

Научная статья
УДК 614.715

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО)

Анна Сергеевна Ершова¹, Артем Вячеславович Артемов²,
Виктор Гаврилович Бурындин³, Виктория Денисовна Литовских⁴

¹⁻³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

⁴ Словацкий технический университет в Братиславе, Факультет Материалов
и технических технологий, базированный в Трнаве, Трнава, Словакия

¹ ershovaas@m.usfeu.ru

² artemovav@m.usfeu.ru

³ buryndinv@gmail.com

⁴ vika.litovski@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты расчёта и определения зоны распределения загрязняющих веществ, поступающих в приземный слой атмосферы с выбросами от установки термического обезвреживания растительных отходов. В качестве растительных отходов была рассмотрена биомасса борщевика Сосновского. Были определены качественные и количественные показатели маркерных загрязняющих веществ, образующихся в процессе сжигания рассматриваемого вида отхода. В качестве установки по сжиганию был рассмотрен инсинератор для уничтожения растительных отходов, указанный в банке данных о технологиях утилизации и обезвреживания отходов (открытые данные Росприроднадзора). Показано, что зоны влияния выбросов от термического обезвреживания биомассы борщевика Сосновского находятся в границах санитарно-защитной зоны, при условии данных выбросов на уровне технологических показателей (нормативов).

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязняющие вещества, термическое обезвреживание, растительные отходы, биомасса борщевика

Для цитирования: Экологический аспект термического обезвреживания растительных отходов (на примере борщевика Сосновского) / А. С. Ершова, А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, В. Д. Литовских // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 418–426.

Original article

THE ECOLOGICAL ASPECT OF THERMAL NEUTRALIZATION OF PLANT WASTE (USING THE EXAMPLE OF SOSNOVSKY HOGWEED)

Anna S. Ershova¹, Artyom V. Artyomov², Victor G. Buryndin³,
Victoria D. Litovskikh⁴

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

⁴ Slovak Technical University in Bratislava, Faculty of Materials and Technical Technologies, based in Trnava, Trnava, Slovakia

¹ ershovaas@m.usfeu.ru

² artemovav@m.usfeu.ru

³ buryndinv@m.usfeu.ru

⁴ vika.litovski@gmail.com

Abstract. The article presents the results of calculation and determination of the distribution zone of pollutants entering the ground layer of the atmosphere with emissions from the plant waste thermal treatment plant. The biomass of Sosnowsky's hogweed was considered as plant waste. Qualitative and quantitative indicators of marker pollutants formed during the combustion of the considered type of waste were determined. An incinerator for the destruction of plant waste specified in the database of waste utilization and treatment technologies (open data of Rosprirodnadzor) was considered as the combustion plant. It is shown that the zones of influence of emissions from the thermal treatment of Sosnowsky's hogweed biomass are within the boundaries of the sanitary protection zone, provided that these emissions are at the level of technological indicators (standards).

Keywords: atmospheric air, pollutants, thermal neutralization, plant waste, borscht biomass

For citation: Ekologicheskij aspekt termicheskogo obezvrezhivaniya rastitelnyh othodov (na primere borshchevika Sosnovskogo) [The ecological aspect of thermal neutralization of plant waste (using the example of Sosnovsky hogweed)] (2025) A. S. Ershova, A. V. Artyomov, V. G. Buryndin, V. D. Litovskikh. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 418–426. (In Russ).

Для уменьшения объемов образовавшихся отходов производства и потребления, а также с целью снижения уровня их негативного воздействия на

здоровье человека и окружающую природную среду, действующим российским природоохранным законодательством предусматривается такой вид деятельности, как обезвреживание отходов.

На сегодня реализация деятельности по термическому обезвреживанию отходов регулируется информационно-техническим справочником (ИТС) по наилучшим доступным технологиям (НДТ) ИТС 9–2020 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)».

Данным ИТС устанавливается, что основным экологическим аспектом, который оказывает непосредственное воздействие на окружающую природную среду, здоровье человека и среду его обитания при термическом обезвреживании (уничтожении) отходов, является поступление загрязняющих (вредных) веществ, поступающих через выбросы в атмосферный воздух.

На качественные показатели выбросов загрязняющих веществ, образующихся при термическом обезвреживании отходов, влияют как исходный состав самих отходов (морфологический и химический), так и технология процессов их сжигания (особенности процессов горения, температуры и влажности, принцип работы установки и пр.).

В основу работы большинства установок по сжиганию заложен принцип термического разложения отходов на газообразные органические вещества и коксовый остаток без доступа кислорода (пиролиз). Данная технология является одним из наиболее эффективных в настоящее время способов термического обезвреживания отходов и включена в ИТС как НДТ.

При применении сложных современных технологий уничтожения отходов не менее важным аспектом являются условия эксплуатации самого оборудования, степень автоматизации технологического процесса и контроля состава продуктов, квалификация обслуживающего персонала, соблюдение мер безопасности и инструкций по уходу за оборудованием. Несоблюдение данных условий может существенно влиять на объемы и состав выбросов, поступающих в атмосферу.

Для выбросов в атмосферный воздух при обезвреживании основных групп видов отходов (относительно компонентного состава) ИТС 9–2020 установлены технологические показатели в наилучшей доступной технологии (НДТ) для отечественных объектов обезвреживания отходов термическим способом на уровне европейских технологических показателей.

Перечень маркерных веществ зависит от класса отходов, подлежащих обезвреживанию термическими способами.

Таким образом, можно говорить, что сжигание растительных остатков может оказывать существенное негативное воздействие на качество воздуха, здоровье человека и изменение климата, поэтому необходимы точные и своевременные оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Цель данной работы – определить качественные и количественные показатели выбросов загрязняющих веществ (маркерных) в атмосферу и их

концентрации в приземном слое при термическом обезвреживании растительных отходов.

В качестве растительных отходов была рассмотрена биомасса борщевика Сосновского. Данный вид отходов с учетом его морфологического состава можно отнести к отходам 1 класса по утилизации и обезвреживанию термическими способами согласно информационно-техническому справочнику наилучших доступных технологий.

В качестве основного критерия выступали зоны влияния примесей, которые определяются как расстояние от источника выброса, начиная с которого создается приземная концентрация $\leq 0,05$ ПДК.

Полученные результаты позволяют спрогнозировать возможный уровень загрязнения атмосферы процессами термического обезвреживания растительных отходов и аргументировать предложения по минимизации или полному прекращению сжигания растительного сырья, в том числе и биомассы борщевика Сосновского.

Оценка воздействия на атмосферный воздух при сжигании (термическом обезвреживании) неостребованных отходов в виде биомассы борщевика Сосновского выполнена на основании результатов расчета рассеивания примесей в приземном слое атмосферы.

Расчет концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы выполнен по унифицированной программе расчета загрязнения атмосферы «УПРЗА–Эколог» (фирма «Интеграл» г. С.–Петербург), реализующей положения «Методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (приказа № 273 Минприроды России от 06.06.2017 г., далее МРР–2017). Для тех веществ, для которых установлены только среднесуточные предельно-допустимые концентрации (ПДК), использовался расчетный блок «Упрощенные средние» (фирма «Интеграл»), позволяющий провести упрощенный расчет осредненных за длительный период концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в соответствии с МРР-2017.

При определении приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в районе размещения объекта, были учтены следующие положения:

1. Для расчетов принята локальная (заводская) система координат, где ось ОХ ориентирована на восток, а ось ОУ на север. Выбрана расчетная площадка – прямоугольник, размеры которого приняты таким образом, чтобы изолинии концентраций 0,05 ПДК не выходили за границу этого прямоугольника.

2. Рельеф местности в пределах расчетного прямоугольника принят спокойный, с перепадами высот, не превышающими 50 м на 1 км. Коэффициент рельефа местности принимался за 1.

3. Расчеты выполнены на летний период времени, так как в этот период достигаются наихудшие условия для рассеивания загрязняющих веществ

в атмосфере. Метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, приняты для Уральского региона на основании СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» и согласно МРР–2017.

4. Параметр, учитывающий скорость оседания примесей F, определяется в соответствии с МРР–2017 и в расчете принимался: для газообразных загрязняющих веществ – 1, для мелкодисперсных аэрозолей при отсутствии очистки – 3.

5. В качестве источника выделения (выбросов) загрязняющих веществ была принята установка (инсинератор) по сжиганию растительных отходов (ботва от корнеплодов, другие подобные растительные остатки при выращивании овощей) на основании данных сайта Росприроднадзора по Банку данных о технологиях по утилизации и обезвреживанию отходов (БДТ), формируемых согласно приказу Минприроды России от 30.09.2011 г. № 792 «Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов» (<https://rpn.gov.ru/opendata/7703381225-banktehnologiy>).

Характеристики рассматриваемой установки на основании БДТ и технологических условий:

- производительность по сжиганию – 50 кг/ч;
- диаметр выходного устья дымовой трубы – 0,12 м;
- высота дымовой трубы от уровня земли – 15 м.

Результаты определения максимально-разового выброса загрязняющих веществ из рассматриваемого источника представлено в таблице.

Для перечня маркерных веществ выполнена привязка к перечню загрязняющих веществ согласно СанПиН 1.2.3685-21 с учетом рекомендаций НИИ «Атмосфера».

Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу

Код и наименование загрязняющего вещества*	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³	Концентрация, мг/м ³	Максимально-разовый выброс, г/с
0133 Кадмий оксид	–	0,0003	0,05**	0,0000153
0184 Свинец и его соединения***	0,001	0,0003	0,5	0,0001530
0186 Ртутные соединения (водорастворимые)	0,0008 (ОБУВ)	–	0,05	0,0000153
0301 Азота диоксид	0,2	0,1	160****	0,0489600
0304 Азота оксид	0,4	–	26****	0,0079560
0330 Серы диоксид	0,5	0,05	50	0,0153000
0337 Углерода оксид	5	3	50	0,0153000
0342 Гидрофторид	0,02	0,014	1	0,0003060
0703 Бенз/а/пирен	–	0,000001	0,001	0,0000003

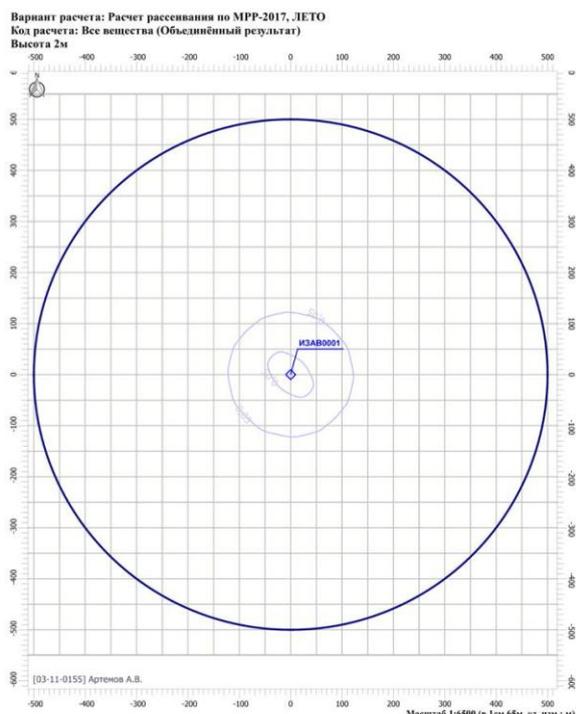
Код и наименование загрязняющего вещества*	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³	Концентрация, мг/м ³	Максимально-разовый выброс, г/с
2754 Алканы C ₁₂₋₁₉	1	–	10	0,0030600
2902 Взвешенные вещества	0,5	0,15	10	0,0030600
3620 Диоксины	–	0,0000005	0,0000001	3,06Е-11

Примечания: * – наименование веществ приведено в сокращенном виде; ** – для маркерных веществ «Кадмий и его соединения. Таллий и его соединения» принято по загрязняющему веществу «Кадмий и его соединения»; *** – для выброса загрязняющих веществ для суммы металлов принято по веществу с наиболее жестким ПДК; **** – коэффициенты трансформации оксидов азота: NO – 0,13, NO₂ – 0,80.

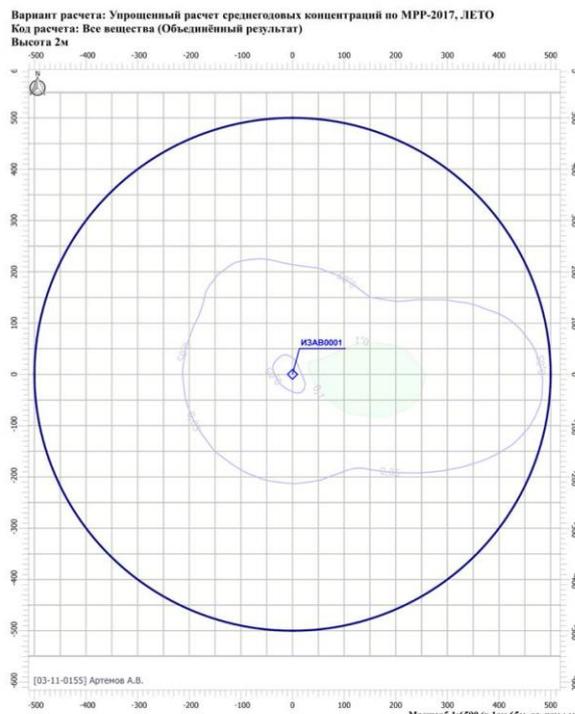
В атмосферу выбрасывается 12 наименований загрязняющих веществ, подлежащих нормированию, в том числе: I класса опасности – 4; II – 1; III – 4; IV – 2; веществ, имеющих ОБУВ – 1.

Формируются три группы веществ, обладающие эффектом суммации вредного действия: свинца оксид, серы диоксид (6034); азота диоксид, серы диоксид (6204); серы диоксид, фтористого водорода (6205).

Результаты расчётов рассеивания загрязняющих веществ по сумме загрязняющих веществ графически отображены на картах изолиниях концентраций в приземном слое (рисунок).



а)



б)

Графическое отображение результатов расчетов приземных концентраций по суммарному загрязнению:

а – по максимально-разовым; б – по упрощенным среднегодовым

На основании данных графического изображения можно сделать вывод, что объект термического обезвреживания растительных отходов обладает зоной влияния на атмосферный воздух. Анализ результатов расчета максимальных приземных концентраций показал, что наибольшая зона влияния достигается:

- по максимально-разовому суммарному загрязнению – 122 м, округлой формы;
- по среднегодовому суммарному загрязнению – 485 м, вытянутой формы в восточном направлении (для Уральского региона характерно западное распределение ветров).

При этом стоит обратить внимание, что начало зоны влияния наблюдается на расстоянии 33...52 м и 16...41 м, соответственно. Это говорит о том, что загрязнение воздуха в таких случаях характеризуется высокими уровнями концентраций примесей в воздухе на данном расстоянии, и постепенно убывающими концентрациями с удалением от источника выброса.

Зоны влияния не достигают границы принятой условной санитарно-защитной зоны (СЗЗ) для рассматриваемого объекта. Размер СЗЗ устанавливается в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». «Объекты по утилизации, обезвреживанию, обработке отходов до 40 тысяч т/год, в том числе, участки по обращению с медицинскими отходами классов Б и В, оборудованные установкой для обезвреживания отходов методом сжигания и пиролиза», относятся к промышленным объектам и производствам II класса, для которых должна быть предусмотрена СЗЗ размером 500 м.

Расстояние от трубы установки, на котором наблюдается максимальное загрязнение (по максимально-разовым / по упрощенным среднегодовым концентрациям):

- свинец и его соединения – 0,06 ПДК на расстоянии 71 м / 0,04 ПДК – 50 м;
- ртути соединения (водорастворимые) – 0,06 ПДК на расстоянии 71 м / ---;
- азота диоксид – 0,03 ПДК на расстоянии 142 м / 0,01 – 150 м;
- бенз/а/пирен – --- / 0,02 ПДК на расстоянии 50 м;
- группа суммации (свинец, диоксид серы) – 0,06 ПДК на расстоянии 71 м / 0,05 ПДК – 100 м;
- группа суммации (азота диоксид, диоксид серы) – 0,02 ПДК на расстоянии 142 м / 0,01 ПДК – 150 м.

Согласно графическим данным, представленным на рисунке, на границе СЗЗ не наблюдается превышение норм ПДК по загрязняющим веществам и группе суммации.

Таким образом, по данным выполненного расчета рассеивания можно утверждать, что приземные концентрации в атмосферном воздухе всех загрязняющих веществ, выбрасываемых рассматриваемой установкой по термическому обезвреживанию растительных отходов в виде биомассы борщевика Сосновского, не превысят допустимых нормативов качества воздуха населенных мест и соответствуют требованиям санитарно-эпидемиологического и природоохранного законодательства.

Стоит также отметить, что рассматриваемый справочник ИТС 9–2020 рекомендует подвергать отходы сжигания только при отсутствии возможности других методов утилизации. Анализ литературных данных показывает потенциал применения борщевика Сосновского с целью получения различных материалов и изделий на его основе с широким кругом потребительских возможностей [1–4].

Список источников

1. Вураско А. В., Агеев М. А., Сиваков В. П. Получение и свойства технической целлюлозы из борщевика окислительно-органо-растворителем // Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 289–298. DOI: 10.14258/jcprm.20220110121.

2. Полина И. Н., Миронов М. В. Анализ использования топливных гранул из биомассы *Heracleum sosnowskyi* Manden в качестве энергетического топлива // Современные проблемы охраны труда и окружающей среды : сборник трудов XXXIV Международной научно-практической конференции, Химки, 01.03.2024 г. Химки : Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, 2024. С. 111–116.

3. Ершова А. С., Савиновских А. В., Артемов А. В. Исследование физико-механических свойств растительного пластика на основе борщевика Сосновского // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 4. С. 61–65.

4. Бобрешова И. Ю., Рябчинская Т. А., Деркач А. А. Инсектоакарицидные свойства экстрактов борщевика Сосновского // Защита и карантин растений. 2022. № 10. С. 30–31. DOI: 10.47528/1026-8634_2022_10_30.

References

1. Vurasco A. V., Ageev M. A., Sivakov V. P. Obtaining and properties of technical cellulose from hogweed by the oxidative-organosolvent method // Chemistry of vegetable raw materials. 2022. № 1. P. 289–298. DOI: 10.14258/jcprm.20220110121.

2. Polina I. N., Mironov M. V. Analysis of the use of fuel pellets from biomass *Heraculum Sosnovsky Manden* as an energy fuel // Modern problems of labor protection and the environment : Proceedings of the XXXIV International Scientific and Practical Conference, Khimki, 03/01/2024. Khimki : Academy of

Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after Lieutenant General D. I. Mikhailik, 2024. P. 111–116.

3. Yershova A. S., Savinovskikh A. V., Artemov A. V. Investigation of the physical and mechanical properties of a growing plastic based on Sosnovsky hogweed // Chemistry. Ecology. Urbanistics. 2020. Vol. 4. P. 61–65.

4. Bobreshova I. Y., Ryabchinskaya T. A., Derkach A. A. Insectoacaricidal properties of extracts of Sosnovsky hogweed // Plant protection and quarantine. 2022. № 10. P. 30–31. DOI: 10.47528/1026-8634_2022_10_30.