

<https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-proizvodstva-netkanyh-materialov> (date of access: 03/17/2022).

2. Kulazhenko E.L., Kogan A.G. The use of textile waste in the production of multilayer materials. Vestnik VGTU. 2008. No. 2 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tekstilnyh-othodov-pri-proizvodstve-mnogosloynnyh-materialov> (date of access: 03/17/2022).

3. On industrial production in 2021 // Rosstat URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/12\\_02-02-2022.html](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/12_02-02-2022.html) (date of access: 02/14/2022);

4. Katkar, Pooja, Kadole, R.V. Nonwoven reinforced composites-a technological review // Man-Made Textiles in India. 2018. V.46. P.337-340;

5. Tausif M., Pliakas A., O'Haire T., Goswami P., Russell S.J. Mechanical Properties of Nonwoven Reinforced Thermoplastic Polyurethane Composites // Materials. 2017.V.10. P.618;

6. Tausif, M., O'Haire T. Effect of Fiber Type on Mechanical Properties of Nonwoven Reinforced TPU Composites // Proceedings of Autex 2016. 16th World Textile Conference Autex 2016, 08-10 Jun 2016, Ljubljana, Slovenia;

7. Wanassi B. Jaouadi M., Ben Hassan M., Msahli S. Effects of Manufacturing Technology on the Mechanical Properties of Alfa Fiber Non-woven Reinforced PMMA Composites // Composites Research. 2015. V.28, no.3. P.112-117.

©Chirkov D.D. – student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, Ural State Forestry Engineering University (USFEU), e-mail: [chirkovdd@m.usfeu.ru](mailto:chirkovdd@m.usfeu.ru); Shkuro A.E. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: [shkuroae@m.usfeu.ru](mailto:shkuroae@m.usfeu.ru); Glukhikh V.V. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: [gluhihvv@m.usfeu.ru](mailto:gluhihvv@m.usfeu.ru); Kulazhenko Y.M. – PhD student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: [kulazhenkoyuliya@mail.ru](mailto:kulazhenkoyuliya@mail.ru); Bandurkin D.V. – Production Development Director of IVisy Rus LLC, , [dmitrybandurkin@gmail.com](mailto:dmitrybandurkin@gmail.com).

УДК 628.31

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКЦИИ ФЕНТОНА И ОЗОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОРАСТВОРИМОЙ ФРАКЦИИ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ БЫСТРОГО ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ

А.Н. Грачев, Г.М. Бикбулатова, В.Н. Башкиров, А.Р. Валеева, А.И. Валиуллина, О.В. Дряхлов

*Существует проблема коммерциализации технологии пиролиза в связи с рядом нерешенных острых задач. При этом данная технология позволяет полностью перерабатывать отходы лигноцеллюлозного сырья в товарные продукты (бионефть и биоуголь). Одна из значимых задач является применение или удаление водорастворимой фракции бионефти, которая значительно ухудшает свойства бионефти как топлива, как фенолзамещающая фракция, в качестве красок, битумного вяжущего и т.д. Пути применения водорастворимой фракции достаточно узкое ввиду содержания до 95 % воды. Встает вопрос утилизации данного отхода. Слив в канализации также невозможен в связи с большим содержанием органических веществ и для полной нейтрализации необходимо разбавление водой в более чем в 700 раз. На территории РФ запрещено разбавление отходов водой из центрального водоснабжения и тем самым возникает проблема очистки данного стока. Актуальным является разработка очистки данной сточной воды для утилизации ее в центральную канализацию. Большая эффективность 94% в ходе предварительных испытаний достигнута методом окисления в условиях реакция Фентона вследствие большего соответствия её условиям относительно прочих методов кислая среда и наличие окисляющихся веществ в очищаемой сточной воде.*

**Ключевые слова:** реакция Фентона, озонирование, сточные воды, пиролиз, водорастворимая фракция, отходы древесины.

## Введение

Лигноцеллюлоза является самым распространённым компонентом биомассы, она содержится в сельскохозяйственных отходах, древесине, отходах целлюлозно-бумажной промышленности. Более того она является возобновляемым сырьем. Использование лигноцеллюлозных материалов, особенно из сельскохозяйственного и лесного секторов, может помочь снизить чрезмерную зависимость от нефтехимических ресурсов, обеспечивая при этом устойчивую альтернативу управлению отходами. Существует огромное множество применения лигноцеллюлозной биомассы, такие как биопереработка для производства биотоплива и биохимии, биомедицинские, фармацевтические препараты, биопластики, многофункциональные углеродные материалы и другие экологически чистые продукты [1, 2].

Одним из эффективных способов переработки лигноцеллюлозной биомассы является пиролиз, который позволяет вне зависимости от состава лигноцеллюлозной биомассы перерабатывать ее в жидкие продукты - бионефть, полученная в результате быстрого пиролиза набирает популярность во всем мире как замена ископаемого топлива. [3, 4]. Применение бионефти в качестве транспортного топлива помогает сократить выбросы парниковых газов и сохранить экологический баланс.

Бионефть имеет теплотворную способность почти половины дизельного топлива, т.е. 16–19 МДж/кг, но худшие свойства, такие как высокое содержание воды, высокая вязкость, низкий pH и плохая стабильность, препятствуют применению бионефти в качестве топлива. Наличие кислородосодержащих компонентов в бионефте и являются основным ухудшающим показателем для обширного использования бионефти. Процентное содержание воды в бионефте варьируется от 15 до 35% в зависимости от типа сырья и условий пиролиза [5]. Однако в связи с тем, что бионефть имеет разнообразный состав и связанную структуру выделить лишь воду не является возможным.

При каждом из методов модернизации бионефти неминуемо образуется сточная вода (древесный уксус), содержащая органические кислоты фураны и фенолы (см. таблица 1). Выход древесного уксуса среди продуктов пиролиза составляет более 20%. Это означает, что при обработке 1000 кг сырья будет произведено более 200 кг СВ. Древесный уксус используется как сырье для выделения лесохимической уксусной кислоты, также имеются попытки его применения в качестве биостимулятора для семян или антисептик для древесины [6].

Одним из путей применения данной водорастворимой фракции, так называемой древесным уксусом является использование ее как органическая добавка в сельскохозяйственной промышленности. Применение древесного уксуса в качестве органической добавки упоминается достаточно давно [7-11]. Современные исследования по использованию древесного уксуса впервые были проведены в Японии в начале 1950-х годов. Сообщалось, что он эффективен против: розеткообразной или зеленой мозаики пшеницы, нематоды сладкого картофеля, табачной мозаики, мучнистой росы листовых овощей, листовой минирующей моли и других насекомых-вредителей. Однако из-за появления агрохимикатов и их мгновенного воздействия исследования древесного уксуса отошли на второй план.

Десять лет назад интерес к древесному уксусу возродился, поскольку эффективность и безопасность агрохимикатов были поставлены на первое место. В настоящее время он широко используется японскими фермерами, а также быстро набирает обороты на Тайване и в Корее. Однако в последние 2-3 года использование древесного уксуса для сельскохозяйственного назначения значительно увеличилось, чему свидетельствует большое количество публикаций [12-15]. По-видимому, это связано с перспективным использованием различных методов пиролиза для переработки отходов лигноцеллюлозного сырья. И встает вопрос о применении водорастворимой фракции, полученной при фракционировании бионефти.

Применение древесного уксуса и биоугля улучшает структуру почвы и облегчают поступление питательных веществ и воды, позволяя растениям расти быстрее и давать более высокие урожаи. Особенно при выращивании садовых растений, выращивании беспочвенных культур и производстве фруктов, поскольку применение древесного уксуса и биоугля способствует поглощению калия, чтобы растения имели сильную корневую систему, это помогает растениям расти более здоровыми, предотвращая болезни и повреждения, передающиеся через почву [15].

И это внедрение новых эффективных органических удобрений является весьма привлекательной и актуальной темой. А также симбиоз использования древесного уксуса вместе с биоуглем, также образующимся при пиролизе позволяет максимально приблизить к коммерциализации технологии пиролиза различного вида лигноцеллюлозного сырья [16, 17].

Древесный уксус обладает антиоксидантными, противомикробными и антитермитными свойствами и обычно используется в качестве добавки к корму для животных, средства для удаления запаха или противовоспалительного средства [18]. При применении в малых дозах древесный уксус можно использовать как некорневое или почвенное удобрение [19-21]. Низкая концентрация древесного уксуса (0,65–1,08 мл/л) может эффективно подавлять рост вредных водорослей. В высоких дозах древесный уксус может вызывать фитотоксичность для растений [22], служащий потенциальным гербицидом. Данные свидетельствуют о том, что древесный уксус, полученный в результате пиролиза отходов обрезки, можно использовать в качестве несинтетического гербицида для борьбы с широколиственными сорняками [23].

Однако, нужно понимать, что такое большое количество древесного уксуса для применения в сельскохозяйственной промышленности невозможно и встает вопрос утилизации данного продукта как сточной воды.

В развивающихся странах одной из самых серьезных современных дилемм является управление промышленными сточными водами. В этих странах промышленные стоки сбрасываются непосредственно в естественную канализацию, канализационную систему, внутренний септик или на близлежащее поле. Некоторые из этих промышленных сточных вод очищаются недостаточно или не очищаются перед сбросом [24].

**Таблица 1- Состав и свойства сточной воды, полученной при выделении фенольной фракции из жидких продуктов быстрого пиролиза древесины**

<i>Химическое наименование</i>	<i>Массовая доля, %</i>	<i>CAS №</i>
Уксусная кислота	1.93 - 22	64-19-7
Пропионовая кислота	0.05 - 1.03	79-09-4
Бутановая кислота	0.14 - 0.45	107-92-6
Кротоновая кислота	0.008 - 0.05	107-93-7
Фурфурол	0.43 - 2.52	98-01-1
Метоксифенолы (по 2-метоксифенолу)	1.63 - 5.78	90-05-1
Вода	75-94	7732-18-5

Анализ данных таблицы 1 показывает сложный химический состав сточной воды (СВ) пиролиза древесины, состоящей преимущественно из органических загрязняющих веществ, что подтверждается высоким значением общего химического потребления кислорода (ХПК)  $\approx 120000$  мг О/л. Кроме того, сток содержит эмульгированную углеводородную фазу и имеет низкое значение водородного показателя рН ( $\approx 2$ ), что в совокупности обуславливает дополнительные сложности при очистке ввиду необходимости нейтрализации и деэмульгирования. Согласно результатам биотестирования летальная кратность разбавления рассматриваемого стока оставляет 714:1 раз, что характеризует его крайнюю токсичность. Входящий в состав стока фурфурол обладает канцерогенным и мутагенным действием, а метоксифенолы в представленном количестве вызывают раздражение органов дыхания. Таким образом, рассматриваемый отход представляет потенциальную опасность как для экосистемы в случае попадания в окружающую среду, так и для здоровья человека при непосредственном воздействии на него. На основании вышеизложенного показана высокая токсичность и сложность состава СВ пиролиза древесины, что требует всестороннего исследования рассматриваемой задачи.

Учеными Римского университета Ла Сапиенца, были проведены исследования по биологической очистке сточных вод пиролиза тополя, где оценивалось влияние концентрации органических веществ, рН и температуры [25]. В качестве микроорганизмов использовалась биомасса от очистки городских сточных вод. Результаты исследования показали эффективность снижения органических соединений от 49 до 62 %. Тем не менее ввиду необходимости поддержания постоянного нейтрального значения водородного показателя, низких концентраций загрязняющих веществ и оптимальной температуры для микроорганизмов метод биоокисления в случае нашей СВ является малоприменимым.

Имеются исследования по очистке сточных вод при пиролизе пластиковых отходов методами каталитического озонирования [26]. Исследования показали снижение уровня ХПК примерно на 32 и 38% после 1 часа обработки с использованием подходов каталитического озонирования в щелочной среде [27], что проблематично для кислого стока пиролизной жидкости. Еще один эффективный метод очистки сточных вод — это метод электрохимического окисления совместно с биологической обработкой.

Данные исследования показали хорошие результаты по очистке фенольных соединений и высокую степень разложения фурфурола [28]. Более перспективным выглядит метод окисления пероксидом водорода в условиях реакции Фентона, предполагающей значение pH среды  $\approx 2-3$ , соответствующей нашему отходу [29].

Мембранные методы позволяют разделять смеси различного состава с помощью селективно проницаемой пористой перегородки – мембраны под воздействием движущих сил, что особенно актуально для многокомпонентных углеводородных отходов бионефти. Одним из наиболее распространённым мембранным процессом, осуществляемыми под воздействием давления, являются ультрафильтрация, предназначенная для отделения дисперсных примесей с размером частиц  $\approx 2-100$  нм. Недостаток мембран заключается в их забиваемости, с чем борются большинство исследователей данной области путём модификации фильтров. Проведёнными исследованиями [30 - 32] показана эффективность разделения водомасляных эмульсий более 99%.

Исследователи [33] предположили о возможности очистки сточной воды мелкодисперсным углем, получаемым при технологии пиролиза, тем самым осуществляя дополнительную утилизацию отхода производства. Работа направлена на получение активированного угля из биоугля и применения его как сорбента при очистке сточных вод, образующихся при пиролизе древесины тополя. Доказана повышенная сорбционная способность в 2,5 раза активированного биоугля, полученного из пиролизной установки в отличие от покупного активированного угля. Недостатком метода является необходимость периодической регенерации адсорбента.

Также имеются исследования по очистке древесного уксуса с помощью микробной электролизной ячейки с анодом из различных биоуглей полученных при пиролизе. Результаты показали, что МЭЖ с биоуглем из скорлупы кокосового ореха оказали очевидный положительный эффект при обработке древесным уксусом, при этом удаление ХПК достигло 71,4% [34]. Однако данный метод не позволил очистить древесный уксус до необходимых параметров для слива в централизованную канализацию.

На основании проведенного анализа в качестве основных методов очистки СВ пиролиза древесины предложена совокупность методов, заключающихся в последовательном проведении стадий очистки в виде: окислении озоном и перекисью водорода.

### Материалы и методы

Продукты пиролиза были получены на установке FPP-02, разработанной компанией Энерголеспром [35]. Пиролизную жидкость и биоуголь получали из измельченной древесины березы при температуре  $500 \pm 50$  °С. Влажность древесины составляла  $8 \pm 0,5\%$  (ASTM D4442-16); содержание золы составляло 0,3%, (ASTM D1102-84); размер щепы древесины составлял 0,5–5,0 мм при среднем размере 1,2 мм. В качестве модельной сточной воды использовался вакуумный дистиллят жидких продуктов быстрого пиролиза древесины. Вакуумная дистилляция осуществлялась при остаточном давлении 20 кПа и температуре 80 °С в реакторе с мешалкой [36]. Для возможности очистки сточной воды были исследованы ее состав и свойства (плотность стока 1,0–1,15 г/см<sup>3</sup>, pH  $\approx 2$ ). Для исследования состава была проведена предварительная экстракция дистиллята диэтиловым эфиром (1:1), выдержка при комнатной температуре 15 мин. Диэтиловый эфир с экстрагированными органическими веществами был исследован методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС) с использованием прибора GCMS-QP2010 фирмы «Shimadzu» на колонке HP-1 MS. Состав органических веществ с вычетом диэтилового эфира представлен в таблице 1.

В практике промышленной и лабораторной очистки воды помимо основных технологических стадий используются вспомогательные процессы предварительной или последующей обработки стока для достижения необходимых характеристик. В качестве таковых в настоящем исследовании реализованы нейтрализация, отстаивание, фильтрование и коагуляция с флокуляцией.

Предварительно были проведены исследования по очистке стока сорбентом в виде биоугля полученного на установке FPP-02. Очистка проводилась в статическом и динамическом режимах. В первом случае сточная вода объемом 100 мл с помощью мешалки перемешивалась с биоуглём массой 100 г в течении 3-х часов, после чего проба очищалась фильтрованием. Очистка в динамических условиях осуществлена на установке, с помощью которой сточная вода проходила через слой мелкодисперсного древесного угля, заполненного в делительную воронку объемом 1 л. Пробы очищенной воды, отбирались с расходом 2 капли в секунду 4 порциями объемом по 100 мл и отфильтровывались. Эффективность очистки в динамическом режиме составила 77%, в статическом 58%.

*Нейтрализация* СВ предназначена для повышения значения рН до нейтрального с помощью гидроксида натрия.

*Отстаивание* является самым простым и дешёвым способом отделения дисперсных примесей, эффективность которого снижается с увеличением агрегативной устойчивости загрязняющих веществ. Процесс осуществлялся в течение 2 ч с использованием делительной воронки объёмом 1 л.

*Фильтрация* в данном исследовании является альтернативой отстаиванию и выполнялась с помощью стеклянной воронки и фильтровальной бумаги марки Ф.

*Коагуляция и флокуляция* предназначены для удаления более мелких дисперсных частиц, не отделяемых отстаиванием и фильтрованием. Процесс проводился с предварительной нейтрализацией 20% раствором гидроксида натрия до достижения рН  $\approx 6,5$  и добавлением 50 мг/л 10% раствора оксихлорида алюминия в качестве коагулянта, перемешиванием, последующим введением 3 мг/л флокулянта 1% раствора полиакриламида марки 1150 и повторным перемешиванием. Далее образовывался осадок, который отделялся фильтрованием.

*Озонирование* производилось на установке-озонаторе (Озон-2к) рис. 1 расход озона 3 мг/л. Предварительно проба 50 мл отфильтровывалась через бумажный фильтр. Производительность озон-воздушной смеси 80 л/ч. Обработка озоном проводилась в течение 3 часов в мерной колбе при комнатной температуре. В начале озонирования образовывалась пена, суммарный объём которой вместе со стоком составлял 250 мл. Данное увеличение было циклическим, что обуславливается содержанием карбоксильных групп/кислот, придающих жидкости свойства поверхностно-активных веществ.



Компрессор



Озонатор



Мерная колба с образцом



Образец после озонирования

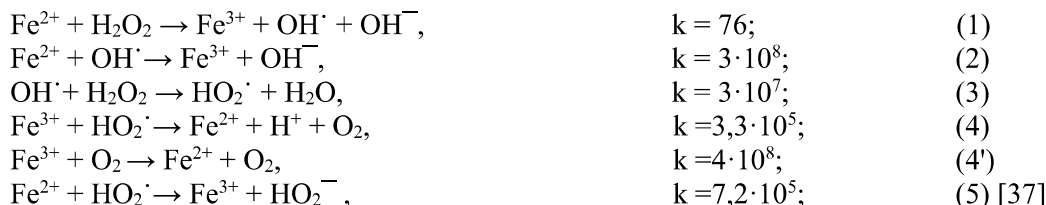
Образец отфильтрованный  
через бумажный фильтр

Исходный образец

Рис. 1. Озонирование сточной воды

*Реакция Фентона.* После предварительного отделения большей части эмульгированной фазы отстаиванием и частичной нейтрализацией до рН  $\approx 2,5$  к 100 мл пробы СВ добавлялись 15 мл 30% раствора перекиси водорода и 0,1 мг сульфата железа (II) в качестве катализатора, после чего проба нейтрализовалась до рН  $\approx 2,5$ . Процесс окисления с последующей нейтрализацией осуществлён в 3

стадии. Далее у всех полученных образцов определяли рН и химическое потребление кислорода (ХПК). В настоящее время поведение системы Фентона описывается совокупностью последовательных стадий:



### Определение ХПК

Определение ХПК проводили ускоренным методом обратного титрования. Предварительно измерялась холостая проба, которая состояла из 1 мл дистиллированной воды, 2.5 мл 0.25 н раствора бихромата калия и 7.5 мл концентрированной серной кислоты. В результате образовывался раствор светло-коричневого цвета. Далее к нему добавляли индикатор - раствор н-фенилантраниловой кислоты. После чего проводили титрование полученной смеси 0,25 н раствором соли Мора. Титрование прекращали после окрашивания раствора в светло-зеленый цвет. Средний расход раствора Мора составил для двух параллельных проб 2.35 мл.

После чего было проведено титрование исследуемых образцов, где вместо дистиллированной воды добавлялась анализируемая проба. Перед титрованием пробу сточной воды необходимо было разбавить в 100 раз дистиллированной водой в связи с высоким содержанием органических веществ. Вычисление ХПК проводили по формуле:

$$\text{ХПК} = \frac{(V_x - V) \cdot 0.25 \cdot 8 \cdot 1000}{V_{\text{п}}}$$

где  $V_x$  - объём титранта при титровании холостой пробы,  $V$  - объём титранта при титровании анализируемой пробы, 8 - кислородное число, 0.25 - нормальность раствора соли Мора,  $V_{\text{п}}$  - объём пробы.

Определение рН выполнено потенциометрическим методом с использованием рН-метра марки КП-150 МИ.

### Результаты и обсуждения

Результаты измерения образцов сточной воды после различных стадий очистки представлены в таблице 2.

Таблица 2 -Результаты исследования очистки сточной воды сорбентом

№	Наименование образца	ХПК, мг О/л	рН
0	Исходная сточная жидкость	120 000	2,17
1. Окисление			
1.1 Озонирование			
1.1	Фильтрация + озонирование	65 000	1,95
1.2 Окисление пероксидом водорода в условиях реакции Фентона			
1.2.1	Отстаивание	100 000	2,17
1.2.2	+ нейтрализация до рН ≈ 2,5+ окисление пероксидом водорода (1 стадия)	60 000	1,87
1.2.3	+ нейтрализация до рН ≈ 2,5+ окисление пероксидом водорода (2 стадия)	28 000	1,85
1.2.4	+ нейтрализация до рН ≈ 2,5+ окисление пероксидом водорода (3 стадия)	6 000	3,22
1.2.5	+ адсорбция в статическом режиме	5 000	3,25

Данными таблицы 2 в процессе апробации озонирования ХПК очищаемого стока снизилось со 120000 до 65000 мгО/л, эффективность составила 45,8%. Как отмечено выше для озонлиза более приемлемой является щелочная среда. В этой связи в качестве альтернативного реагента выбран пероксид водорода для реакции Фентона, предполагающей рН среды от 2 до 3, что актуально для кислого стока. В ходе предварительного отстаивания ХПК снизилось до 100000 мгО/л, эффективность составила 16,6%.

Дальнейшее подщелачивание до  $\text{pH} \approx 2,5$ , добавления перекиси водорода в качестве окислителя и сульфата железа (II) в качестве катализатора привело к снижению рассматриваемого параметра до 6000 мгО/л, а в результате последующих 2 и 3 стадии подщелачивания и окисления - до 28000 и 6000 мгО/л, соответственно. Таким образом суммарная эффективность процесса окисления в условия реакции Фентона составила 94%, что в рамках настоящего исследования является лучшим результатом.

Необходимо отметить, что дальнейшие попытки окисления на 4 и последующих стадиях не приводят к снижению содержания органических веществ. Конечное значение водородного показателя - 3,22. Дальнейшая попытка адсорбционной доочистки биоуглем в статическом режиме привела к незначительному снижению содержания загрязняющих веществ по ХПК до 5000 мгО/л, что говорит о необходимости дополнительной активации угля. Результаты очистки стока подставлены на рис. 2.



Рис.2. Результаты очистки водорастворимой фракции биоинефти

### Выводы

На основании результатов проведенных исследований показано, что каждый из апробированных методов способен производить очистку воды от продуктов пиролиза отходов древесины, эффективность которой будет зависеть от тщательности проработки соответствующего технологического решения.

Большая эффективность 94% в ходе предварительных испытаний достигнута методом окисления в условиях реакция Фентона вследствие большего соответствия её условиям относительно прочих методов - кислая среда и наличие окисляющихся веществ в очищаемой сточной воде.

В тоже время конечное значение ХПК = 6000 мгО/л не позволяет рекомендовать этот сток для сброса в центральную КНС на территорию РФ, где норматив по рассматриваемому параметру составляет 500 мгО/л. Таким образом, разрабатываемая технология требует окончательной доочистки, в качестве которой предполагается система обратного осмоса, либо использование биологической очистки. Также следует провести исследования по активации биоугля полученного при пиролизе древесины и использования его как сорбент для очистки СВ.

### Литература

- Okolie, J.A., Nanda, S., Dalai, A.K. et al. (2021) Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass. *Waste Biomass Valor* 12, 2145–2169. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01123-0>.
- Olatunji, Obafemi & Akinlabi, Stephen & Madushele, Nkosinathi (2020). Application of Lignocellulosic Biomass (LCB). [10.1007/978-3-030-38032-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38032-8_1).
- Parakh D. Pranav, Nanda Sonil, Kozinski A. Janusz, Eco-friendly Transformation of Waste Biomass to Biofuels, *Current Biochemical Engineering (Discontinued)* 2020; 6(2). <https://dx.doi.org/10.2174/2212711906999200425235946>.
- Nanda, S., Azargohar, R., Dalai, A.K., Kozinski, J.A.: An assessment on the sustainability of lignocellulosic biomass for biorefining. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 50, 925–941 (2015);
- Wang, Shurong & Gu, Yueling & Liu, Qian & Yao, Yan & Guo, Zuogang & Luo, Zhongyang & Cen, Kefa. (2009). Separation of bio-oil by molecular distillation. *Fuel Processing Technology.* 90. 738-745. [10.1016/j.fuproc.2009.02.005](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.02.005).
- Ahmad M., Rajapaksha A., Lim, et al. (2013). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere.* 99, 19-33.
- Du, H.G., M. Ogawa, S. Ando, E. Tsuzuki and S. Murayama. 1997. Effect of mixture of charcoal with pyroligneous acid on sucrose content in netted melon (*Cucumis melo* L.var. *reticulatus* Naud) fruit. *Jpn J Crop*

Sci. 66(3): 369-373.

8. Sechie, H. A. Assessment of pyroligneous liquid as a potential organic fertilizer. Ecological agriculture and sustainable development. Center for Research in Rural and Industrial Development, v. 1, p. 591-595, 1998.

9. Ichikawa, T. and Y. Ota. 1982. Plant growth-regulating activity of pyroligneous acid. I- Effect of pyroligneous acid on the growth of rice seedlings. Jpn J Crop Sci. 51(1):14-17.

10. Shibayama, H. 1998. Effects of application of pyroligneous acid solution produced in Karatsu city and growth and free sugar contents of storage roots of sweet potatoes. Marine and Highland Bioscience Center Report 7:15-23.

11. Yoshimoto, T., 1994. Present status of wood vinegar studies in Japan for agricultural. usage, in Proceedings of the 7th International Congress of the Society for the Advancement of. Breeding Researches in Asia and Oceania (SABRAO): Taichung District Agricultural. Improvement Station, v. 3, p. 811 -820.

12. De Guzman, Ronel & Cababaro, Alben. (2021). Utilization of Wood Vinegar as Nutrient Availability Enhancer in Eggplant (*Solanum melongena* L.). 2. 485-492. 10.11594/ijmaber.02.06.04.

13. Theapparath, Y., Chandumpai, A., & Damrongsak Faroongsarng, D. (2018). Physicochemistry and Utilization of Wood Vinegar from Carbonization of Tropical Biomass Waste. In P. Sudarshana, M. Nageswara - Rao, & J. R. Soneji (Eds.), Tropical Forests - New Edition. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77380>

14. Aguirre, J. L., Martín, M. T., González, S., & Peinado, M. (2021). Effects and Economic Sustainability of Biochar Application on Corn Production in a Mediterranean Climate. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(11), 3313. <https://doi.org/10.3390/molecules26113313>

15. Aguirre, Juan & Baena-González, Juan & Martín, María & Gonzalez-Egido, Sergio & Manjón, José & Peinado, Manuel. (2020). Herbicidal effects of wood vinegar on nitrophilous plant communities. *Food and Energy Security*. e253. 10.1002/fes3.253.

16. Oğuz, İlbilge & Oğuz, Halilibrahim. (2021). A research on the use of wood vinegar (pyrolysis acid) and biochar in the horticultural production. *Iksad publications 2021* In book: Recent headways in pomology (pp.129-150).

17. Pan, Xin & Zhang, Yipeng & Wang, Xiao & Liu, Guocheng. (2017). Effect of adding biochar with wood vinegar on the growth of cucumber. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 61. 012149. 10.1088/1755-1315/61/1/012149

18. Benzon, Hiyasmin & Lee, Sang Chul. (2016). Potential of Wood Vinegar in Enhancing Fruit Yield and Antioxidant Capacity in Tomato. *Korean Journal of Plant Resources*. 29. 704-711. 10.7732/kjpr.2016.29.6.704.

19. Yang, Jyh-Ferng, Cheng-Hong Yang, Ming-Tsai Liang, Zi-Jie Gao, Yuh-Wern Wu, and Li-Yeh Chuang. 2016. "Chemical Composition, Antioxidant, and Antibacterial Activity of Wood Vinegar from *Litchi chinensis*" *Molecules* 21, no. 9: 1150. <https://doi.org/10.3390/molecules21091150>

20. Sun, Haijun & Feng, Yanfang & Ji, Yang & Shi, Weiming & Yang, Linzhang & Xing, Baoshan. (2018). N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate. 185. 10.1016/j.atmosenv.2018.05.015.

21. Yugi, Ahadiyat & Hadi, sapto nugroho & Herliana, Okti. (2018). Application of wood vinegar coconut shell and NPK fertilizer to maintain sustainable agriculture of upland rice production. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 5. 1245-1250. 10.15243/jdmlm.2018.053.1245.

22. Aguirre, JL, Baena, J, Martín, MT, González, S, Manjón, JL, Peinado, M. Herbicidal effects of wood vinegar on nitrophilous plant communities. *Food Energy Secur.* 2020; 9:e253. <https://doi.org/10.1002/fes3.253>

23. Xinyou Liu, Yue Zhan, Xuehan Li, Ying Li, Xinhao Feng, Muthukumar Bagavathiannan, Chuanjie Zhang, Mingnan Qu, Jialin Yu, The use of wood vinegar as a non-synthetic herbicide for control of broadleaf weeds, *Industrial Crops and Products*, Volume 173, 2021, 114105, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114105>.

24. Ilyas, Muhammad & Ahmad, Waqas & Khan, Hizbullah & Yousaf, Saeda & Yasir, Muhammad & Khan, Anwarzeb. (2019). Environmental and health impacts of industrial wastewater effluents in Pakistan: A review. *Reviews on Environmental Health*. 34. 10.1515/reveh-2018-0078.

25. Palma L. Di, Bavasso I., et al. (2019). Biological treatment of WW from pyrolysis plant: Effect of organics concentration, pH and temperature. *Water*. 11, 336.

26. Fazullin D. D., Mavrin G. V., Savelyeva A. V., et al. (2017). Sewage treatment from heavy metal ions by the method of deposition, using sulfur-alkaline WW as a reagent. *International Journal of Green Pharmacy*. 11, 4, S831-S835.



27. Mehrjouei M., Müller S., Möller D. (2014). Treatment of pyrolysis WW using heterogeneous advanced oxidation processes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 33, 1, 178–183.

28. Silva, José & Santos, Dara & Santos, Ubiratan & Eguiluz, Katlin & Salazar Banda, Giancarlo & Schneider, Jaderson & Krause, Laiza & López, Jorge & Hernández-Macedo, Maria. (2017). Electrochemical and/or microbiological treatment of pyrolysis wastewater. *Chemosphere*. 185. 10.1016/j.chemosphere.2017.06.133.

29. Желовицкая А.В., Дресвянников А.Ф., Чудакова О.Г. Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты (обзор) // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №20.

30. Fazullin D. D., Mavrin G. V., Fedotov A. V., et al. (2016). Treatment of waste water containing waste oil. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 8, 2, 14366–14374.

31. Fedotova A. V., Dryakhlov V. O., Shaikhiev I. G., et al. (2018). Effect of radiofrequency plasma treatment on the characteristics of polysulfonamide membranes and the intensity of separation of oil-in-water emulsions. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 54, 2, 174–179.

32. Benedetta de Caprariis, Paolo De Filippis, A. David Hernandez, Elisabetta Petrucci, Antonietta Petrucci, Marco Scarsella, Mattia Turchi. Pyrolysis wastewater treatment by adsorption on biochars produced by poplar biomass, *Journal of Environmental Management*, Volume 197, 2017, Pages 231-238.

33. Shen R, Zhao L, Yao Z, Feng J, Jing Y and Watson J (2020) Efficient Treatment of Wood Vinegar via Microbial Electrolysis Cell With the Anode of Different Pyrolysis Biochars. *Front. Energy Res.* 8:216. doi: 10.3389/fenrg.2020.00216.

34. Rizafizah O. Agus S., Hiroaki H., Ryuichi E., Template for Article Submission in ASEAN Journal of Chemical Engineering, *AJChE* 2009, Vol 9, No. 2, 1 – 7.

35. Валеева А.Р., Грачев А.Н., Забелкин С.А., Башкиров В.Н., Сабирзянова А.И. Определение влияния степени замещения фенола жидкими продуктами пиролиза древесины на прочность фенолоформальдегидной смолы // *Деревообрабатывающая промышленность*. - 2020. - № 1. - С. 88 – 95.

36. Zabelkin, S., Valeeva, A., Sabirzyanova, A., Grachev A., Bashkirov Neutrals influence on the water resistance coefficient of phenol-formaldehyde resin modified by wood pyrolysis liquid products // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01025-0>.

37. Желовицкая, А. В., Ермолаева, Е. А., Дресвянников, А. Ф. (2008). Окисление органических соединений с помощью гидроксид-радикала, генерируемого в растворах химическим и электрохимическим методами. *Вестник Казанского технологического университета*, (6), 21.

©Грачев А.Н. – д-р техн.наук, доцент кафедры химической технологии древесины, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: energoesprom@gmail.com; Бикбулатова Г.М. – канд.техн.наук, доцент кафедры химической технологии древесины, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: gm.bikbulatova@gmail.com; Башкиров В.Н. – д-р техн.наук, профессор, зав. кафедры химической технологии древесины, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: vlad\_bashkirov@mail.ru; Валеева А.Р. – ассистент кафедры химической технологии древесины, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: samirhanova@rambler.ru; Валиуллина А.И. – аспирант кафедры химической технологии древесины, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: almi.sabirzyanova@yandex.ru; Дряхлов В.О. – канд.техн.наук, доцент кафедры инженерной экологии, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: vladisloved@mail.ru.

UDK 628.31

## APPLICATION OF THE FENTON REACTION AND OZONIZATION FOR PURIFICATION OF THE WATER -SOLUBLE FRACTION OF LIQUID PRODUCTS OF FAST WOOD PYROLYSIS

A.N. Grachev, G.M. Bikbulatov, V.N. Bashkirov, A.R. Valeeva, A.I. Valiullina, O.V. Dryakhlov

*There is a problem of commercialization of pyrolysis technology due to a number of unresolved acute problems. At the same time, this technology completely recycles waste lignocellulose raw materials into marketable products (bio-oil and bio-char). One of the significant tasks is the water-soluble fraction of bio-oil, which significantly degrades the properties of bio-oil as a fuel, as a phenol-substituting fraction, as paints, bitumen binder, etc. Moreover, in some cases it is necessary to remove this fraction. The ways of using the water-soluble*

*fraction are rather narrow due to the content of up to 95% water. Draining in the sewer is also impossible due to the high content of organic substances and dilution with water by more than 700 times is necessary for complete neutralization. Dilution of waste with water from the central water supply is prohibited on the territory of the Russian Federation, and thus there is a problem of cleaning this drain. It is relevant to develop the treatment of this wastewater for its disposal in the central sewer. A high efficiency of 94% in the course of preliminary tests was achieved by the oxidation method under the conditions of the Fenton reaction due to its greater compliance with the conditions relative to other methods, the acidic environment, and the presence of oxidising substances in the treated wastewater.*

**Keywords:** *fenton reaction, ozonation, waste water, pyrolysis, water -soluble fraction, wood waste.*

### References

1. Okolie, J.A., Nanda, S., Dalai, A.K. et al. (2021) Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass. *Waste Biomass Valor* 12, 2145–2169. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01123-0>.
2. Olatunji, Obafemi & Akinlabi, Stephen & Madushele, Nkosinathi (2020). Application of Lignocellulosic Biomass (LCB). [10.1007/978-3-030-38032-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38032-8_1).
3. Parakh D. Pranav, Nanda Sonil, Kozinski A. Janusz , *Eco-friendly Transformation of Waste Biomass to Biofuels, Current Biochemical Engineering (Discontinued) 2020; 6(2)*. <https://dx.doi.org/10.2174/2212711906999200425235946>.
4. Nanda, S., Azargohar, R., Dalai, A.K., Kozinski, J.A.: An assessment on the sustainability of lignocellulosic biomass for biorefining. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 50, 925–941 (2015);
5. Wang, Shurong & Gu, Yueling & Liu, Qian & Yao, Yan & Guo, Zuogang & Luo, Zhongyang & Cen, Kefa. (2009). Separation of bio-oil by molecular distillation. *Fuel Processing Technology*. 90. 738-745. [10.1016/j.fuproc.2009.02.005](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.02.005).
6. Ahmad M., Rajapaksha A., Lim, et al. (2013). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*. 99, 19-33.
7. Du, H.G., M. Ogawa, S. Ando, E. Tsuzuki and S. Murayama. 1997. Effect of mixture of charcoal with pyroligneous acid on sucrose content in netted melon (*Cucumis melo* L.var. *reticulatus* Naud) fruit. *Jpn J Crop Sci.* 66(3): 369-373.
8. Sechie, H. A. Assessment of pyroligneous liquid as a potential organic fertilizer. *Ecological agriculture and sustainable development. Center for Research in Rural and Industrial Development*, v. 1, p. 591-595, 1998.
9. Ichikawa, T. and Y. Ota. 1982. Plant growth-regulating activity of pyroligneous acid. I- Effect of pyroligneous acid on the growth of rice seedlings. *Jpn J Crop Sci.* 51(1):14-17.
10. Shibayama, H. 1998. Effects of application of pyroligneous acid solution produced in Karatsu city and growth and free sugar contents of storage roots of sweet potatoes. *Marine and Highland Bioscience Center Report* 7:15-23.
11. Yoshimoto, T., 1994. Present status of wood vinegar studies in Japan for agricultural. usage, in *Proceedings of the 7th International Congress of the Society for the Advancement of. Breeding Researches in Asia and Oceania (SABRAO): Taichung District Agricultural. Improvement Station*, v. 3, p. 811 -820.
12. De Guzman, Ronel & Cababaro, Alben. (2021). Utilization of Wood Vinegar as Nutrient Availability Enhancer in Eggplant (*Solanum melongena* L.). 2. 485-492. [10.11594/ijmaber.02.06.04](https://doi.org/10.11594/ijmaber.02.06.04).
13. Theapparath, Y., Chandumpai, A., & Damrongsak Faroongsarng, D. (2018). Physicochemistry and Utilization of Wood Vinegar from Carbonization of Tropical Biomass Waste. In P. Sudarshana, M. Nageswara - Rao, & J. R. Soneji (Eds.), *Tropical Forests - New Edition*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77380>
14. Aguirre, J. L., Martín, M. T., González, S., & Peinado, M. (2021). Effects and Economic Sustainability of Biochar Application on Corn Production in a Mediterranean Climate. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(11), 3313. <https://doi.org/10.3390/molecules26113313>
15. Aguirre, Juan & Baena-González, Juan & Martín, María & Gonzalez-Egido, Sergio & Manjón, José & Peinado, Manuel. (2020). Herbicidal effects of wood vinegar on nitrophilous plant communities. *Food and Energy Security*. e253. [10.1002/fes3.253](https://doi.org/10.1002/fes3.253).
16. Oğuz, İlbilge & Oğuz, Halilibrahim. (2021). A research on the use of wood vinegar (pyrolysis acid) and biochar in the horticultural production. *Iksad publications 2021* In book: *Recent headways in pomology* (pp.129-150).
17. Pan, Xin & Zhang, Yipeng & Wang, Xiao & Liu, Guocheng. (2017). Effect of adding biochar with wood

vinegar on the growth of cucumber. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 61. 012149. 10.1088/1755-1315/61/1/012149

18. Benzon, Hiyasmin & Lee, Sang Chul. (2016). Potential of Wood Vinegar in Enhancing Fruit Yield and Antioxidant Capacity in Tomato. Korean Journal of Plant Resources. 29. 704-711. 10.7732/kjpr.2016.29.6.704.

19. Yang, Jyh-Ferng, Cheng-Hong Yang, Ming-Tsai Liang, Zi-Jie Gao, Yuh-Wern Wu, and Li-Yeh Chuang. 2016. "Chemical Composition, Antioxidant, and Antibacterial Activity of Wood Vinegar from Litchi chinensis" *Molecules* 21, no. 9: 1150. <https://doi.org/10.3390/molecules21091150>

20. Sun, Haijun & Feng, Yanfang & Ji, Yang & Shi, Weiming & Yang, Linzhang & Xing, Baoshan. (2018). N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate. 185. 10.1016/j.atmosenv.2018.05.015.

21. Yugi, Ahadiyat & Hadi, sapto nugroho & Herliana, Okti. (2018). Application of wood vinegar coconut shell and NPK fertilizer to maintain sustainable agriculture of upland rice production. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 5. 1245-1250. 10.15243/jdmlm.2018.053.1245.

22. Aguirre, JL, Baena, J, Martín, MT, González, S, Manjón, JL, Peinado, M. Herbicidal effects of wood vinegar on nitrophilous plant communities. *Food Energy Secur.* 2020; 9:e253. <https://doi.org/10.1002/fes3.253>

23. Xinyou Liu, Yue Zhan, Xuehan Li, Ying Li, Xinhao Feng, Muthukumar Bagavathiannan, Chuanjie Zhang, Mingnan Qu, Jialin Yu, The use of wood vinegar as a non-synthetic herbicide for control of broadleaf weeds, *Industrial Crops and Products*, Volume 173, 2021, 114105, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114105>.

24. Ilyas, Muhammad & Ahmad, Waqas & Khan, Hizbullah & Yousaf, Saeeda & Yasir, Muhammad & Khan, Anwarzeb. (2019). Environmental and health impacts of industrial wastewater effluents in Pakistan: A review. *Reviews on Environmental Health*. 34. 10.1515/reveh-2018-0078.

25. Palma L. Di, Bavasso I., et al. (2019). Biological treatment of WW from pyrolysis plant: Effect of organics concentration, pH and temperature. *Water*. 11, 336.

26. Fazullin D. D., Mavrin G. V., Savelyeva A. V., et al. (2017). Sewage treatment from heavy metal ions by the method of deposition, using sulfur-alkaline WW as a reagent. *International Journal of Green Pharmacy*. 11, 4, S831–S835.

27. Mehrjouei M., Müller S., Möller D. (2014). Treatment of pyrolysis WW using heterogeneous advanced oxidation processes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 33, 1, 178–183.

28. Silva, José & Santos, Dara & Santos, Ubiratan & Eguiluz, Katlin & Salazar Banda, Giancarlo & Schneider, Jaderson & Krause, Laiza & López, Jorge & Hernández-Macedo, Maria. (2017). Electrochemical and/or microbiological treatment of pyrolysis wastewater. *Chemosphere*. 185. 10.1016/j.chemosphere.2017.06.133.

29. Zhelovitskaya A.V., Dresvyannikov A.F., Chudakova O.G. *Primeneniye perspektivnykh okislitel'nykh protsessov dlya ochistki stochnykh vod, soderzhashchikh farmatsevticheskiye preparaty (obzor) // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. №20.

30. Fazullin D. D., Mavrin G. V., Fedotov A. V., et al. (2016). Treatment of waste water containing waste oil. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 8, 2, 14366–14374.

31. Fedotova A. V., Dryakhlov V. O., Shaikhiev I. G., et al. (2018). Effect of radiofrequency plasma treatment on the characteristics of polysulfonamide membranes and the intensity of separation of oil-in-water emulsions. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 54, 2, 174–179.

32. Benedetta de Caprariis, Paolo De Filippis, A. David Hernandez, Elisabetta Petrucci, Antonietta Petrucci, Marco Scarsella, Mattia Turchi. Pyrolysis wastewater treatment by adsorption on biochars produced by poplar biomass, *Journal of Environmental Management*, Volume 197, 2017, Pages 231-238.

33. Shen R, Zhao L, Yao Z, Feng J, Jing Y and Watson J (2020) Efficient Treatment of Wood Vinegar via Microbial Electrolysis Cell With the Anode of Different Pyrolysis Biochars. *Front. Energy Res.* 8:216. doi: 10.3389/fenrg.2020.00216.

34. Rizaifah O. Agus S., Hiroaki H., Ryuichi E., Template for Article Submission in ASEAN Journal of Chemical Engineering, *AJChE* 2009, Vol 9, No. 2, 1 – 7.

35. Valeyeva A.R., Grachev A.N., Zabelkin S.A., Bashkirov V.N., Sabirzyanova A.I. *Opredeleniye vliyaniya stepeni zameshcheniya fenola zhidkimi produktami piroliza drevesiny na prochnost' fenoloformal'degidnoy smoly // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. - 2020. - № 1. - S. 88 – 95.

36. Zabelkin, S., Valeeva, A., Sabirzyanova, A., Grachev A., Bashkirov *Neutrals influence on the water resistance coefficient of phenol-formaldehyde resin modified by wood pyrolysis liquid products // Biomass*

Conversion and Biorefinery. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01025-0>.

37. Zhelovitskaya, A. V., Yermolayeva, Ye. A., Dresvyannikov, A. F. (2008). Okisleniye organicheskikh soyedineniy s pomoshch'yu gidroksid-radikala, generiruyemogo v rastvorakh khimicheskim i elektrokhimicheskim metodami. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, (6), 21.

©Grachev A.N. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: energolesprom@gmail.com; Bikbulatova G.M. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, KNRTU, e-mail: gm.bikbulatova@yandex.ru; Bashkirov V.N. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Wood, KNRTU, e-mail: vlad\_bashkirov@mail.ru; Valeeva A.R. – Assistant of the Department of Chemical Technology of Wood, KNRTU, e-mail: samorhanova@rambler.ru; Valiullina A.I. – Assistant of the Department of Chemical Technology of Wood, KNRTU, e-mail: almi.sabirzyanova@yandex.ru; Dryakhlov V.O. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Ecology, KNRTU, e-mail: vladisloved@mail.ru.

### Уважаемые авторы журнала!!!

Все подготовленные к изданию статьи, должны соответствовать всем требованиям к оформлению.

Статьи, представляющие результаты исследований, должны включать разделы: «**Введение**», «**Методы и материалы**», «**Результаты**», «**Заключение**», «**Литература**».

Обзорные статьи также должны быть структурированы и состоять из разделов: «**Введение**», «**Обзор исследований в области...**», «**Заключение**», «**Литература**».

Рабочие языки журнала — русский и английский.

Одноколоночный макет журнала.

#### Параметры страницы:

верх — 3 см;

низ — 2,5 см;

левое поле — 1,8 см;

правое поле — 1,8 см;

Основной шрифт статьи «Times New Roman», размер шрифта — 11 кегль через 1 интервал (ключевые слова аннотации оформляются кеглем 10). Абзац — 0,75 см.

#### Размер рисунков:

ширина — не более 17,5 см;

высота — не более 12 см;

Название рисунков: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Рис. 1.Название рисунка**). Цвет рисунка - черно-белый. Рисунки должны быть качественными, сканированные картинки не принимаются!

**Размер таблицы** не должен превышать 17,5 x 12 см.

Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Таблица 1 - Название таблицы**)

**Формулы**, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну колонку, то есть иметь размер не более чем 8,5 x 5 см (шрифт «Times New Roman»).