

## Исследование возможности использования торфа как компонента пылеугольного топлива в металлургических процессах

Гревцев Н. В.<sup>1</sup>, Амдур А. М.<sup>1</sup>, Форшев А. А.<sup>2</sup>, Федоров С. А.<sup>1,3</sup>,  
Самигуллин И. Т.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> АО «ЕВРАЗ Нижне-Тагильский металлургический комбинат», г. Нижний Тагил, Россия

<sup>3</sup> Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

\*e-mail: 89655066216@mail.ru

### Реферат

**Актуальность работы.** Для экономии кокса на металлургических предприятиях во всем мире производят вдувание пылеугольного топлива, которое может заменить значительное количество кокса в доменной печи. Применительно к горно-металлургическому комплексу традиционно представляет интерес использование торфа в металлургических процессах, в частности, на территории Уральского региона. Во-первых, данный регион с развитой металлургической промышленностью, работающий на дальнепривозном углеродистом топливе, имеет собственные значительные запасы торфа. Во-вторых, торф имеет низкое содержание серы и фосфора, что является преимуществом.

**Цель работы.** Исследование физико-химических свойств торфа месторождений Свердловской области: Кокшаровско-Комбаевского (пос. Босьяновский) и Мало-Рефтинского (пос. Лосиный), обеспечивающих возможность его использования в качестве компонента пылеугольного топлива в доменном процессе.

**Методы исследования.** Пробы торфа отбирались и анализировались по стандартным и унифицированным методикам. Исследовались следующие свойства торфа: содержание влаги; зольность; содержание серы; выход летучих; содержание углерода, кислорода, водорода, азота; теплота сгорания, а также температура плавления и химический состав золы. С помощью сканирующего электронного микроскопа изучена структура и химический состав торфа и золы. Процессы, происходящие в торфе при нагреве в окислительной атмосфере, изучены с помощью термоанализатора.

**Результаты исследований.** Рассмотрены и исследованы свойства торфа месторождений Свердловской области: Кокшаровско-Комбаевского (пос. Босьяновский) и Мало-Рефтинского (пос. Лосиный). Полученные результаты показывают (по месторождениям соответственно): выход летучих веществ – 74,61 и 72,6; массовая доля углерода – 52,60 и 57,28; содержание общей серы – 0,14 и 0,21 %; зольность – 8,16 и 8,36 %. Частицы торфа удлиненной формы варьируются по размеру от 50 до 400 мкм. Структура частиц преимущественно ячеистая, реже волокнистая и слоистая. Средний размер ячеек – 10–30 мкм. Изучены процессы в торфе при нагреве в окислительной атмосфере. В связи с высокой влажностью торфа основная убыль массы связана с испарением воды (64 %). Пик испарения приходится на температуру 105,2 °С и завершается при 130–140 °С. Начиная с температуры 220 °С и до 440 °С, т. е. в достаточно узком температурном диапазоне, протекают процессы горения углерода торфа, термическая деструкция и взаимодействие кислорода атмосферы с газообразными продуктами деструкции. Убыль массы, относящаяся к ним, составляет 24,35 % от исходной массы образца. Общая убыль массы – 88,52 %, что согласуется с химическим составом торфа. При увеличении скорости нагрева все процессы будут смещаться в область более высоких температур.

**Выводы.** Выполненные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования торфа в металлургических процессах в качестве компонента пылеугольного топлива для доменной плавки.

**Ключевые слова:** торф; уголь; пылеугольное топливо; термическая деструкция; горение; структура.

**Исследование подготовлено** в соответствии с государственным заданием, выданным Минобрнауки РФ, на выполнение НИР для ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 075-03-2023-219 от 16.01.2023 «Разработка и эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нарушенных горно-металлургическим комплексом земель на основе мелиорантов и удобрений нового типа» и выполнено совместно с сотрудниками Центра коллективного пользования (ЦКП) с использованием фондов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН (№. Росс. RU.0001.21 ПФ59, Единый российский реестр центров коллективного пользования – <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>).

В отборе проб с месторождений Кокшаровско-Комбаевского и Мало-Рефтинского и анализе их свойств принимал участие Д. Р. Якупов.

**Введение.** Metallургический сектор является одним из наиболее важных из-за его большого влияния на развитие экономики страны. Постоянно растет потребность в стали, которая стала основным конструкционным материалом современного мира [1–2]. Для экономии кокса на металлургических предприятиях производят вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи [3–6], что может заменить значительное количество кокса. Применительно к горно-металлургическому комплексу традиционно представляет интерес использование торфа в металлургических процессах, в частности, на территории Уральского региона. Во-первых, данный регион с развитой металлургической промышленностью, работающий на дальнепривозном углеродистом топливе, имеет собственные значительные запасы торфа [7, 8]. Во-вторых, торф имеет низкое содержание серы и фосфора. Верховые виды торфа являются сравнительно малозольными, средняя зольность не превышает 4–5 %.

Однако, несмотря на достаточно высокую эффективность использования торфа в металлургических процессах, данное направление широкого распространения не получило. К настоящему времени сложились определенные предпосылки к началу нового этапа развития исследований металлургического использования торфа как компонента ПУТ. При этом сведения об оценке физико-химических свойств торфа для возможности его применения как компонента ПУТ наряду с традиционно используемыми углями для доменной плавки ограничены. На данный момент в литературных источниках приведена информация об исследованиях термического разложения торфа [9–15]; состава летучих соединений, образующихся при нагреве торфа; константы скорости реакции горения и теплоты сгорания [10]; влияния скорости нагрева торфа на его разложение [11].

**Целью настоящей работы** является исследование физико-химических свойств торфа уральских месторождений, обеспечивающих возможность его использования в качестве компонента пылеугольного топлива в доменном процессе.

#### **Задачи исследования:**

- провести исследования физико-химических свойств торфа выбранных уральских месторождений на соответствие требованиям к компонентам пылеугольного топлива в доменном процессе;
- исследовать структуру торфа для оптимизации режимов получения ПУТ и состава шихты;
- изучить процессы термической деструкции и горения торфа в условиях применения ПУТ в доменной плавке.

**Материалы и методы.** Рассмотрены и исследованы свойства торфа следующих месторождений Свердловской области: Кокшаровско-Комбаевское (пос. Босьяновский), Мало-Рефтинское (пос. Лосиный).

Оценка пригодности торфа для его использования в качестве компонента пылеугольного топлива в доменном процессе проводилась с учетом органической и минеральной части, химического состава, структурных характеристик, содержания зольных элементов. По стандартным и унифицированным методикам анализировались пробы торфа. Исследовались следующие характеристики торфа: содержание влаги; зольность; содержание серы; выход летучих; содержание углерода, кислорода, водорода, азота; теплота сгорания, а также температура плавления и химический состав золы (Fe, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S, P, SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Структура торфа изучалась на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 4, оборудованном энергодисперсионной приставкой Oxford Instruments 30 Xplore. Эта приставка позволяет определять химический состав. Диаметр области снятия спектра – 2–3 мкм. Содержание элементов определялось с точностью до 0,1 масс. % [16].

**Таблица 1. Результаты определения общетехнических свойств торфа**  
**Table 1. Results of determining the general properties of peat**

Месторождение	Влажность, %	Зольность, %	Выход летучих веществ, %
Кокшаровско-Комбаевское	76,94	8,16	74,61
Мало-Рефтинское	76,30	8,36	72,60

**Таблица 2. Результаты определения физико-химических свойств торфа**  
**Table 2. Results of determining the physical and chemical properties of peat**

Определяемый показатель	Месторождение	
	Кокшаровско-Комбаевское	Мало-Рефтинское
Массовая доля общей серы в пересчете на сухое состояние топлива S <sup>d</sup> , %	0,14	0,21
Выход летучих веществ в пересчете на сухое беззольное состояние топлива V <sup>daf</sup> , %	73,5	70,8
Высшая теплота сгорания в пересчете на сухое беззольное состояние топлива Q <sub>s</sub> <sup>daf</sup> , кДж/кг	21 746	23 329
Низшая теплота сгорания в пересчете на рабочее состояние топлива Q <sub>i</sub> <sup>f</sup> , кДж/кг	2533	2860
Массовая доля азота в пересчете на сухое беззольное состояние топлива N <sup>daf</sup> , %	4,44	2,82
Массовая доля углерода в пересчете на сухое беззольное состояние топлива C <sup>daf</sup> , %	52,60	57,28
Массовая доля нелетучего углерода в аналитической пробе C <sub>a</sub> <sup>f</sup> , %	21,54	23,95
Массовая доля водорода в пересчете на сухое беззольное состояние топлива H <sup>daf</sup> , %	6,55	6,34
Массовая доля кислорода в пересчете на сухое беззольное состояние топлива O <sup>daf</sup> , %	36,26	33,33

Таблица 3. Сравнительная характеристика торфа Мало-Рефтинского месторождения и пылеугольного топлива

Table 3. Comparative characteristic of peat from the Malo-Reftinsky deposit and pulverized coal fuel

Определяемый показатель	Средние значения показателей качества	
	Торф	ПУТ
Влажность, %	76,3	1,6
Выход летучих веществ в пересчете на сухое состояние топлива $V^d$ , %	64,4	22,1
Высшая теплота сгорания в пересчете на сухое беззольное состояние топлива $Q_s^{daf}$ , кДж/кг	23 329	33 854
Массовая доля общей серы в пересчете на сухое состояние топлива $S^d$ , %	0,21	0,37
Массовая доля нелетучего углерода в пересчете на сухое состояние топлива, %	26,3	71,4
Зольность в пересчете на сухое состояние топлива, %	9,1	6,48

*Химический состав золы, масс. %*

SiO <sub>2</sub> .....	48,84	44,44
CaO.....	9,81	6,09
MgO.....	3,65	2,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	14,47	8,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	13,70	26,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	1,40	1,26
SO <sub>3</sub> .....	5,20	5,83
K <sub>2</sub> O.....	1,67	1,10
Na <sub>2</sub> O.....	0,59	1,28
TiO <sub>2</sub> .....	0,62	–

Исследования деструкции торфа и его горения при нагреве проводились с помощью прецизионного оборудования – термического синхронного анализатора STA 449 F5 Jupiter, совмещенного с масс-спектрометром QMS 403 Aeolos Quadro. Измерения проводили в корундовых тиглях в интервале температур 35–700 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин. Масса образца – 13,8 мг. Измерительная ячейка продувалась воздухом со скоростью 20 мл/мин. Расшифровка полученных результатов производилась в программе Proteus [17].

**Результаты и обсуждение.** Исследования химического состава золы и физико-механических свойств торфа выбранных месторождений показывают соответствие требованиям к компонентам пылеугольного топлива в доменном процессе. Зольность, содержание серы в торфе, содержание в золе серы, фосфора и щелочных металлов (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) находятся в пределах нормы. Количество общего и нелетучего углерода и выход летучих в целом относятся к удовлетворительным показателям. Высокая влажность торфа не повлияет на процессы, происходящие в доменной печи, так как компоненты пылеугольного топлива и само ПУТ подвергаются предварительной сушке. Результаты анализов приведены в табл. 1 и 2.