

*Данная статья посвящена физико-химическим свойствам торфа и его производных, а также возможности их применения в качестве сорбентов. Был произведён СВЧ-пиролиз торфа, исследованы и сравнены характеристики полученного углеродистого остатка и исходного образца торфа. Наибольшая масса частиц, как в торфе, так и в углеродистом остатке имеет диаметр менее 0,01 мкм. У углеродистого остатка сорбционные свойства выше, чем у **непереработанного торфа**. В дальнейшем предполагается исследовать сорбцию продуктами пиролиза ионов металлов.*

Каждую секунду 310 кг токсичных химических веществ выбрасываются в атмосферу, землю и воду промышленными предприятиями по всему миру. Это составляет примерно 10 миллионов тонн токсичных химических веществ в **год** [1]. Нефть также входит их число. В 2019 году произошла 17 171 авария с разливами нефти на предприятиях топливно-энергетического комплекса[2]. Поэтому перспективны исследования, направленные на устранение таких **аварий**. Одним из способов решения подобных проблем является поглощение разливов нефтепродуктов сорбентами. Целью настоящей работы было исследование сорбционных свойств распространенного на территории Российской Федерации полезного ископаемого - торфа и его производных.

Торф был выбран как объект исследования по ряду причин. Во-первых, согласно данным Международного Торфяного Общества (International Peat Society, IPS) общая площадь торфяных болот во всем мире составляет около 4,23 млн км², что соответствует 2,83% земной поверхности. Общий объем торфяных ресурсов России оценивается в 150–160 **млрд** тонн. **Данный** объект не опасен ни для человека, ни для природы. Поэтому торф является перспективным сорбентом нефтепродуктов. Для повышения его эффективности как сорбента он может подвергаться **различным обработкам**. Одним из таких способов является пиролиз. Из всех видов пиролиза, наиболее перспективным в настоящее время СВЧ-пиролиз, так как он достаточно экологичен. Также при СВЧ-нагреве незначительна теплопроводность вещества, так как микроволновые волны проникают в исследуемый материал на значительную глубину, и при поглощении более равномерно распределяется тепло, обеспечивая эффективный нагрев материалов с низкой теплопроводностью. Ещё одним преимуществом СВЧ-пиролиза является возможность регулирования скорости пиролитических реакций и состава **продуктов**, поскольку при СВЧ-нагреве температурой материалов можно управлять, изменяя мощность СВЧ-генератора. Поэтому в данной работе осуществляется переработка торфа при помощи СВЧ-излучения [3].

В качестве обрабатываемого органического материала был использован верховой сфагновый торф низкой степени разложения Греко-Ушаковского месторождения. СВЧ-комплекс был разработан в ИПФ РАН, его описание дается в **работе** [4].

CHNS-анализ проводился на базе ННГУ им. Лобачевского. Операция выполнялась в специальном приборе — элементном анализаторе. При сжигании образец выделил смесь газов, включающую элементы C, H, N и S. Затем к продуктам сгорания (CO₂, H₂O, NO₂ и пр.) применяли метод газовой хроматографии, чтобы определить процентное соотношение элементов в исходном образце. Полученные результаты представлены в **таблице 1**.

Результаты CHNS-анализа образцов

Образец исходного торфа	Массовая доля, %			
	азот	углерод	водород	сера
Перед СВЧ-нагревом	2–3	60–62	7–8	< 0,3
После СВЧ-нагрева	2–3	83–85	4–5	< 0,3
После теплового нагрева	1–2	64–65	4–6	< 0,3

Для определения фракционного состава торфа и полученного СВЧ-пиролизом углеродистого остатка (далее УО) был применен метод сухого ситового анализа проведённый вручную. Массовую долю фракций находили по формуле (1)

$$\omega_c = \frac{m_{\phi} * 100}{m_{\text{общ}}}, \quad (1)$$

где ω_c – массовая доля содержания фракции, %; m_{ϕ} – масса фракции, долю которой находим, г; $m_{\text{общ}}$ – масса первоначальной пробы торфа, г.

Таким образом, были получены результаты, представленные в таблице 2:

Таблица 2

Фракционный состав углеродистого остатка

№	Размер фракции, мм	Массовая доля УО во фракции, %	Массовая доля торфа во фракции, %
1	Более 0,93	4,00	19,19
2	От 0,65 до 0,93	2,21	14,18
3	Менее 0,65	64,75	93,79

Для определения сорбционной ёмкости сорбента, в качестве сорбата был выбран Уайт-спирит, который является смесью нефтепродуктов. Исследование проводилось на самой мелкодисперсной фракции сорбента, полученной при определении фракционного состава. Для более точного результата, сорбент, находящийся в ёмкости вместе с водой и сорбатом, встряхивался в течение 5 минут. Опыт был повторён несколько раз. Для нахождения сорбционной ёмкости А использовалась формула (2):

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100\%, \quad (2)$$

где А - сорбционная эффективность сорбента; M_1 – масса сорбента после испытания (с нефтепродуктом); M_2 - исходная масса сорбента.

Чтобы найти влагоёмкость, были проведены аналогичные действия, но без добавления сорбата в воду. Для нахождения влагоёмкости W использовалась формула (3):

$$W = \frac{M_c - M}{M} * 100\%, \quad (3)$$

где M_c, M — масса сырого и сухого сорбента соответственно, г.

В итоге получились следующие результаты:

- Сорбционная ёмкость углеродистого остатка: 328,9г на 100 г
- Сорбционная ёмкость торфа: 340,2г на 100г
- Влажность углеродистого остатка: 378г на 100г
- Влажность торфа: 361,5г на 100г

На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

- Наибольшую массовую долю, как в торфе, так и в **углеродистом остатке**, имеет фракция менее 0,01 мм
- Для углеродистого остатка сорбционные свойства выше, чем для не переработанного торфа.

В дальнейшем предполагается исследовать сорбцию продуктами пиролиза ионов металлов из растворов.

Список литературы:

1. Worldometers.ru url: <https://www.worldometers.info/ru/> (дата обращения: 28.03.21).
2. Официальный Сайт Минэнерго РФ url: www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/proekt_gosudarstvennogo_doklada_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_2019/
3. Т.О. Крапивницкая, А.А. Богдашов, А.Н. Денисенко, М.Ю. Глявин, Н.Ю. Песков, Л.Л. Семенычева, Д.Л. Ворожцов Экспериментальное исследование СВЧ-пиролиза торфа // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология Том 9. 2019. с. 750-758.
4. Т.О. Крапивницкая, С.А. Буланова, А.А. Сорокин, А.Н. Денисенко, Д.Л. Ворожцов, Л.Л. Семенычева Анализ продуктов низкотемпературного СВЧ-пиролиза торфа // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология Том 10. 2020. с. 339-348.

