

27. Бадалов А., Новиков Г. И., Мирсаидов У. и др. Системный анализ свойств бинарных и алломогидридов щелочных металлов // V Все-союзная конфер. по химии гидридов (тез.докл.). Душанбе, 1991.
28. Довбышева Т. Н., Новиков Г. И., Горбонос П. О., Демьянчук В. В. Окисление водорода кислородом на катализаторе  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Al}_2\text{O}_3$  в присутствии паров воды // Изв.АН БССР. Сер.хим., № 1, 1992.
29. Довбышева Т. Н., Новиков Г. И., Горбонос П. О., Демьянчук В. В. Исследование адсорбции воды на низкотемпературном катализаторе кобальтита кобальта // Изв.АНБ. Сер.хим., 1992.
30. Новиков Г. И., Кузьменко А. Л., Рудько П. К., Бутылин Б. А., Матвеева Т. А., Томашева Л. Т. Окисление сероводорода кислыми растворами комплексных (ЭДТА) ионов железа (III) // Изв.АН БССР. Сер.хим., № 6, 1991.
31. Мицкевич Е. Н., Бутылин Б. А., Новиков Г. И. Термохимическое исследование реакции окисления сероводорода водным раствором сульфата железа (III) // Изв.НАНБ. Сер.хим., № 2, 1999.
32. Гаманович Н. М., Новиков Г. И. Электрохимическое окисление природного газа в высокотемпературном топливном элементе. АНБ. Сер.хим., № 4, 1995.

УДК 66: 674.815

С. Е. Орехова, доцент;  
Л. И. Хмылко, ст.препод.;  
В. А. Ашуйко, доцент;  
Л. Н. Новикова, доцент

### СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОПИЛОК

The ways to purify waste gases from  $\text{CH}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$ , and  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH=CH}_2$  using sorbents prepared from timber - industry by - products.

При выборе систем, используемых для очистки выбросов предприятий, руководствуются принципами, в основе которых лежит их эффективность и экономичность.

На территории РБ достаточно интенсивно функционирует деревообрабатывающая отрасль.

Использование древесины в народном хозяйстве, создание из нее предметов, материалов народного потребления требует её механической обработки. При механической обработке древесины образуются разнообразные древесные отходы, в частности опилки. Объём опи-

лок составляет 10-12 % от объема распиливаемого сырья, а в раскроечных цехах деревообрабатывающих предприятий - 7-13 %. Существующие технологии по переработке опилок не решают задачи полного и рационального использования этого вида сырья. Некоторая часть опилок широко используется в сельском хозяйстве в качестве подстилочного материала с последующим созданием компостов. Другая часть опилок просто сжигается в отопительных системах, как с предварительным брикетированием, так и без него.

С другой стороны, на предприятиях деревообрабатывающей промышленности, особенно на предприятиях, производящих мебель, большой проблемой является высокое содержание вредных веществ в воздухе, в числе которых формальдегид, аммиак, фенол, толуол, бензол и т.д.

Идея создания сорбентов на основе древесных опилок, волокнистого материала впервые появилась в 80-ые годы. Сотрудники кафедры технологии деревообрабатывающих производств БГТУ совместно с сотрудниками АН БССР получили сорбенты, эффективно поглощавшие ионы жесткости воды [1,2]. В 90-х годах начались совместные с кафедрой ТДП БГТУ работы по исследованию способов получения сорбентов на основе древесных опилок и возможностей их применения на кафедре общей и неорганической химии. Создание сорбентов из мелких отходов деревообрабатывающих предприятий перспективно по нескольким причинам. Во-первых, низкая стоимость исходного сырья (опилок), используемого в производстве сорбентов, во-вторых, возможность изготовления и использования продукции (сорбентов) непосредственно на предприятиях.

Проведенный нами [2] экологический анализ выбросов в окружающую среду вредных веществ на предприятиях "Гомельдрев" показал наличие в них формальдегида, спиртов, фенола, толуола, бензола, ксилолов и др.

Основными компонентами, загрязняющими среду, являются формальдегид и фенол, выделяющиеся в атмосферу в цехах прессования древесностружечных плит и их облицовки [3 - 5]. В лакокрасочных цехах предприятий состав загрязнителей атмосферы определяется летучими компонентами применяемых покрасочных составов [6].

Поскольку синтезируемые сорбенты предназначались для очистки воздуха в цехах деревообрабатывающих предприятий, их поглощательную способность определяли прежде всего по загрязнителям, которые содержатся в отходящих газах. С целью установления за-

грязнителей в цехах предприятия "Минскпроектмебель" были взяты пробы воздуха для анализа.

Пробы отбирались в процессе склеивания шпона с заготовками из древесностружечных плит в цехе облицовки шпоном, в котором использовался мочевиноформальдегидный клей. Качественный состав проб парогазовых выбросов и воздуха определялся на масс-спектрометре МИ-1301.

Ампулы с анализируемым воздухом через систему напуска СНА-2 соединяли с масс-спектрометром и производили дозировку анализируемой воздушной смеси. Регистрируемый масс-спектр фиксировался на ленте. Для точных определений интенсивностей ионных токов использовался счетчик ионов СИ-03.

В масс-спектрах анализируемых проб фиксировались пики  $m/e=14, 15, 16, 17, 18, 28, 29, 30, 32, 44$ , отвечающие токам ионов  $N^+, NH^+, NH_2^+, NH_3^+, O^+, OH^+, H_2O^+, N_2^+, CO^+, HCO^+, O_2^+, CO_2^+$ . Интенсивности пиков определенных групп ионов масс-спектров различных проб несколько отличались между собой, что указывало на различное содержание компонентов в анализируемых воздушных пробах. На основании расшифровки и анализа масс-спектров был сделан вывод о молекулярном составе воздушных проб. Анализируемые пробы содержали молекулы  $NH_3, H_2O, N_2, O_2, CH_2O$ . Других компонентов в составах анализируемых проб масс-спектрометрическим методом не обнаружено.

Таким же методом исследовался состав воздушной смеси в покрасочном цехе. Среди достаточно большого количества пиков, регистрируемых в масс-спектрах, появление которых связано с процессами диссоциативной ионизации, нам удалось выделить пики  $m/e 43, 56, 59, 73, 77, 78, 90, 91, 92, 93, 101, 116$ , отнесенные соответственно к ионам  $43 (CH_3CO^+), 56 (C_4H_8^+), 59 (CH_3COO^+), 73 (OC_4H_9^+), 77 (C_6H_5^+), 78 (C_6H_6^+), 90 (C_7H_6^+), 91 (C_7H_7^+), 92 (C_6H_5O^+), 93 (C_6H_4OH^+), 101 (CO-OC_4H_9^+), 116 (CH_3COOC_4H_9^+)$ .

Пики, отнесенные к ионам, происхождение которых, по нашему мнению, связано с ионизацией бутилацетата, по своей интенсивности превышали интенсивности пиков, которые образованы в результате ионизации толуола, бензола, ксилолов.

В основе способа приготовления сорбентов - химическая модификация древесных опилок при низких температурах. Способ достаточно прост, не требует значительных энергетических затрат, экономически выгоден. Химические вещества, используемые нами при приготовлении сорбентов, дешевы и не представляют опасности для ок-



ружающей среды. Использованные сорбенты не требуют регенерации, могут быть использованы в дальнейшем как топливо, как удобрение и т.д., в зависимости от характера сорбируемых веществ.

Обработка древесных опилок химическими веществами при получении сорбционных материалов проводится при температурах 100-200°C. Определяющим процессом при очистке является хемосорбция, которая давно широко используется для улавливания, очистки, концентрирования различных веществ. Этот процесс сопровождается химическим взаимодействием поглощаемого вещества с реагентами, нанесенными на твердый носитель, в данном случае - опилки. Хемосорбция протекает очень быстро, поэтому на носителе, как правило, адсорбируются незначительные количества загрязняющих веществ. Однако благодаря структуре опилок, наличию достаточно большой и развитой поверхности частиц хемосорбция может сочетаться с физической сорбцией, что может обеспечить эффективное улавливание паров загрязнителей.

При создании сорбентов на основе опилок очевидно можно применять так называемые непористые сорбенты: сульфат меди, сульфат магния, хлорид кальция и др. Некоторые непористые сорбенты обладают избирательной сорбцией химических веществ. Так, гидроксид калия избирательно сорбирует фенол и формальдегид, ангидрон, альдегиды, спирты, кетоны, эфиры (диэтиловый, изопропиловый), каолин - бензол, толуол, ксилол.

При создании сорбента, способного поглощать вредные вещества из отходящих газов деревообрабатывающих предприятий, нами был выбран способ обработки опилок фосфорилирующими реагентами с последующей термозакалкой при 140 - 170 °С. Для получения сорбентов использовались преимущественно опилки от лесопильных рам, фракционного состава ~ 5,0 мм.

Для изучения сорбционной способности получаемых материалов в зависимости от условий синтеза, температуры, их влажности нами выбран метод контроля входной и выходной концентрации загрязнителя в очищаемом воздухе. Контроль содержания загрязняющих компонентов проводился методами химического анализа в поглотительных растворах и фотоколориметрическим, использовался также метод газовой хроматографии. Для определения состава загрязнителей в отходящих газах деревообрабатывающих предприятий, как уже указывалось, использовался масс-спектрометрический метод. С целью определения величины поверхности сорбента использовался метод БЭТ. Для вскрытия процессов, происходящих при обработке древес-

ных опилок реагентами, и при улавливании разных веществ использовался метод ИК-спектроскопии.

Химический состав древесины различных пород существенно колеблется. В древесине хвойных пород (ель, сосна) содержится больше лигнина (27-28%), меньше гемицеллолоз (20-25%), чем в лиственных (соответственно 18-20% и 25-40%). При этом хвойные породы содержат больше гексозанов (13-18%) и меньше пентозанов (8-12%), чем лиственные (соответственно 2-5% и 20-30%). Представляя строение целлюлозы как полимера, состоящего из структурных звеньев остатков Д-глюкозы, легко видеть, что каждое звено содержит по три гидроксила, которые в значительной степени определяют физико-химические свойства целлюлоз.

Полиурониды при кислотном гидролизе древесины образуют уроновые кислоты, которые наряду с гидроксогруппами содержат карбоксильные группы [7, 8].

Содержание пектиновых веществ в древесине колеблется в пределах от 0,5 до 1,5 %. Полигалактуровая кислота, лежащая в основе пектиновой кислоты, частично этерифицирована, примерно 3/4 ее карбоксильных групп метилированы. Содержание сложноэфирных метоксидов в пектинах сильно колеблется.

Обработка древесины и целлюлозы фосфорилирующими реагентами при слабом нагревании, возможно, приводит к протеканию процессов кислотного гидролиза, реакций этерификации с образованием на поверхности получаемого сорбента активных функциональных групп. Неоднородность древесины как по химическому составу, так и по размерам макромолекул и надмолекулярных структур не позволяет однозначно определить процессы, протекающие при обработке. Очевидно необходимо выделение в составе древесины фракций, легко реагирующих и трудно реагирующих с модифицирующими агентами.

Производимая в процессе получения сорбента сушка и термообработка при 140-170°C приводит, в первую очередь, к удалению воды, далее к частичной деструкции надмолекулярных структур, усилению химического взаимодействия. Водородные связи между молекулами воды и гидроксогруппами целлюлозы могут разрываться, следовательно, на их место могут сорбироваться другие молекулы, способные образовывать с целлюлозой водородные связи.

В водных растворах полученные материалы могут хорошо работать как катиониты, обменивая ионы  $H^+$  привитых фосфатных групп на ионы разных металлов.

Синтез сорбента осуществлялся по методике, изложенной в работе [2]. Опилки от лесопильных рам, предварительно очищенные от крупных частиц: сколов, обломков, коры и отобранные по фракции частиц 5-3 мм (разделение по породам древесины не проводилось) при температуре 90-100°C проваривались в течение 1-1,1 часа в фосфорилирующем растворе. Состав оптимального фосфорилирующего раствора определялся по поглотительной способности полученного сорбента, согласно [2]. Было определено, что лучшими фосфорилирующими растворами являются растворы, содержащие аммиак, фосфорную кислоту, соли аммония, мочевины. Отжатый от раствора материал далее проходил термозакалку при температуре 150-160°C в течение 0,9-1,1 часа. Далее сорбент отмывали от излишков фосфорилирующего раствора дистиллированной водой до  $pH \approx 6-7$ , после чего высушивали при температуре 80-90°C до влажности  $\approx 2\%$ .

Сорбенты, полученные при обработке разными по составу фосфорилирующими растворами, выбранными нами, показали близкие результаты.

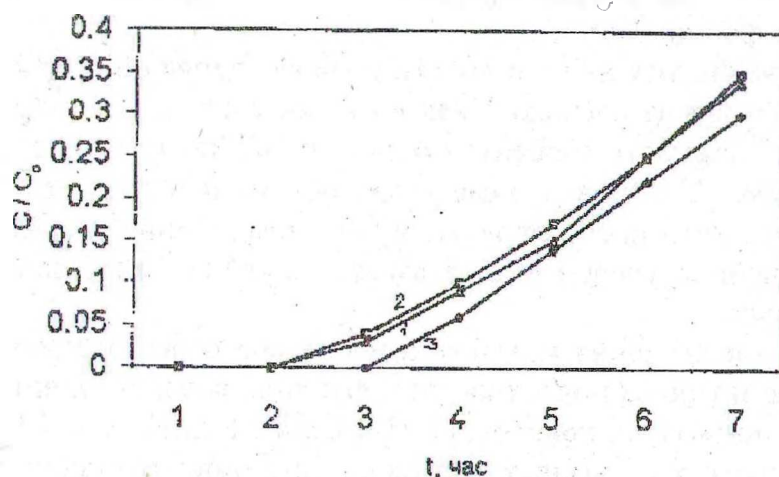


Рис. 1. Поглощение формальдегида сорбентами. Образец 1 - состав пропиточного раствора  $NH_3$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2O$ ; образец 2 - состав пропиточного раствора  $(NH_4)_2HPO_4$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2O$ ; образец 3 - состав пропиточного раствора: мочевина,  $H_3PO_4$ ,  $H_2O$

С целью выбора продолжительности варки сорбента в фосфорилирующих растворах была исследована сорбционная способность образцов по формальдегиду разной продолжительности варки (20 мин, 40 мин, 50 мин, 60 мин и т.д.). Было установлено, что оптимальная



продолжительность варки составляет 1-1,1 часа. Очевидно, именно за это время происходят процессы кислотного гидролиза глюкозы и фосфорилирование по гидроксогруппам.

Образцы сорбентов, полученные варкой в одинаковом по составу фосфорилирующем растворе, подвергались термообработке при различных температурах. Установлено, что оптимальная температура 150-160°C. При термообработке 170-180°C поглотительные характеристики сорбента ухудшаются, что, возможно, вызвано как осмолением и закрытием пор, так и деструкцией привитых активных групп. Температура 130-140°C очевидно низка для создания активных центров, что также проявляется в низкой поглотительной способности по сравнению с сорбентом, полученным при температуре 150-160°C.

Известно, что сорбционные характеристики в зависимости от температуры газового потока могут проявляться по-разному. Если преобладают процессы хемосорбции, то повышение температуры может улучшать поглотительную способность, в случае преобладания физических процессов - ухудшать. Полученные нами изотермы сорбции формальдегида имели ход, указывающий на сложный характер сорбции, который, возможно, сопровождался также процессами полимеризации формальдегида.

Изучение влияния влажности на поглощение образцами сорбентов формальдегида изучалось как в статических, так и динамических условиях. Влажность сорбентов определялась по методике, изложенной в работе [2]. Проведенные исследования показали, что поглотительная способность образцов растет при возрастании влажности до 9-10%, дальнейшее увеличение влажности ухудшает сорбционные свойства образцов.

Для определения механизма процессов сорбции проведено исследование природы поверхностных функциональных групп полученных сорбционных материалов. С этой целью были сняты ИК-спектры образцов, чистых древесных опилок и обработанных различными способами, разным составом модифицирующего раствора, различным временем контакта исходного материала с модифицирующими растворами, различной температура.

Данные, полученные методом ИК-спектроскопии, представлены на рис.2-5.

Так, на рис.2 приведен инфракрасный спектр исходной древесины, на котором можно выделить полосы, отвечающие валентным колебаниям групп ОН ( $3400\text{ см}^{-1}$ ), валентным колебаниям СН группиро-

вок ( $2918, 2850 \text{ см}^{-1}$ ), валентным колебаниям  $\text{C}=\text{O}$  карбонильных и карбоксильных групп ( $\sim 1730, 1650 \text{ см}^{-1}$ ), валентным колебаниям  $\text{C}=\text{O}$  группировок ( $1607, 1425 \text{ см}^{-1}$ ).

ИК-спектр древесины, обработанной фосфорной кислотой, имеет отличия (рис.3). В области частот  $\sim 2800, 2350 \text{ см}^{-1}$  проявляются широкие полосы, отвечающие колебаниям кислых группировок  $\text{p-OH}$ , а также полосы, обусловленные колебаниями фосфат-иона ( $\sim 1000 \text{ см}^{-1}$ ) и деформационными колебаниями фосфат-иона ( $490 \text{ см}^{-1}$ ).

На рис.4 приведен ИК-спектр древесины, обработанной гидрофосфатом аммония. На спектре проявляются интенсивные полосы, отвечающие валентным колебаниям  $\text{NH}$  группировок ( $3230, 3130 \text{ см}^{-1}$ ), деформационным колебаниям иона аммония ( $1468, 1400 \text{ см}^{-1}$ ), полосы валентных ( $1095, \sim 1000 \text{ см}^{-1}$ ) и деформационных ( $547 \text{ см}^{-1}$ ) колебаний фосфат-ионов. Наблюдается уменьшение интенсивности полос колебаний  $\text{OH}$  групп ( $3400 \text{ см}^{-1}$ ), карбонильных групп ( $1730 \text{ см}^{-1}$ ).

На рис.5 представлен ИК-спектр древесины, обработанной мочевиной. По сравнению со спектром исходной древесины (рис.2) спектр на рис.5 содержит интенсивные полосы, отвечающие колебаниям групп  $\text{NH}$  ( $\sim 1700, \sim 1600 \text{ см}^{-1}$ ), что является свидетельством химического связывания мочевины с поверхностью древесины.

В дополнение к данным ИК-спектроскопии, природа функциональных групп на поверхности как исходной древесины, так и обработанной пропитывающим раствором изучалась методом потенциометрического титрования с использованием различных реагентов по методикам [9]. Такой выбор методов обусловлен тем, что данные ИК-спектроскопии позволяют оценить лишь качественную картину поверхностных функциональных групп древесного сорбента и не представляют количественных характеристик по каждой из поверхностных групп.

С целью определения количества карбоксильных, фенольных, карбонильных и сильнокислых групп на поверхности сорбента проводился анализ в зависимости от состава пропитывающего раствора и наличия стадии предварительного кипячения сорбента.

Количество карбонильных групп  $\text{C}=\text{O}$  определялось методом оксимирования. В титровальную ячейку помещали около 10 г древесных опилок с добавлением 100 мл воды. Далее добавлялись 2 мг  $\text{NH}_4\text{OH} \cdot \text{HCl}$ , предварительно растворенного в 40 мл 80%-ного раствора  $\text{C}_2\text{H}_5\text{-OH}$ . Через раствор пропускали насыщенный этанолом азот, термостатировали ячейку при  $25^\circ \text{C}$  и выделяющуюся по мере оксимирования  $\text{HCl}$  оттитровывали с помощью 0,01 н  $\text{NaOH}$  в интервале



$pH=4,0-4,2$ . Количество карбонильных групп на поверхности сорбента соответствует количеству выделенной  $HCl$ .

Количество фенольных и карбоксильных групп  $C-OH$  определялось путём метилирования древесины эфирными растворами diazometана с последующим омылением сложноэфирных групп горячей  $1M$   $HCl$ . Навеска опилок  $10$  г заливалась  $10\%$ -ым раствором diazometана и кипятилась в течение  $2$  часов. Далее смесь охлаждали и фильтровали через сухой бумажный фильтр в  $50$ -миллиметровую колбу. Фильтрат оставляли для дальнейшего анализа, а обработанные опилки нагревали  $1$   $M$  горячей  $HCl$  в течение  $3$  час. Обработка древесины diazometаном приводит к тому, что карбоксильные и фенольные группы метилируются с образованием сложных и простых эфиров соответственно.

При действии на метилированный образец сильной кислоты сложноэфирные группы омыляются, в то время как простые эфирные группы остаются неизменными. Очевидно, что определение содержания метоксильных групп на сорбенте до и после омыления позволяет рассчитать количество имеющихся на его поверхности карбоксильных и фенольных групп.

Наличие на поверхности сорбента сильноокислых групп, титруемых в области  $pH=1,0-3,0$ , определялось титрованием в среде с постоянной ионной силой. Навеску сорбента  $10$  г заливали  $50$  мл фонового электролита ( $1$   $M$   $NaCl$ ) с добавкой определенного количества  $0,1$   $M$   $NaOH$ . Колбочки с отдельными навесками оставляли стоять в течение суток до установления ионообменного равновесия. Одновременно ставили контрольные опыты (без сорбента). Далее на  $pH$ -метре проводилось потенциометрическое титрование сорбента  $0,1$   $M$  раствором  $NaOH$ . Обменная ёмкость сорбента рассчитывалась как убыль концентрации первоначально залитого раствора едкого натра. Затем строился график зависимости обменной ёмкости сорбента от  $pH$  раствора в интегральной и дифференциальной форме и содержание поверхностных кислых групп определялось как площадь под кривыми титрования в дифференциальной форме.

В таблице 1 приведены данные по определению количества карбоксильных, фенольных, карбонильных и сильноокислых групп на поверхности как исходной необработанной древесины, так и приготовленного сорбента в зависимости от состава пропитывающего раствора, температуры обработки, а также наличия стадии промывки.

Таблица 1

Количество поверхностных функциональных групп в зависимости от температуры обработки сорбента и состава пропитывающего раствора

Состав пропитывающего раствора	Количество, моль/кг				
	COOH	C-OH	C=O	C-H <sup>+</sup>	
Исходный сорбент	0,21	0,97	3,60	-	
Термообработанный при t = 160 <sup>0</sup> C	0,82	0,35	7,25	-	
NH <sub>3</sub> + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	промытый	0,16	0,45	8,43	0,15
	непромытый	0,08	0,15	6,35	2,26
(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	промытый	0,65	0,28	0,35	0,32
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	непромытый	0,63	0,48	0,15	1,86
	промытый	0,42	0,52	0,21	0,26

Как видно из представленных данных, исходные и термообработанные древесные образцы содержат на своей поверхности карбоксильные, фенольные и карбонильные группы, причем при термообработке содержание карбоксильных групп возрастает, а фенольных снижается. При обработке древесины пропитывающим раствором резко возрастает количество сильноокислых групп (C-H<sup>+</sup>), причем при отмывке происходит снижение их количества, что согласуется с данными ИК-спектроскопии. Вероятнее всего, сильноокислыми группами в основном являются группы PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, которые остаются на поверхности древесины после ее пропитки. Однако прочность связывания таких групп с поверхностью древесины невелика, а такие группы, как указывалось уже при обсуждении данных ИК-спектров, достаточно легко вымываются. Обработка пропитывающим раствором (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) приводит к значительному снижению содержания фенольных и карбоксильных групп на поверхности древесины, что, возможно, связано с взаимодействием аммиака со слабоокислыми поверхностными группами. Следует также отметить сильное снижение содержания карбонильных групп после обработки дигидрофосфатом аммония и мочевиной.

Предварительные результаты исследований показали, что время термообработки при 160<sup>0</sup> C в интервале 1 - 3 ч незначительно сказывается на изменении содержания поверхностных групп.

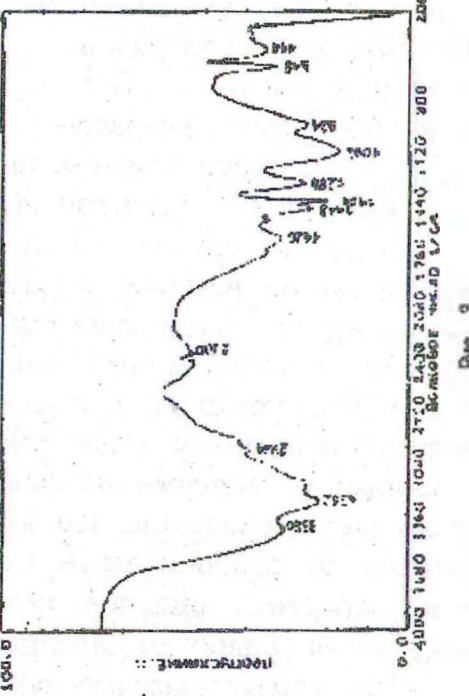
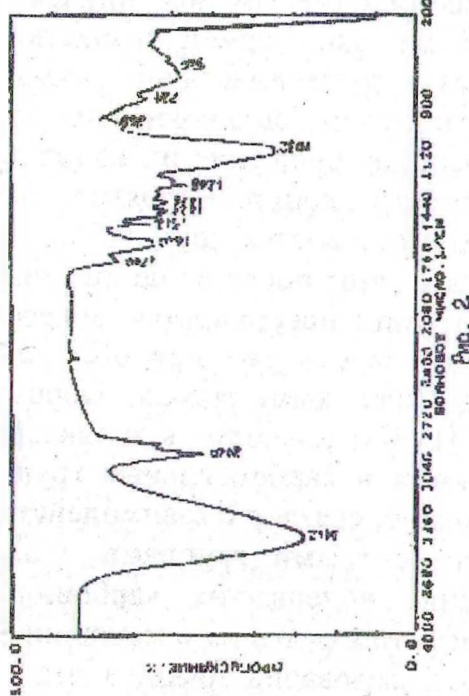
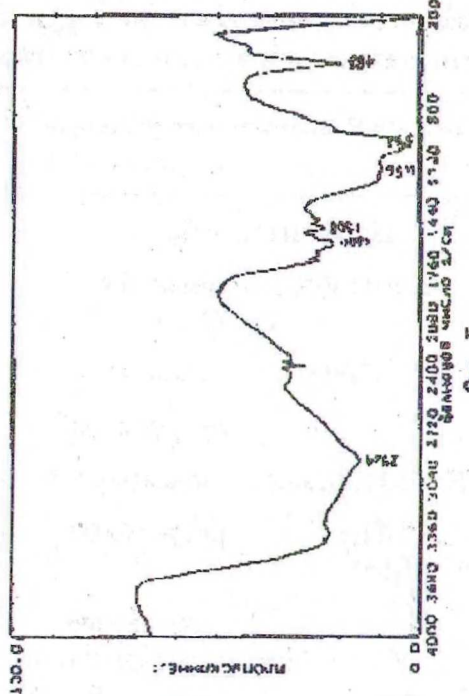
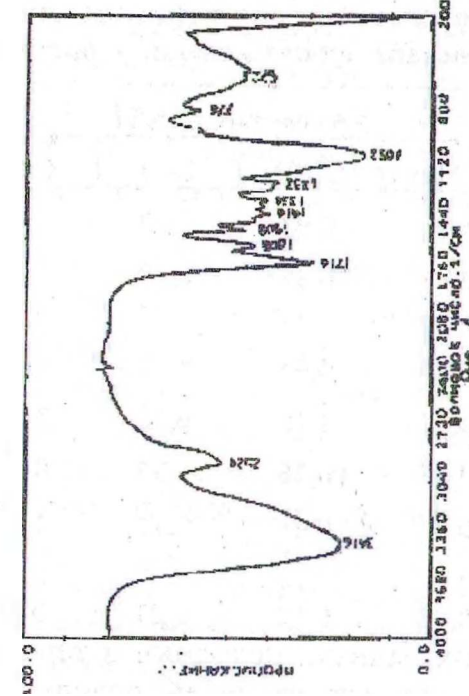


FIG. 4

FIG. 2

FIG. 5

FIG. 3



Кроме исследований по химическому составу поверхности древесных сорбентов, проводились исследования их структурных параметров. Общая пористость и удельный объем макропор оценивались по результатам снятия изотерм сорбции паров бензола при низкой температуре по методу БЭТ [10]. Удельная поверхность определялась методом газовой хроматографии, где в качестве носителя использовался гелий. В таблице 2 представлены данные по изотермам сорбции и структурным характеристикам сорбентов в зависимости от состава пропитывающего раствора и предварительной обработки сорбента (3 проварен в воде).

Таблица 2  
Удельные характеристики сорбентов в зависимости от состава пропитывающего раствора

Показатель	Состав пропитывающего раствора		
	состав 1	состав 2	состав 3 (проварен в воде)
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	76	96	78
Пористость, %	45	42	50
Удельный объем макропор, см <sup>3</sup> /г	0,278	0,182	0,342
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,170-0,192	0,165-0,180	0,152-0,168
Зольность, %	7-9	8-10	7-8
РН водной вытяжки	5-6	5-6	6-7
Содержание влаги, % не более	8-10	8-10	8-10

Следует отметить, что для всех образцов вид изотерм сорбции близок к изотермам для макропористых сорбентов, причем предварительное кипячение в воде увеличивает удельный объем макропор и снижает удельную поверхность сорбента. Все сорбенты независимо от типа обработки обладают достаточно высокой пористостью, развитой макропористой структурой и удельной поверхностью 76-96 м<sup>2</sup>/г.

В ранее опубликованных работах [11] приведены данные исследования свойств разработанного нами сорбента в водных растворах различных электролитов. В частности, показано, что сорбент, полученный на основе древесных опилок, может эффективно использоваться для очистки воды от ионов кальция и магния, при этом жесткость воды снижается практически до нулевого значения. Кроме того,

такой сорбент, пропитанный специальным фосфорилирующим раствором, может быть успешно использован также для очистки сточных вод от ионов некоторых тяжелых металлов ( $Fe^{+3}, Cr^{+3}$ ). При этом сорбционная ёмкость по указанным ионам достаточно высока и составляет 2,6 - 3,2 мэкв/г сорбента.

Кроме сорбции из водных растворов, сорбция разработанного сорбента изучалась и в газовой фазе по отношению к формальдегиду, бензолу, толуолу. В таблице 1 приведены данные по сорбционной ёмкости сорбента в зависимости от состава пропитывающего раствора. Здесь образец №1 обрабатывался смесью мочевины и фосфорной кислоты, образец № 2 обрабатывался смесью аммиака и фосфорной кислоты.

Таблица 3

**Сорбционная ёмкость сорбента по различным веществам**

Образец	Ёмкость, г/г*			
	бензол	вода	формальдегид	толуол
1	0,142	0,112	0,178	0,018
2	0,136	0,080	0,163	0,016

г\* - грамм сорбента

Как видно из представленных данных, сорбционная ёмкость полученных сорбентов достаточно высока, причем наиболее высокое значение соответствует формальдегиду. Все сорбенты независимо от типа обработки обладают достаточно высокой макропористой структурой и удельной поверхностью 76-96 м<sup>2</sup>/г.

Полученные данные дают возможность считать разрабатываемые сорбционные материалы перспективными для предприятий деревообрабатывающей промышленности и любых других, выбросы которых содержат формальдегид, толуол, бензол, стирол. Исследование механизма процессов сорбции разработанными материалами в газовой и жидких средах может позволить проводить целенаправленный синтез сорбирующих материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орехова С. Е., Хмылко Л. И., Новикова Л. Н. и др. Очистка отходящих газов деревообрабатывающих предприятий от формальдегида // Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Минск, 1998. Вып. VI.- С. 109-115 .

2. Разработать технологию и изготовить опытную партию реакционно-активных диспергированных материалов на основе вторичного древесного сырья для очистки газовых выбросов цехов деревообрабатывающих предприятий. Отчёт о НИР БГТУ; руководитель Янушкевич А. А. № ГР 19971645. Минск, 1997.
3. Азаров В. И. и др. Модификация мочевиноформальдегидных смол амидхлоргидридом // Технология древесных пластиков и плит: Научные труды Московского лесотехнического института. 1976. Вып. 81.- С. 82-86 .
4. Залесов Л. В., Карасёв Е. И., Анохин А. Е. Экологические аспекты производства древесностружечных плит на линиях с сетчатыми поддонами // Деревообрабатывающая промышленность. 1990. № 4. - С. 28-30 .
5. Эльберт А. А., Коврижных Н. П. Модификация фенолформальдегидных смол для древесностружечных плит // Деревообрабатывающая промышленность. 1979. № 7.- С. 7-8.
6. Жуков Е. В., Онегин В. И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: Экология, 1993.
7. Никитин Н. И. Химия древесины. М.-Л.: АН СССР, 1951.
8. Никитин В. М., Оболенская А. В., Щегалев В. П. Химия древесины и целлюлозы . М.: Лесная промышленность, 1978.
9. Закис Г. Ф. Методы определения функциональных групп лигнина. Рига: Зинатне, 1975.
10. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1970.
11. Орехова С. Е., Хмылко Л. И., Новикова Л. Н. и др. Разработка и исследование свойств адсорбентов на основе вторичного древесного сырья в жидких и газовых средах // Тез. докл. Международн. научно-технич. конференции "Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе". Минск, 1997.- С.137-138.