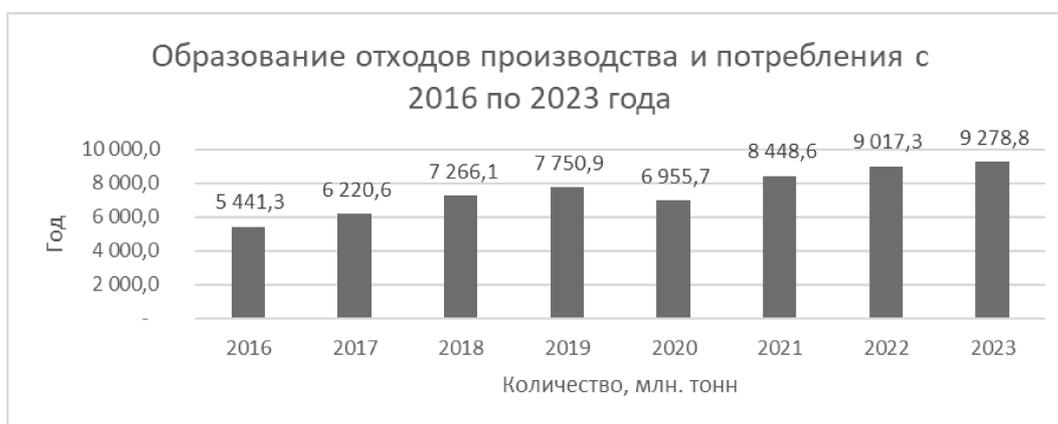


Д.М. Волков, асп.;  
 А.М. Попов, зав. кафедрой, д-р техн. наук  
 (Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЛЕСОВОДСТВА И ЛЕСОЗАГОТОВОК В РОССИИ

На текущий момент в России наблюдается возрастающая тенденция образования отходов. На рисунке 1 показано количество отходов производства и потребления с 2016 по 2023 года по данным об образовании отходов производства и потребления по видам экономической деятельности (по ОКВЭД2) [1].

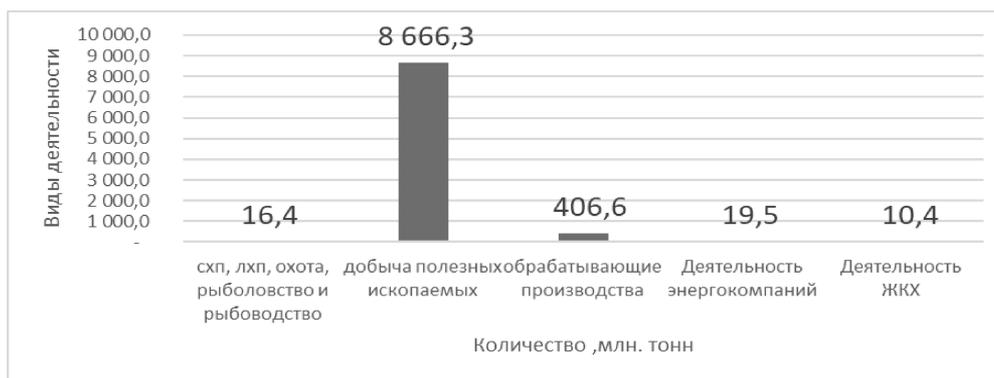


**Рисунок 1 – Образование отходов производства и потребления с 2016 по 2023 года**

Всего насчитывается 9278,8 млн. тонн отходов, из которых 81,1 млн. тонн являются опасными (отходы производства и потребления с I по IV класс опасности для окружающей среды). По данным об образовании, использовании, обезвреживании и размещении отходов производства и потребления в Российской Федерации за 2023 год на предприятиях хранится 5819,7 млн. тонн отходов, которые находятся либо на полигонах (4196,5 млн. тонн), либо под землей (1623,27 млн. тонн).

В 2023 году произошло изменение соотношений производимых отходов. Так, отходы сельского, лесного хозяйства, охоты, рыболовства и рыбоводства уменьшились на 29,3 млн. тонн, в то время как отходы, образуемые от добычи полезных ископаемых, увеличились 286,1 млн. тонн по сравнению с 2022 годом, отходы в остальных отраслях в процентном соотношении претерпели небольшие изменения.

На рисунке 2 демонстрируется распределение отходов производства и потребления по отраслям.



**Рисунок 2 – Образование отходов производства и потребления по видам деятельности за 2023 год**

Несмотря на колоссальный перевес по количеству производимых отходов в области добычи полезных ископаемых, в сельскохозяйственной отрасли остается достаточное количество биомассы, пригодной для переработки. На рисунке 3 представлено распределение отходов в сельском хозяйстве по видам деятельности. В этой отрасли отходы при лесоводстве и лесозаготовках занимают лишь около 8,8% от общей массы образуемых отходов в отрасли.



**Рисунок 3 – Виды отходов в сельском хозяйстве**

В таблице 1 представлено разделение отходов при лесоводстве и лесозаготовках по категориям. Количество отходов включает в себя как отходы, произведенные за 2023 год, так и остатки прошлого года. На конец 2023 года насчитывалось 239,39 млн. тонн древесных отходов, основная масса из которых – это отходы сучьев, ветвей, вершин от лесоразработок в количестве 143,87 млн. тонн.

Несмотря на уменьшение производимых отходов за 2023 год, в России всё еще остается достаточно существенный объем древесных отходов, который можно использовать повторно. Для преобразования отходов в полезные продукты используют различные термические методы [2] переработки. Наиболее перспективной из них является СВЧ – термолиз [3, 4]. СВЧ-термолиз использует электромагнитные волны в диапазоне сверхвысоких частот для быстрого нагрева вещества. Энергия СВЧ-излучения возбуждает молекулы вещества, что приводит к

их быстрому нагреву и разложению. Это позволяет процессу протекать более эффективно, так как энергия передается непосредственно на молекулярном уровне, что ускоряет разложение органических веществ. Конвективный пиролиз требует нагрева всего объема вещества и обычно протекает медленнее, в отличие от СВЧ-термолиза

**Таблица – Разделения отходов при лесоводстве и лесозаготовках по следующим категориям**

Наименование отходов	Количество, млн. тонн.	Утилизировано, млн. тонн.	Количество, %	Остатки, млн. тонн.
Отходы сучьев, ветвей, вершинок от лесоразработок	1106,07	962,20	86,99	143,87
Отходы корчевания пней	198,40	137,71	69,40	60,69
Зелень древесная	36,83	17,93	48,67	18,90
Отходы раскряжевки	62,26	59,10	94,93	3,15
Отходы малоценной древесины (хворост, валежник, обломки стволов) кл. оп. 4	0,03	0,00	0	0,03
Отходы малоценной древесины (хворост, валежник, обломки стволов) кл. оп. 5	118,25	105,12	88,89	13,13
Всего	1521,85	1282,06	388,90	239,79

После термической обработки отходов получают твердая, жидкая и газообразная фракции. Твердая фракция представляет из себя биоуголь, состоящим в основном из углерода [5]. Состав биоугля может варьироваться в зависимости от температурного режима нагрева сырья [6]. Жидкая фракция состоит из более чем 200 соединений. Основные классы органических соединений включают ароматические углеводороды, алкены, алканы, серо-, азот-, кислородсодержащие и даже хлорорганические соединения, включая различные спирты, органические кислоты и основания [7]. Газообразная фракция в основном состоит из углеводородных горючих соединений, основными из которых являются  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$  и  $CH_4$  [8]. Наиболее полезным из этих фракций является твердая, которую используют для промышленных и сельскохозяйственных нужд [9].

Переработка отходов лесоводства и лесозаготовок в России имеет значительный потенциал для повышения эффективности использования лесных ресурсов и улучшения экологической ситуации в стране. Современные технологии переработки открывают новые возможности для устойчивого развития лесной отрасли. Переработка отходов не только способствует снижению негативного воздействия на

окружающую среду, но и может стать экономически выгодным направлением, создающим новые рабочие места и увеличивающим добавленную стоимость продуктов. Перспектива переработки отходов лесоводства и лесозаготовок в России является многообещающим направлением, которое требует комплексного подхода, направленного на устойчивое использование лесных ресурсов, снижение экологической нагрузки и улучшение экономической эффективности отрасли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Росстат. URL: <https://rosstat.gov.ru/>
2. Abdelghany S. Thermal Waste Treatment Technologies: Traditional Incineration and Pyrolysis Unit / S. Abdelghany. – 2019.
3. Farsi M. Microwave Treatment on Wood Waste Product-A Review / M. Farsi. – 2023. DOI: 10.1007/978-981-99-1905-5\_14.
4. Попов А. М., Волков Д. М. Микроволновой пиролиз растительных отходов перерабатывающей промышленности АПК / А.М. Попов, Д. М. Волков // Холодильная техника и биотехнологии : Сборник тезисов V Национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 06–08 декабря 2023 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. – С. 222–224.
5. Sun Y., Zhang Q., Clark J. H. et al. Tailoring wood waste biochar as a reusable microwave absorbent for pollutant removal: Structure-property-performance relationship and iron-carbon interaction // *Biore-source Technology*. – 2022. – Oct; 362:127838. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127838.
6. Singh, R., Lindenberger, C., Chawade, A. et al. Unveiling the microwave heating performance of biochar as microwave absorber for microwave-assisted pyrolysis technology / R. Singh, C. Lindenberger, A. Chawade, V. Vivekanand // *Scientific Reports*. – 2024. – 14. DOI: 10.1038/s41598-024-59738-5.
7. Куликов К. В., Литвинов В. В., Пиялкин В. Н. и др. Получение и исследование жидких биотоплив из биомассы дерева методом пиролиза // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2012. – № 13.
8. Саввов С. И., Маркова Е. Б., Фоминых Ю. Г. и др. Исследование процесса пиролиза образцов хвойных пород древесины // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2018. – № 8 (204).
9. Kalus K., Koziel J., Opaliński S. A Review of Biochar Properties and Their Utilization in Crop Agriculture and Livestock Production / K. Kalus, J. Koziel, S. Opaliński // *Applied Sciences*. – 2019. – 9(17):3494. DOI: 10.3390/app9173494.