy XIV Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* Kirov: Raduga-Press. 2016. P. 11-13 (in Russian).
9. Dalke I.V., Zahozhy I.G., Chadin I.F. Distribution of hogweed *Sosnovsky* and measures to eliminate it on the territory of the "Syktyvkar" (Komi Republic). *Vestn. IB Komi NC UrO RAN.* 2018. N. 3. P. 2-13 (in Russian). DOI 10.31140/j.vestnikb.2018.3(205).1.
10. Babela A.V., Belyeva R.A., Beznosikov V.A., Vturin G.M., Volkova G.A., Golovko T.K., Golubeva A.P., Dulesova K.N., Ievlev N.I., Kotelina N.S., Kurenkova S.V., Mishurov V.P., Ponomar N.I., Portnyagina N.V., Ruban G.A., Semenchin S.I., Semyashkin G.M., Skupchenko L.A., Tabalenkova G.N., Urnysheva T.G., Frolov U.M., Xmelinin I.N., Chebotarev N.T., Chuprov V.M., Shvezova V.M., Shmorgunov G.T. Agrobiological resources of the Komi Republic and their rational use. *Syktyvkar: Komi NC UrO RAN.* 1999. 229 p. (in Russian).
11. Caffrey J.M., Barrett P.R.F., Ferreira M.T., Moreira I.S., Murphy K.J., Wade P.M. Phenology and long-term control of *Heracleum mantegazzianum*. *Hydrobiologia.* 1999. N 415. P. 223–228. DOI: 10.1023/A:1003854221931.
12. Niinikoski P., Korpelainen H. Population genetics of the invasive giant hogweed (*Heracleum* sp.) in a northern European region. *Plant Ecology.* 2015. N 216. P. 1155–1162. DOI: 10.1007/s11258-015-0498-0.
13. Gou X., Zhao X., Singh S., Qiao D. Tri-pyrolysis: A thermo-kinetic characterisation of polyethylene, cornstalk, and anthracite coal using TGA-FTIR analysis. *Fuel.* 2019. N 252. 393–402. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.03.143.
14. Cai J., Li B., Chen C., Wang J., Zhao M., Zhang K. Hydrothermal carbonization of tobacco stalk for fuel application. *Biores. Technol.* 2016. N 220. P. 305–311. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.08.098.

15. **Junge X., Hunziker M., Bauer N., Arnberger A., Olschewski R.** Invasive alien species in Switzerland: Awareness and preferences of experts and the public. *Environ. Manag.* 2019. N 63. P. 80–93. DOI: 10.1007/s00267-018-1115-5.
16. **Белουσое В.Н., Смородин С.Н., Смирнова О.С.** Топливо и теория горения. Ч.1. Топливо. СПб.: СПбГТУРП. 2011. 84 с.
17. **Марьяндышев П.А., Чернов А.А., Любов В.К.** Анализ термогравиметрических данных различных видов древесины. *Химия твердого топлива*. 2015. № 2. С. 59-64. DOI: 10.7868/S0023117715020085.
18. **Черных Е.** Злостный враг полей борщевик способен накормить и обогреть человечество. *Комсомольская правда*. URL: <https://www.komi.kp.ru/daily/26723.7/3748614/> (дата обращения: 30.01.2018).
19. **Марьяндышев П.А., Чернов А.А., Любов В.К.** Анализ термогравиметрических и кинетических данных различных видов древесного биотоплива Северо-западного региона Российской Федерации. *Изв. вузов. Лесной журн.* 2016. № 1. С. 167-182. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.167.
20. **Апайдин-Варол Е., Узун В.В., Онал Е., Путун А.Е.** Synthetic fuel production from cottonseed: Fast pyrolysis and a TGA/FT-IR/MS study. *J. Analyt. Appl. Pyrol.* 2014. N 105. 83–90. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.10.006.
15. **Junge X., Hunziker M., Bauer N., Arnberger A., Olschewski R.** Invasive alien species in Switzerland: Awareness and preferences of experts and the public. *Environ. Manag.* 2019. N 63. P. 80–93. DOI: 10.1007/s00267-018-1115-5.
16. **Belousov, V.N., Smorodin S.N., Smirnova O.S.** The fuel and theory of combustion. Part 1. *Fuel*. SPb.: SPbGTURP. 2011. 84 p. (in Russian).
17. **Mariandyshchev P.A., Chernov A.A., Lyubov V.K.** Analysis of thermogravimetric data for different forms of wood. *Khim. Tverdogo Topлива*. 2015. N. 2. P. 59-64 (in Russian). DOI: 10.7868/S0023117715020085.
18. **Chernych E.** The malicious enemy of the fields hogweed is able to feed and warm humanity. *Komsomolskaya Pravda*. URL: <https://www.komi.kp.ru/daily/26723.7/3748614/>. (date accessed: 30.01.2018) (in Russian).
19. **Mariandyshchev P.A., Chernov A.A., Lyubov V.K.** Thermogravimetric and kinetic data analysis of wood biofuels in the North-Western region of the Russian Federation. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Lesnoy Zhurn.* 2016. N 1. P. 167-182 (in Russian). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.167.
20. **Apaydin-Varol E., Uzun B.B., Onal E., Putun A.E.** Synthetic fuel production from cottonseed: Fast pyrolysis and a TGA/FT-IR/MS study. *J. Analyt. Appl. Pyrol.* 2014. N 105. 83–90. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.10.006.

*Поступила в редакцию 17.11.2020  
Принята к опубликованию 25.02.2021*

*Received 17.11.2020  
Accepted 25.02.2021*