

EDN: VBDDDY

УДК 662.62

Energy Use of Invasive Plants on the Example of Sosnovsky's Hogweed Biomass

Viktor K. Lyubov,
Jurij V. Bulygin* and Pavel D. Alekseev*
*Northern (Arctic) Federal University
named after M. V. Lomonosov
Arkhangelsk, Russian Federation*

Received.14.09.2024, received in revised form. 08.01.2025, accepted.11.02.2025

Abstract. The problem of uncontrolled spread of Sosnovsky hogweed is relevant for many subjects of the Russian Federation. Considerable resources are being spent on combating this problem. The use of hogweed in various industries can open up good prospects. One of the possible options for such an application may be the energetic use of hogweed after preliminary drying in natural conditions and crushing in a crusher. However, a more effective direction of its energy use is the combustion of fuel pellets made from its biomass. The purpose of the study is to study the thermal properties of Sosnovsky hogweed, its elemental composition and the composition of ash formed during its combustion. The elemental composition and thermal characteristics of the biomass of Sosnovsky hogweed, as well as its ash, have been studied. As a result of the analysis of the elemental composition of the samples, it was found that the content of oxides of alkaline earth and alkali metals (CaO, Na₂O, K₂O), which determine the polluting properties of ash, exceeds the limit values by more than 3 times. The lowest heat of combustion per combustible mass is 18,809 MJ/kg, ash content per dry mass is 7.7 %. The results of the study showed that the thermal characteristics of the plant biomass of Sosnovsky hogweed make it possible to consider it as a possible energy fuel, however, the elemental composition of the ash formed during its combustion makes it possible to predict high polluting properties of focal residues.

Keywords: biomass, Sosnovsky's hogweed, thermal engineering characteristics, solid fuel, fuel pellets, elemental composition.

Acknowledgements. The authors would like to thank the Center for the Collective Use of Scientific Equipment «Arctic» for conducting research on the XRF-1800 X-ray fluorescence spectrometer and the Euro EA-3000 analyzer.

Citation: Lyubov V.K., Bulygin J.V., Alekseev P. D. Energy Use of Invasive Plants on the Example of Sosnovsky's Hogweed Biomass. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2025, 18(2), 169–175. EDN: VBDDDY



Энергетическое использование инвазионных растений на примере биомассы борщевика Сосновского

В. К. Любов, Ю. В. Булыгин, П. Д. Алексеев
*Северный (Арктический) федеральный университет
им. М. В. Ломоносова
Российская Федерация, Архангельск*

Аннотация. Проблема неконтролируемого распространения борщевика Сосновского является актуальной для многих субъектов Российской Федерации. На борьбу с данной проблемой расходуются значительные ресурсы. Использование борщевика в разных отраслях промышленности может открыть хорошие перспективы. Одним из возможных вариантов такого применения может стать энергетическое использование борщевика после предварительной подсушки в естественных условиях и измельчения в дробилке. Однако более эффективным направлением его энергетического использования является сжигание топливных гранул, изготовленных из его биомассы. Целью исследования является изучение теплотехнических свойств борщевика Сосновского, его элементного состава и состава золы, образующейся при его сгорании. Исследован элементный состав и теплотехнические характеристики биомассы борщевика Сосновского, а также его золы. В результате анализа элементного состава образцов установлено, что содержание оксидов щелочноземельных и щелочных металлов (CaO, Na₂O, K₂O), определяющих загрязняющие свойства золы, более чем в 3 раза превышает предельные значения. Низшая теплота сгорания на горючую массу 18,809 МДж/кг, зольность на сухую массу 7,7 %. Полученные результаты исследования показали, что теплотехнические характеристики растительной биомассы борщевика Сосновского позволяют рассматривать его как возможное энергетическое топливо, однако элементный состав золы, образующейся при его сгорании, позволяет прогнозировать высокие загрязняющие свойства очаговых остатков.

Ключевые слова: биомасса, борщевик Сосновского, теплотехнические характеристики, твердое топливо, топливные гранулы, элементный состав.

Благодарности. Авторы выражают благодарность центру коллективного пользования научным оборудованием “Арктика” за проведение исследований на рентгенофлуоресцентном спектрометре XRF-1800 и анализаторе Euro EA-3000.

Цитирование: Любов В. К. Энергетическое использование инвазионных растений на примере биомассы борщевика Сосновского / В. К. Любов, Ю. В. Булыгин, П. Д. Алексеев // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2025, 18(2). С. 169–175. EDN: VBDDDY

Введение

В современном мире вопрос о поиске альтернативных источников энергии становится всё более актуальным. Запасы традиционных ресурсов, таких как нефть, газ и уголь, не только истощаются, но и их энергетическое использование оказывает негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим возникает необходимость поиска новых источников энергии, которые будут более экологичными и устойчивыми.

Одним из перспективных направлений в этой области является использование растительной биомассы. Растительная биомасса представляет собой органические материалы, полученные из растений, таких как древесина, солома, отходы сельскохозяйственного производства и другие. Также в качестве растительной биомассы можно использовать инвазивные и сорные растения.

Такой подход имеет ряд преимуществ: он позволяет сохранить целостность лесных массивов и способствует контролю распространения этих растений.

Проблема распространения борщевика Сосновского стала актуальной в России и некоторых других странах в конце XX века. Это растение, которое изначально было завезено с Кавказа как кормовая культура для скота, оказалось очень агрессивным и быстро распространяющимся [1, 2].

Борщевик Сосновского имеет ряд особенностей, которые способствуют его быстрому распространению. Во-первых, он обладает высокой репродуктивной способностью, производя большое количество семян. Во-вторых, семена могут оставаться в почве на протяжении нескольких лет, сохраняя свою жизнеспособность. В-третьих, борщевик может расти на различных типах почв и в разных климатических условиях.

Проблема с борщевиком Сосновского заключается не только в его быстром распространении, но и в том, что это растение представляет опасность для человека. Сок борщевика содержит вещества, которые при контакте с кожей могут вызывать сильные ожоги. Кроме того, борщевик занимает большие площади земли, вытесняя другие растения и нарушая экосистему.

В настоящее время проблема появления и распространения борщевика Сосновского не актуальна только для 16 субъектов Федерации, но в остальных регионах ситуация требует пристального внимания. Для восьми же регионов уровень разрастания борщевика оценивается как высокий. При этом в долгосрочной перспективе борщевик может занять еще большие территории (в 31 субъекте более $\frac{1}{2}$ территории, а в 7 субъектах занять до 80 % территории) [3]. На рис. 1 представлена карта распространения борщевика Сосновского по субъектам Российской Федерации.

В 2023 году расходы Костромской области на борьбу с борщевиком составили более 17 млн рублей, у Ярославской области этот показатель составил 16,2 млн рублей, Владимирской – 12,5 млн руб. [4].

Были проведены разные исследования, связанные с применением борщевика. Например, изучалась возможность получения из него технической целлюлозы [5]. Также рассматривалось его использование в качестве добавки к бетонному композиту [6] и для производства теплоизоляционных плит на основе модифицированных стеблей борщевика [7].

Ещё одним потенциальным направлением использования борщевика может быть изготовление топливных гранул.

Методы исследования

Для определения теплотехнических характеристик борщевика Сосновского были собраны образцы данного растения (место сбора г. Архангельск). Собранные образцы были высушены естественным образом до атмосферно-сухого состояния и измельчены. Образцы включали в себя элементы стебля, листьев, соцветия (зонтика) и плодов (семян). На рис. 2 представлен подготовленный для проведения исследований образец топлива из борщевика Сосновского. Отбор и формирование проб, их сокращение, измельчение и деление было выполнено по методике, действующей по ГОСТ 33255–2015 «Биотопливо твердое. Методы подготовки проб».

Далее были выполнены исследования теплотехнических характеристик биотоплива и элементного состава борщевика и золы, образующейся при его сжигании. Изучение элементного состава проводилось методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Применяемый спектрометр EDX-8000 идентифицирует металлы и другие элементы объектов исследования путем

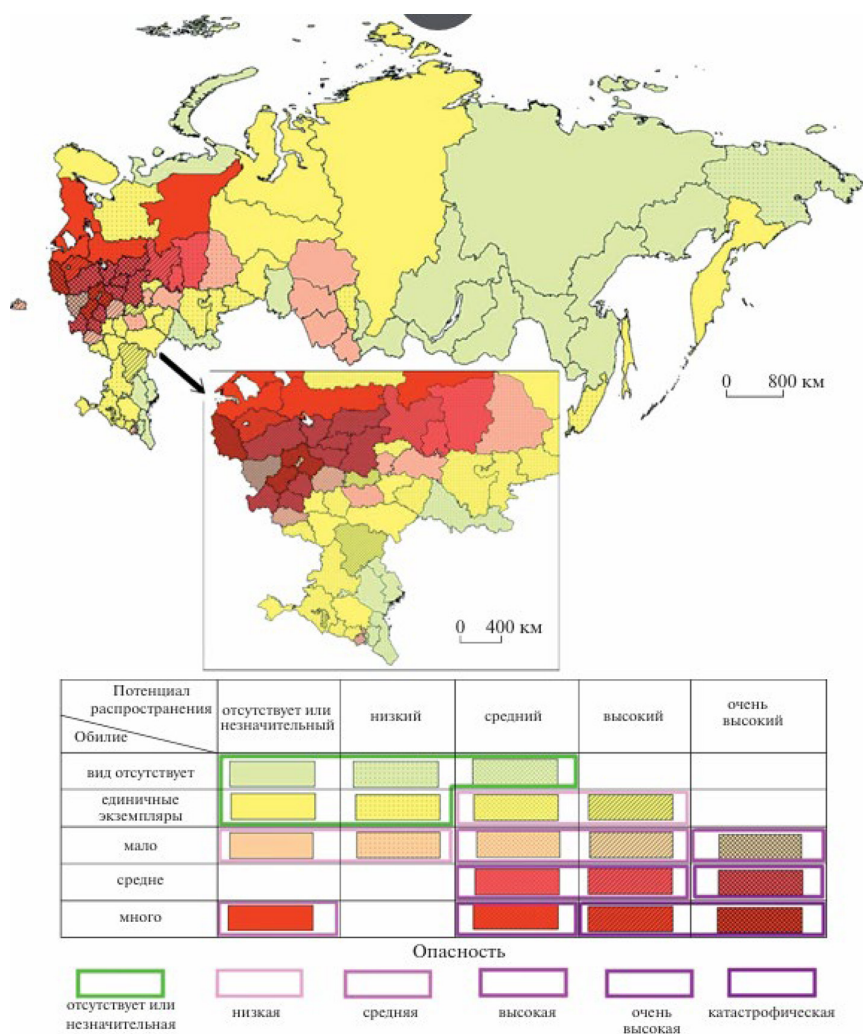


Рис. 1. Карта распространения борщевика Сосновского по субъектам Российской Федерации [3]

Fig. 1. Map of the distribution of Sosnovsky's hogweed in the subjects of the Russian Federation

детектирования их энергетических сигнатур. Содержание водорода, азота и углерода определялось с помощью анализатора EuroVector EA-3000. Полученные результаты (на сухую массу) сведены в табл. 1.

Результаты исследования

В соответствии с рекомендациями [8], топлива с содержанием в золе $\text{CaO} \geq 13.0\%$ относятся к сильно загрязняющим. Анализ результатов исследования элементного состава золы борщевика показал, что содержание $\text{CaO} = 49.2\%$, более чем в 3 раза превышает пороговое значение. Содержание окислов щелочных металлов, которые имеют температуру испарения $800\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$ и вызывают образование прочных отложений на элементах топочных камер котлов, в исследованной золе составило $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 9.77\%$, что более чем в 3 раза превышает предельные значения.



Рис. 2. Образец топлива из борщевика Сосновского

Fig. 2. A sample of fuel from Sosnovsky's hogweed

Таблица 1. Результаты исследований элементного состава борщевика и его золы

Table 1. The results of studies of the elemental composition of hogweed and its ash

Показатели	Борщевик, %	Показатели	Зола борщевика, %
S	0,052	SO ₃	1,02
Fe	0,032	Fe ₂ O ₃	1,08
K	0,834	K ₂ O	6,51
Ca	1,38	CaO	49,2
Cu	0,003	CuO	0,025
Si	0,133	SiO ₂	4,29
Na	0,567	Na ₂ O	3,26
Mg	0,257	MgO	9,32
Al	0,079	Al ₂ O ₃	1,27
Cr	0,001	Cr ₂ O ₃	0,013
Mn	0,003	MnO	0,061
Zn	0,005	ZnO	0,112
Sr	0,004	SrO	0,069
Cl	0,639	Cl	1,03
Ti	0,006	TiO ₂	0,168
O	45,3	O	20,0
N	1,09	N	<0,1
C	42,2	C	2,09
H	7,29	H	0,167

Таблица 2. Теплотехнические характеристики биомассы борщевика Сосновского

Table 2. Thermal engineering characteristics of Sosnovsky's hogweed biomass

Величина	Ед. измер.	Аналитическая масса	Сухая масса	Горючая масса
Влажность аналитическая	%	21,93		
Зольность	%	6,01	7,70	-
Теплота сгорания низшая	МДж/кг	13,002		18,809
Теплота сгорания высшая	МДж/кг			20,598
Сера общая	%	0,04	0,05	0,06
Водород	%	5,69	7,29	7,90
Выход летучих веществ	%	56,45	72,31	78,34
Коксовый остаток		Порошкообразный		
Эквивалент	-		0,443	

Полученные результаты позволяют прогнозировать высокие загрязняющие свойства очаговых остатков, которые будут образовываться при сжигании борщевика Сосновского.

Теплотехнические характеристики борщевика определялись согласно ГОСТ Р 54186–2010, ГОСТ Р 54211–2010, ГОСТ Р 54185–2010 и ГОСТ Р 54191–2010, а удельная теплота сгорания – с помощью калориметра IKA C 2000 basic Version 2 с жидкостным криотермостатом LOIP FT-216–25 в соответствии с ISO 1928. Основные результаты исследований приведены в табл. 2, из которых можно сделать вывод, что данную растительную биомассу можно рассматривать как высокорекреационное топливо с невысокой зольностью, с более высоким содержанием водорода и серы, чем у древесных пород, низшая удельная теплота сгорания которой на горючую массу несколько меньше, чем у древесины тополя [9].

Выводы

Проведенные эксперименты показали, что борщевик хорошо измельчается в дробилке, оборудованной ножами, после предварительной подсушки в естественных условиях. Значительное повышение его энергетических свойств можно получить за счет его гранулирования. Кроме того, необходимо учитывать, что для повышения эффективности энергетического использования борщевика Сосновского возможно его сжигание в смеси с топливной щепой или кородревесным топливом, используя в первом случае водотрубные котлы со слоевыми топками [10] или котлоагрегаты, оборудованные адиабатическими топками с наклонно-переталкивающими решетками, во втором случае.

Однако оптимальное соотношение между компонентами данных топливных смесей должно быть определено в процессе промышленно-эксплуатационных испытаний.

Список литературы / References

[1] Жук А. А., Одинаевс Ф. Методы борьбы с борщевиком и возможность их применения в Калининградской области. *Физическая география, геоэкология и океанология*, 2022, 75–83 [Zhuk A. A., Odinaevs F. Methods of combating hogweed and the possibility of their

application in the Kaliningrad region. *Physical geography, geoecology and oceanology*, 2022, 75–83 (in Russian)].

[2] Афонин А.Н., Лунева Н.Н., Лис Ю.С., Коцарева Н.В. Эколого-географический анализ распространения и встречаемости борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) в связи со степенью аридности территорий и его картирование для европейской территории России. *Экология*, 2017, 1, 66–69 [Afonin A.N., Luneva N.N., Lis Ju.S., Kocareva N.V. Ecological and geographical analysis of the distribution and occurrence of *Sosnowski's hogweed* (*Heraculum sosnowskyi* Manden) in connection with the degree of aridity of territories and its mapping for the European territory of Russia. *Ecology*, 2017, 1, 66–69 (in Russian)].

[3] Петрова И.Ф., Королева Е.Г. Оценка опасности распространения борщевика Сосновского в России. *Известия РАН*, 2022, 86(5), 788–798 [Petrova I. F., Koroleva E. G. Assessment of the danger of the spread of *Sosnowski's hogweed* in Russia. *News of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical*, 2022, 86(5), 788–798 (in Russian)].

[4] *Российская газета* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rg.ru/2023/08/01/reg-cfo/borshchevik-ne-sdaetsia.html> – Заглавие с экрана. [*Rossiyskaya Gazeta* [Electronic resource] – Access: <https://rg.ru/2023/08/01/reg-cfo/borshchevik-ne-sdaetsia.html>].

[5] Вураско А.В., Агеев М.А., Сиваков В.П. Получение и свойства технической целлюлозы из борщевика окислительно-органо-растворителем способом. *Химия растительного сырья*, 2022, 1(1), 289–298 [Vurasko A. V., Ageev M. A., Sivakov V. P. Production and properties of technical cellulose from hogweed by the oxidative-organosolvent method. *Chemistry of plant raw materials*, 2022, 1(1), 289–298 (in Russian)].

[6] Коряковцева Т.А., Заборова Д.Д. Испытания экологического бетонного композита на основе растительной добавки и угольного фильтра. *Строительство и техногенная безопасность*, 2023, 30(82), 47–57 [Korjakovceva T. A., Zaborova D. D. Testing of an ecological concrete composite based on a vegetable additive and a carbon filter. *Construction and technogenic safety*, 2023, 30(82), 47–57 (in Russian)].

[7] Содомон М. Технология производства теплоизоляционных плит на основе модифицированных стеблей борщевика Сосновского. *Инженерный вестник Дона*, 2024, 4 [Sodomon M. Technology of production of thermal insulation boards based on modified stems of borscht of *Sosnovsky*. *Engineering Bulletin of the Don*, 2024, 4 (in Russian)].

[8] *Тепловой расчет котлов (нормативный метод)* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/SHARED/j/JANKOVSKY/education/Нормы.pdf>. – Заглавие с экрана [*Thermal calculation of boilers is a standard method* [Electronic resource] – Access: <https://portal.tpu.ru/SHARED/j/JANKOVSKY/education/Нормы.pdf>]

[9] Любов В.К., Попов А.Н., Алексеев П.Д. Оценка энергетического и экологического потенциала использования щепы тополя и ольхи серой. *Альтернативная энергетика и экология*, 2024, 4(421), 54–67 [Ljubov V. K., Popov A. N., Alekseev P. D. Assessment of the energy and environmental potential of using poplar and alder chips. *Alternative Energy and Ecology*, 2024, 4(421), 54–67 (in Russian)].

[10] Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденев В.И. *Энергетическое использование древесных отходов*, М.: Лесная промышленность, 1987, 224 с. [Golovkov S. I., Koperin I. F., Najdenov V. I. *Energy use of wood waste*, Moscow, 1987, 224 p. (in Russian)].