

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФА НА ОСНОВАНИИ
МОЛЕКУЛЯРНОГО СОСТАВА ЕГО ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ**

М.В. Пятыгина, Г.Р. Мингалеева

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

pmv_83@mail.ru

Резюме: В статье рассматриваются основные направления использования торфа и продуктов, получаемых в результате его термической и химической переработки. Проведен анализ молекулярного состава торфа и определены основные структурные фрагменты, на основе которых выбраны способы переработки и получен состав продуктов разложения.

Ключевые слова: торф, молекулярная структура, состав органической массы, термическая переработка, гидролиз, комплексное использование, энергетическое топливо.

**COMPREHENSIVE USE OF PEAT ON BASE
MOLECULAR COMPOSITION OF ITS ORGANIC MASS**

M.V. Pyatygina, G.R. Mingaleeva

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

pmv_83@mail.ru

Abstract: In article considers the main directions of use of peat products and its thermal and chemical processing industry and the energy sector. The analysis of organic peat mass, modeling of molecular structure. The basic structural fragments of the compounds are obtained based on the treatment processes (hydropyrolysis and hydrogenolysis) and the composition obtained by the decomposition products. Industry applications of the products are chosen.

Keywords: peat, organic mass, complex use, modeling of structural fragments.

Введение

На сегодняшний день использование местных видов топлива в коммунальной и промышленной энергетике является явно недостаточным. Так, в 2008 году доля торфа в топливно-энергетическом балансе России составила менее 1 %, доли прочих видов твердого топлива, включая различные отходы, и дров для отопления – от 3 до 4 %.

Торф – это один из наиболее важных и перспективных местных источников топлива. Основными направлениями использования торфа являются удовлетворение коммунально-бытовых потребностей, а также потребностей сельского хозяйства и смежных отраслей. Эффективное использование торфа на тепловых электростанциях напрямую зависит от увеличения объемов его добычи и модернизации технологической базы торфяной промышленности. А благодаря своим многогранным свойствам торф может использоваться в медицине, нефтяной промышленности и других отраслях народного хозяйства [1].

Разработка научных основ переработки твердых ископаемых органических топлив, как цель проводимых исследований, позволит улучшить качество получаемых химических продуктов и расширить области их использования для различных направлений промышленности, а также достичь экономии энергетических ресурсов.

Современные направления использования торфа

Энергетика. Торф, как топливо более дешевое и доступное по сравнению с природным газом и мазутом, может использоваться в следующих направлениях энергетики:

- окусковывание отходов лесодобывающей и лесоперерабатывающей промышленности, угольной пыли и штыба, бытовых органических отходов;
- получение гранулированного торфа, полубрикетов (минибрикетные заводы производительностью до 10 тыс. тонн в год);
- факельное каталитическое сжигание на крупных котельных с модернизацией модульных котлоагрегатов и газогенераторных установок.

Химическая промышленность. Используя такие процессы термической переработки, как гидропиролиз, пиролиз, а также экстракцию и химическую модификацию, из торфа можно получить следующие продукты:

- углеводный комплекс, битумы, гуминовые вещества;
- различные гуминовые удобрения;
- высококонкурентные, по сравнению с западными аналогами, активированные угли типа СКТ, АРТ с дальнейшим выходом на получение продуктов сельского хозяйства, воска, торфо-щелочного реагента, красителей и т.д., либо генераторного газа с выработкой тепловой и электроэнергии;
- торфяной бергинат – активный сорбент для поглощения разливов нефти и нефтепродуктов, а также металлургического топлива.

Строительная индустрия. На основе торфа можно получать следующие теплоизоляционные материалы с дальнейшим их применением в строительстве:

- тепло- и звукоизоляционные торфоплиты;
- теплоизоляционный материал в виде гранул;
- фасонную теплоизоляцию в виде "скорлупы" для трубопроводов и других инженерных коммуникаций;
- заполнители стеновых панелей для жилищного строительства.

Одним из примеров производства торфоблоков в промышленных масштабах является механизированная линия в г. Бежецк Тверской области [2].

Сельское хозяйство. Использование торфа в различных направлениях сельского хозяйства, несмотря на сокращение его участия в составе органических удобрений и в целом в данной отрасли (порядка 70%), весьма эффективно:

- мелиоранты (известкующие, улучшители водно-физических свойств легких почв, адсорбенты тяжелых металлов); поликомпонентные органические и органоминеральные удобрения целевого назначения с заданными свойствами (насыщенные подвижными азотом, фосфором, калием и микроэлементами или с содержанием трудногидролизующих форм для активизации процесса гумификации почв); гумус торфа – улучшение баланса почвенного гумуса благодаря схожему составу; удобрения разного состава за счет биотехнологических добавок;
- биостимуляторы и ростовые вещества; бактериальные препараты и ингибиторы; полые торфяные горшочки, прессованные таблетки и брикеты для рассады, удобрительные смеси, питательные грунты, торфяные субстраты для тепличных хозяйств; средства защиты растений;
- кормовые дрожжи, меласса, углеводные кормовые добавки, стимуляторы, антиоксиданты, подстилка для скота;
- лечебные препараты из торфа для ветеринарии.

Медицина. Содержащиеся в торфе физиологически активные вещества придают ряду торфов антисептические и лечебные свойства.

Экстракты торфа могут входить в состав различных видов косметических средств (мази, лосьоны, шампуни) в качестве совмещения лечебно-профилактического действия с косметико-гигиенической функцией [2]:

- этанольный экстракт смолы торфяного воска – лечение кожных, стоматологических и гинекологических заболеваний (лекарственное средство на основе торфа «ТорфЭнал»);
- CO₂-экстракты – получение стерильных экстрактов для лечения, благодаря высокому антимикробному действию;
- фенольные комплексы из торфа – эффективное противовоспалительное средство;
- препараты из торфа – лечение рака, мумификация злокачественных опухолей.

Природоохранная деятельность. Торф, как экологически чистый материал, обладающий высокими адсорбционными свойствами благодаря наличию активных функциональных групп, является основой для получения целевых продуктов природоохранного назначения:

- мелкозернистый сорбент, торфяные маты, волокнистый высокопористый фильтрующий материал, торфодерновые ковры и т.д.
- системы доочистки сточных и ливневых вод, локальные очистные и гидротехнические сооружения;
- боны сорбционного типа и биофильтры – очистка газовых выбросов в атмосферу, локализация аварийных разливов нефтепродуктов на водной поверхности и на почве, предотвращение загрязнений пляжей и береговых линий.
- основа композиций при утилизации органических отходов животноводства и птицеводства, растительных отходов (опад листьев, ботва свёклы, моркови, листья капусты, очистки картофеля, стебли и колосья зерновых культур и т.д.) [2].

Анализ видов торфопродуктов, используемых для промышленности и сельского хозяйства, позволяет говорить о комплексном использовании торфяных ресурсов на основе создания комплексных торфоперерабатывающих производств с безотходной технологией (рис. 1), структура которых может различаться в зависимости от конечного целевого продукта, и позволяет решить задачи экономии природного сырья за счет использования отходов одного производства в качестве сырья для другого [2].

Возможности комплексной переработки торфа

Торф имеет весьма сложный состав и свойства, и торфяная промышленность до настоящего времени не имеет крупных предприятий по комплексной переработке торфа химического и биохимического направлений. Главной причиной этому является активное развитие топливно-энергетического направления использования торфяных ресурсов болот. Однако успешная работа опытно-промышленных цехов и установок (Дукора, Оршинское-1, Бокситогорский завод) и технико-экономические расчеты, проведенные проектным институтом Гипроторф еще в 1979 году, согласно которым из 1 т торфа можно получить в денежном выражении в 23 раза больше продукции, чем только при топливном использовании, показали перспективность именно комплексного химического и биохимического направления переработки торфа.

Экономические преимущества комплексной переработки торфа, как и любого природного сырья, основаны на том, что при переходе от простых механических способов к такой переработке на основе химических и биотехнологических малоотходных технологий повышается степень извлечения полезных компонентов из первичного сырья [2].

Таким образом, становится очевидным, что для полноценного создания технологий комплексного использования торфа необходимо детальное изучение молекулярного состава торфа и процессов разложения соединений, входящих в его состав, так как выделение определённых групп веществ, согласно проведенному анализу литературных источников, проводится с помощью методов химической и термической переработки.

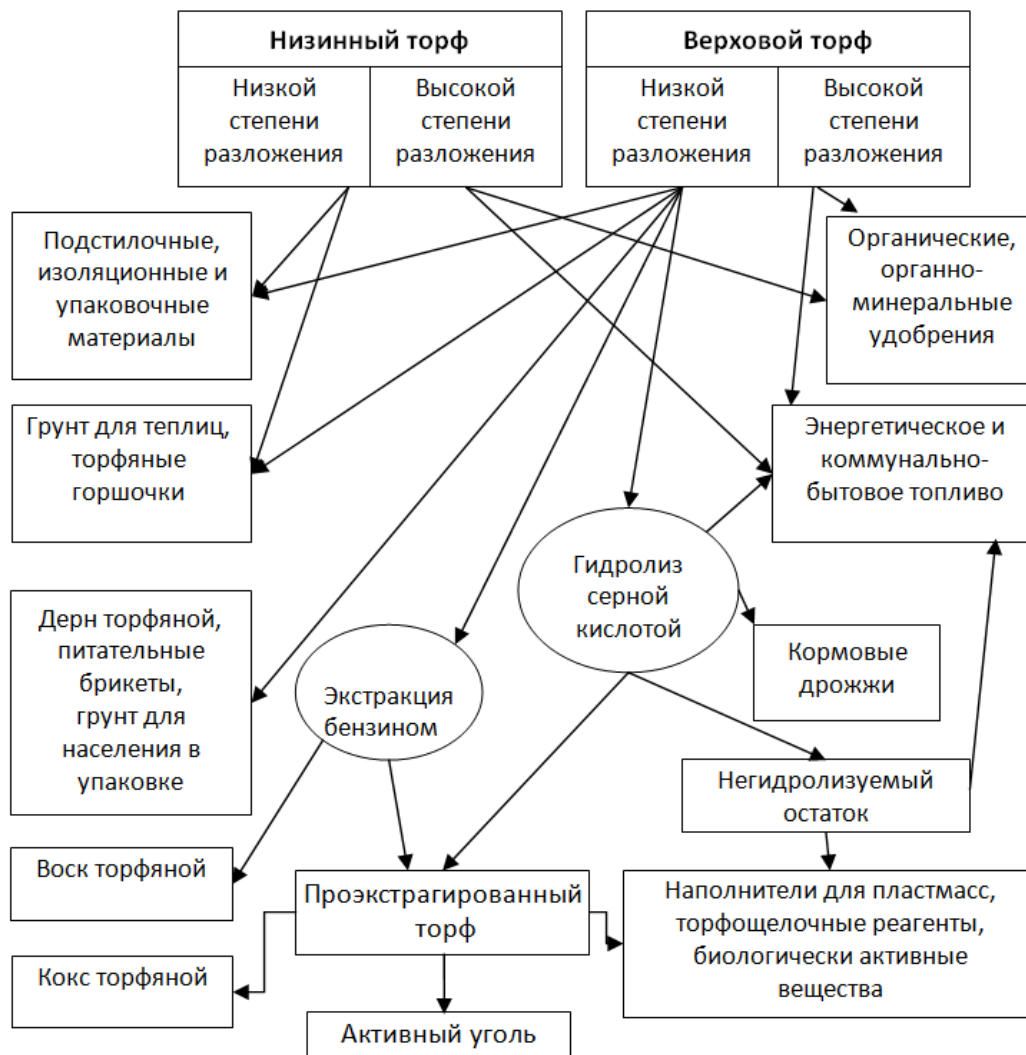


Рис.1. Схема комплексного использования торфа [2]

Определение группового состава торфа

Торф состоит из тех же групп веществ, что и растения-торфообразователи, но к ним еще добавляется новый класс соединений – гуминовые вещества, характерные именно для торфообразования. Как видно из табл. 1, торф по химическому составу занимает промежуточное положение между растительным сырьем и твердыми горючими ископаемыми, и чем меньше его степень разложения, тем он ближе по свойствам к растениям-торфообразователям [3].

Молекулярный состав органической массы торфа		
Структура	Органические соединения	%
Битумы торфа (группа соединений, извлекаемых органическими растворителями)	воски, парафины, смолы (парафиновые, терпеновые и ароматические углеводороды), спирты, кислоты, эфиры	1,2-17,7
Углеводный комплекс	водорастворимые и легкогидролизуемые вещества (пентозы, уроновые кислоты, гексозы)	6,9-63
	трудногидролизуемая целлюлоза	0,2-20
Лигнин растений-торфообразователей и веществ кутино-субериновой группы	нерастворимые вещества	до 26
Гуминовые вещества	смесь высокополимерных соединений с разным молекулярным весом, обладающих свойствами полиэлектролитов благодаря наличию в их составе кислотных и основных групп	до 70

В работе [4] был изучен элементарный и групповой состав торфяных месторождений Томской области, согласно которому:

- в западносибирском торфе больше азота, он богаче водорастворимыми и легкогидролизуемыми веществами (разница составляет 8–13%), а содержание гуминовых кислот ниже на 3–11%. Также он менее сернист по сравнению с торфом европейской территории России;

- разница в содержании гуминовых кислот наиболее заметна в низинных и переходных видах торфа. По остальным групповым соединениям западносибирский и европейский торф близки. Западносибирский торф имеет низкое соотношение между содержанием гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), например, в верховом торфе (фускум, магелланикум-фускум) соотношение гуминовых к фульвокислотам даже ниже единицы, что совершенно не характерно для торфа европейской территории России.

На основе анализа имеющихся в литературе данных можно выделить следующие группы соединений, входящие в состав органической массы торфа.

Битумы торфа – преимущественно смесь восков и смол. Основной частью восков являются карбоновые кислоты, в основном нормального строения с числом углеродных атомов C_4 - C_{28} . Преобладают кислоты $C_{15}H_{31}COOH$, $C_{15}H_{35}COOH$, $C_{19}H_{39}COOH$, $C_{21}H_{43}COOH$, $C_{23}H_{47}COOH$, $C_{25}H_{51}COOH$. В восках установлено также наличие предельных углеводородов (например, тритриаконтан $C_{33}H_{68}$, пентатриаконтан $C_{35}H_{72}$) и оксикислот – $C_{29}H_{58}(OH)COOH$ и спирта с формулой $C_{27}H_{55}OH$.

Смолы состоят из эфиров циклических кислот $C_{11}H_{21}COOH$ и $C_{13}H_{25}COOH$ и циклических спиртов, близких к составу $C_{27}H_{55}OH$. Наряду с эфирами в состав смол входят терпеновые углеводороды и ненасыщенные циклические спирты.

Гуминовые кислоты, входящие в состав торфа, по растворимости в воде и этиловом спирте делятся на три вида: растворимую в воде фульвокислоту; растворимую в спирте гиматомелановую кислоту; нерастворимую ни в воде, ни в спирте гумусовую кислоту. Главной основной частью гуминовых кислот торфа является гумусовая кислота. Содержание ее не бывает ниже 60% от всего количества гуминовых кислот. Элементный состав гумусовой кислоты колеблется в довольно широких пределах: 57,5–64,2% углерода и 4,3–5,4% водорода. Кроме углерода и водорода в этой кислоте постоянно обнаруживается азот (~4%). Присутствие азота объясняется наличием меланоидинов – продуктов конденсации углеводов с аминокислотами.

На основе вышеизложенного и согласно известным экспериментальным данным [4,5], в отличие от топлива с большей степенью метаморфизма, органическая масса торфа содержит, в основном, такие классы соединений, как высшие карбоновые кислоты, предельные углеводороды, углеводы, и т.д. (табл. 2).

Таблица 2

Молекулярный состав торфа		
Класс соединений	Название соединения	Структурная формула
Высшие карбоновые кислоты	Пальмитиновая кислота	$C_{15}H_{31}COOH$
	Стеариновая кислота	$C_{17}H_{35}COOH$
	Арахидиновая кислота	$C_{19}H_{39}COOH$
	Бегеновая кислота	$C_{21}H_{43}COOH$
	Тетраказановая кислота	$C_{23}H_{47}COOH$
	Цератиновая кислота	$C_{25}H_{51}COOH$
Предельные углеводороды	Триаконтан	$C_{33}H_{68}$
	Пентатриаконтан	$C_{35}H_{72}$
Оксикислоты	2-додецил-2-гидроксиоктадекановая кислота	$C_{29}H_{58}(OH)COOH$
Спирты	Гептакозан-1-ол	$C_{27}H_{55}OH$
Эфиры циклических кислот и циклических спиртов	Ментилацетат (Z) Додец-8-енилацетат	$C_{11}H_{21}COOH$
		$C_{13}H_{25}COOH$ близкие к составу $C_{27}H_{55}OH$
Терпеновые углеводороды и ненасыщенные циклические спирты		-
Гуминовые кислоты	Азотсодержащие оксикислоты (фульвокислота, гиматомелановая кислота, гумусовая кислота)	$C_{57}H_{29}O_{11}N(COOH)_5(OH)_7$
		$C_{47}H_{24}O_8N(COOH)_4(OH)_6$
		$C_{45}H_{25}O_8N(COOH)_4(OH)_5$
		$C_{41}H_{28}O_7N(COOH)_3(OH)_5$
Углеводы	Пентозы (рибоза, арабиноза, ксилоза и т.д.)	$C_5(H_2O)_5$, или $C_5H_{10}O_5$
	Уроновые кислоты (галактоурононовая кислота)	$C_6H_{10}O_7$
	Гексозы (глюкоза, манноза, рамноза и т.д.)	$C_6H_{12}O_6$
	Целлюлоза	$[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$
	Лигнин	-

Результаты моделирования структуры соединений торфа

На основе модели Ван Кревелена, согласно которой макромолекула угольного вещества построена из различных элементарных структурных единиц (рис. 2), можно провести моделирование не только различных видов углей, зная их групповой состав [6], но и рассматриваемого в настоящей работе торфа.

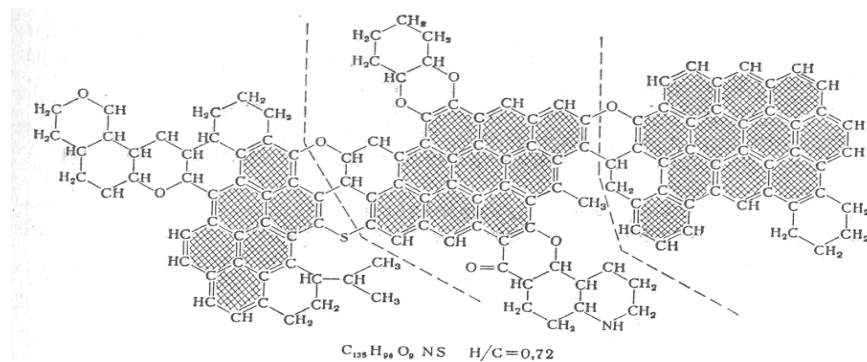


Рис. 2. Модель Ван Кревелена

Были определены структурные фрагменты соединений, входящих в состав торфа. Для моделирования структуры соединений органической массы торфа применяется методика, предложенная авторами [7, 8] и изложенная на примере моделирования структурных фрагментов соединений как исходных, так и возможных продуктов разложения органической массы твердых топлив (рис. 3–5) в работах [7, 8].

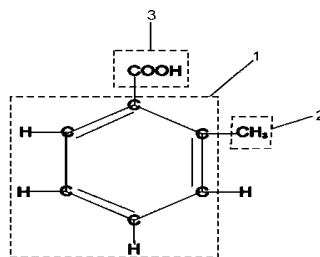


Рис. 3. Структурные фрагменты метилбензойной кислоты

1 – AC_2^1 ; 2 – C_3^3 ; 3 – $COOH$

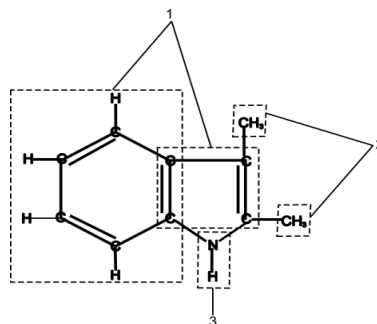


Рис. 4. Структурные фрагменты 2,3-диметил-1H-индола

1 – AC_2^1 ; 2 – C_3^3 ; 3 – (AI)-NH-(AI)

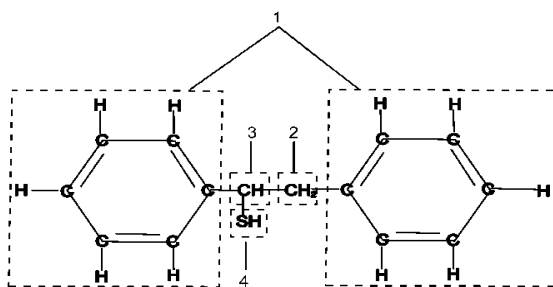
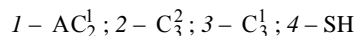


Рис. 5. Структурные фрагменты дибензилсульфида



По вышеприведенному принципу могут быть получены модели других соединений, входящих в состав органической массы топлива и продукты их разложения [6, 8], что позволяет более детально установить механизмы переработки торфа с целью выделения из него ключевых соединений и разработать научно-обоснованные методы прогнозирования их проведения.

Результаты моделирования реакций разложения соединений торфа

На основе полученных структурных фрагментов соединений торфа был проведен расчет термодинамических характеристик (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) данных соединений и возможных продуктов разложения при различных способах термической переработки (пиролиз, гидропиролиз, гидрогенолиз) по алгоритму, представленному в работах [6, 9, 10].

Было определено, что для молекулярного состава торфа наиболее вероятно разложение по механизму гидропиролиза и гидрогенолиза с возможным выходом продуктов, представленных в табл. 3.

Таблица 3

Реакции разложения соединений при гидрогенолизе торфа

Исходное соединение	Реакции разложения	Продукты разложения
Тритриаконтан	$C_{33}H_{68} \xrightarrow{+H_2} C_{16}H_{34} + C_{17}H_{36}$	Гексадекан+гептадекан
Пентатриаконтан	$C_{35}H_{72} \xrightarrow{+H_2} C_{17}H_{36} + C_{18}H_{38}$	Гептадекан+октадекан
Ксилоза	$C_5H_{10}O_5 + 2H_2 \xrightarrow{\geq 150^\circ C, K, изб. P} C_2H_6O_2 + C_3H_8O_3$	Этиленгликоль+ +глицерин
Глюкоза	$C_6H_{14}O_6 + H_2 \xrightarrow{\geq 150^\circ C, K, изб. P} 2C_3H_8O_3$	Глицерин
При участии щелочи NaOH		
Пальмитиновая кислота	$C_{16}H_{32}O_2 + NaOH \xrightarrow{\leq 150^\circ C} C_{16}H_{31}O_2Na$ $C_{16}H_{31}O_2Na + NaOH \xrightarrow{\geq 150^\circ C} C_{16}H_{32} + Na_2CO_3$	Пентадекан+карбонат натрия
Стеариновая кислота	$C_{18}H_{36}O_2 + NaOH \xrightarrow{\leq 150^\circ C} C_{18}H_{35}O_2Na$ $C_{18}H_{35}O_2Na + NaOH \xrightarrow{\geq 150^\circ C} C_{17}H_{36} + Na_2CO_3$	Гептадекан+карбонат натрия
Арахидиновая кислота	$C_{20}H_{40}O_2 + NaOH \xrightarrow{\leq 150^\circ C} C_{20}H_{39}O_2Na$ $C_{20}H_{39}O_2Na + NaOH \xrightarrow{\geq 150^\circ C} C_{19}H_{40} + Na_2CO_3$	Нонадекан+карбонат натрия

Бегеновая кислота	$C_{22}H_{44}O_2 + NaOH \xrightarrow{\leq 150^\circ C} C_{22}H_{43}O_2Na$ $C_{22}H_{43}O_2Na + NaOH \xrightarrow{\geq 150^\circ C} C_{21}H_{44} + Na_2CO_3$	Генэйкозан+карбонат натрия
Тетракозановая кислота	$C_{24}H_{48}O_2 + NaOH \xrightarrow{\leq 150^\circ C} C_{23}H_{47}O_2Na$ $C_{23}H_{47}O_2Na + NaOH \xrightarrow{\geq 150^\circ C} C_{23}H_{48} + Na_2CO_3$	Трикозан+карбонат натрия
Церотиновая кислота	$C_{25}H_{52}O_2 + NaOH \xrightarrow{\leq 150^\circ C} C_{25}H_{51}O_2Na$ $C_{25}H_{51}O_2Na + NaOH \xrightarrow{\geq 150^\circ C} C_{25}H_{52} + Na_2CO_3$	Пентакозан+карбонат натрия
Гуминовые кислоты	$торф + 0.1н.1нN \longrightarrow ГК - COONa +$ $+ ГМК - COONa + ФК - COONa +$ $+ Нерастворимый осадок$	Гуматы
Ксилоза, арабиноза	$C_5H_{10}O_5 \xrightarrow{\geq 150^\circ C, K, изб. P} C_2H_6O_2 + C_3H_8O_3$	Этиленгликоль+глицерин
Глюкоза, манноза	$C_6H_{12}O_6 + H_2 \xrightarrow{+H_2} C_6H_{14}O_6$ $C_6H_{14}O_6 + H_2 \xrightarrow{\geq 150^\circ C, K, изб. P} 2C_3H_8O_3$	Глицерин
Лигнин	$лигнин + H_2 \xrightarrow{K} C_9H_{16}O$	1-н-пропил-4-оксициклогексан

Выводы

На основе обзора литературных источников о направлениях комплексного использования торфа и анализа как его молекулярного состава, так и способов переработки, можно заключить, что соединения торфа являются источником для производства следующих продуктов: это производные циклогексаны (применение в медицине); глицерин (пищевая промышленность, медицина и т.д.); этиленгликоль (приготовление незамерзающих и охлаждающих составов); гуматы (эффективные почвенные мелиоранты и материалы для восстановления деградированных и загрязненных почв); карбонат натрия (стеклольное производство, мыловарение и производство стиральных и чистящих порошков, эмалей, для получения ультрамарина, а также для смягчения воды паровых котлов и снижения жесткости воды, для обезжиривания металлов и десульфатизации доменного чугуна); пентакозан (производство вазелина и парафина); производные деканы (легкие керосины для дозвуковой авиации).

Проведенное моделирование молекулярного состава торфа и процессов разложения показывает, качественный состав продуктов и их применение напрямую зависят от молекулярного состава торфа и условий проведения процесса, что существенно влияет на выход определенных продуктов и выбор метода их получения.

Литература

- [Электронный ресурс] Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года. Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/node/1026>.
- Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России / Под общей редакцией чл.-корр. РАСХН Л.И. Инишевой. Томск: ЦНТИ, 2005, с. __ илл.14.
- Инишева Л.И., Маслов С.Г. К вопросу о составе гуминовых кислот торфов Сибири // Химия растительного сырья. – 2015. №2. – С. 201–207.

4. Szajdak L.W., Inisheva L.I., Lapshina E.D., Styła K., Gaca W., Meysner T., Szczepański M. 2014. The xanthine oxidase and phenol oxidase activity of natural peat and peat-moorsh soils decomposition // West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present: Proceedings of the fourth international field symposium (Novosibirsk, August 4-17, 2014) / Titlyanova A.A., Dergacheva M.I. (eds.). Tomsk: publishing house of Tomsk University. P. 30–32.

5. Fereidoun Rezanezhada, Jonathan S. Priceb, William L. Quintonc, Bernd Lennartzd, Tatjana Milojevic, Philippe Van Cappellena Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists// Chemical Geology. V. 429, 1 July 2016, PP. 75-84.

6. Пятыхина М.В. Повышение эффективности процесса термической переработки твердого топлива: диссертация канд. техн. наук: 05.14.04/Пятыхина Мария Валерьевна; [Место защиты: Казан. нац. исслед. технол. ун-т]. Казань, 2013. 234 с.

7. Гюльмалиев А.М., Гагарин С.Г., Головин Г.С. Структура и свойства органической массы горючих ископаемых // ХТТ. 2004. №6. С. 10–31.

8. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля, М.: Издательство МГТУ, 2003. 556с.

9. Пятыхина М.В., Мингалеева Г.Р. Моделирование процесса разложения органической массы угля // ЖПХ. Т. 82. Вып. 2. 2009. №1. С. 301–306.

10. Пятыхина М.В., Мингалеева Г.Р. Моделирование процесса образования продуктов термохимической переработки угля // Теплоэнергетика. 2010. №9. С. 67–70.

Авторы публикации

Пятыхина Мария Валерьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетическое машиностроение» (ЭМ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Мингалеева Гузель Рашидовна – докт. техн. наук, заведующая кафедрой «Энергетическое машиностроение» (ЭМ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. [Jelektronnyj resurs] Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda. Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 №1715-r Ob Jenergeticheskoi strategii Rossii na period do 2030 goda Rezhim dostupa: <http://minenergo.gov.ru/node/1026>

2. Koncepcija ohrany i racional'nogo ispol'zovanija torfjanyh bolot Rossii. Pod obshhej redakciej chl.-korr. RASHN L.I. Inishevoj, Tomsk: CNTI, 2005, s. __ ill. 14.

3. Inisheva L.I., Maslov S.G., K voprosu o sostave guminovyh kislot torfov Sibiri // Himija rastitel'nogo syr'ja. - 2015. №2. - S. 201-207.

4. Szajdak L. W., Inisheva L. I., Lapshina E. D., Styła K., Gaca W., Meysner T., Szczepański M. 2014. The xanthine oxidase and phenol oxidase activity of natural peat and peat-moorsh soils decomposition // West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present: Proceedings of the fourth international field symposium (Novosibirsk, August 4-17, 2014) / Titlyanova A.A., Dergacheva M.I. (eds.). Tomsk: publishing house of Tomsk University. P. 30–32.

5. Fereidoun Rezanezhada, Jonathan S. Priceb, William L. Quintonc, Bernd Lennartzd, Tatjana Milojevic, Philippe Van Cappellena Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists// Chemical Geology. V. 429, 1 July 2016, PP. 75-84

6. Pjatygina, Marija Valer'evna. Povyshenie jeffektivnosti processa termicheskoj pererabotki tverdogo topliva: dissertacija kandidata tehniceskix nauk: 05.14.04/Pjatygina Marija Valer'evna; [Mesto zashhity: Kazan. nac. issled. tehnol. un-t].- Kazan', 2013.- 234 s.

7. Gjul'maliev A.M., Gagarin S.G., Golovin G.S. Struktura i svojstva organicheskoi massy gorjuchih iskopaemyh // HTT. – 2004. №6. – S. 10-31.

©М.В. Пятыгина, Г.Р. Мингалеева

8.Gjul'maliev A.M., Golovin G.S., Gladun T.G. Teoreticheskie osnovy himii uglja, M.: Izdatel'stvo MGGU, 2003. – 556s.

9.Pjatygina M.V., Mingaleeva G.R. Modelirovanie processa razlozhenija organicheskoj massy uglja // ZhPH. T. 82. Vyp. 2. 2009. №1. S. 301-306.

10.Pjatygina M.V., Mingaleeva G.R. Modelirovanie processa obrazovaniya produktov termohimicheskoj pererabotki uglja // Teplojenergetika. 2010. №9. – S. 67-70.

Authors of the publication

Mariya V. Pyatygina – cand. sci. (techn.), assistant professor, Department «Power Engineering » (PE), Kazan state power engineering university (KSPEU).

Guzel' R. Mingaleeva – doctor sci. (techn.), head of department «Power Engineering » (PE), Kazan state power engineering university (KSPEU).

Поступила в редакцию

20 марта 2017 г.