

## Охрана окружающей среды

УДК 634.2:66.081:547.625:547.97

**Галыш В.В.<sup>1</sup>**, аспирант, **Картель Н.Т.<sup>1</sup>**, докт. хим. наук, **акад. НАНУ**,  
**Милютин В.В.<sup>2</sup>**, докт. хим. наук, **Бакалинская О.Н.<sup>1</sup>**, канд. хим. наук

<sup>1</sup> **Институт химии поверхности НАН Украины, Киев**

ул. Генерала Наумова, 17, 03164 Киев, Украина, e-mail: v.galysh@gmail.com

<sup>2</sup> **Институт физической химии и электрохимии РАН, Москва, РФ**

Ленинский пр., 31, 119071 Москва, Россия

### Синтез и свойства лигноцеллюлозно-неорганических биосорбентов

Синтезированы новые комбинированные биосорбенты на основе лигноцеллюлозного комплекса, полученного из отхода пищевой промышленности — абрикосовых косточек — и ферроцианида меди. Исследованы физико-химические и структурно-сорбционные свойства полученных материалов. Установлено, что предварительная обработка исходных абрикосовых косточек по кислотно-щелочной схеме приводит к увеличению удельной поверхности лигноцеллюлозного материала в 2 раза и общего объема пор в 6 раз. Показана зависимость между концентрацией ферроцианида меди в исходном растворе и сорбционными свойствами синтезированных образцов по отношению к <sup>137</sup>Cs. Установлено, что увеличение концентрации модификатора в исходном растворе приводит к повышению содержания ферроцианидной фазы в объеме носителя и к повышению сорбционной способности полученных материалов по отношению к радиоцезию. Максимальными значениями эффективности извлечения <sup>137</sup>Cs (94 %) и коэффициента распределения (7000 мл/г) характеризуются образцы сорбента с содержанием ферроцианидной фазы в объеме носителя 4,5 %. Исследованы закономерности извлечения иода, основных и кислотных красителей из водных растворов синтезированными сорбентами. Установлено, что поглощающая способность полученных комбинированных материалов по отношению к иоду и органическим красителям незначительно уменьшается по сравнению с исходной лигноцеллюлозной матрицей. *Библ. 13, рис. 4, табл. 2.*

**Ключевые слова:** биосорбент, лигноцеллюлозная матрица, ферроцианид меди, сорбционная способность, иод, органические красители.

В последние годы значительно возрос интерес к получению так называемых биосорбентов — поглощающих материалов из растительного сырья. В качестве доступных и дешевых источников таких материалов используют продукты

растительного происхождения: древесную щепу [1], кору [2], лигнин [3], целлюлозу [4], отходы сельского хозяйства [5] и деревоперерабатывающей промышленности [6]. Для повышения поглощающей способности сорбентов применя-

ют разные способы обработки исходного сырья: механические, физические, химические, но чаще всего их сочетание.

Перспективным с экономической точки зрения является использование в качестве сорбентов отходов агропромышленного комплекса, что не только поможет решению проблемы их утилизации, но и позволит получать полезные продукты в больших объемах. Многоотнажные отходы пищевой промышленности также могут использоваться как дешевый вид сорбентов многофункционального назначения. Плодовые косточки относятся к ежегодно возобновляемому сырью, которое представляет собой набор органических полимеров с ценными свойствами, в том числе и сорбционными.

С целью получения селективных сорбентов удобным является модифицирование лигноцеллюлозных (ЛЦ) матриц соединениями гетерополикарбонатов, которые в индивидуальном состоянии характеризуются высокой сорбционной способностью по отношению к радионуклидам и катионам тяжелых металлов. В качестве таких соединений могут рассматриваться ферроцианиды d-металлов ([ФЦ]Me), которые характеризуются высокой сорбционной способностью и селективностью по отношению к радиоцезию [7].

Цель работы — изучить возможность модифицирования лигноцеллюлозного материала ферроцианидами меди для получения комбинированных биосорбентов многофункционального назначения с высокой поглощающей способностью по отношению к радиоцезию и провести исследование физико-химических и структурно-сорбционных характеристик полученных материалов.

Для получения лигноцеллюлозно-неорганических сорбентов в качестве носителя (матрицы) использовали измельченные до 0,120 мм косточки абрикоса. Химический состав исходного и модифицированных материалов определяли по стандартным методикам [8].

Гидролиз исходного сырья 3,0 нормальным раствором соляной кислоты и последующее активирование материала 0,3 нормальным раствором карбоната натрия проводили 60 мин при 100 °С. Гидромуль составлял 4 : 1. По окончании указанных операций обработки ЛЦ-продукт отделяли от раствора фильтрацией, промывали дистиллированной водой при 80 °С до нейтральных значений рН промывных вод и обезвоживали. Модифицирование ЛЦ-матриц [ФЦ]-соединениями проводили, выдерживая материал в растворах [ФЦ]Cu концентрацией 1–5 г/л при 90 °С в течение 60 мин. Мольное соотношение  $\text{Cu}^{2+} : [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \approx 1,5$ . Для приготовления исходных растворов необходимых концен-

траций использовали гексацианоферрат калия и сульфат меди марок ХЧ и дистиллированную воду по ГОСТ 6709-72. Полученные комбинированные сорбенты отмывали от избытка модификатора, обезвоживали и высушивали при 50 °С до влажности 5–7 %.

ИК-спектры образцов регистрировали на спектрофотометре «Specord M80» (Carl Zeiss, Германия) в диапазоне 300–4000 см<sup>-1</sup>. Подготовка исходных косточек, ЛЦ- и ЛЦ-[ФЦ]Cu-образцов и исходной соли-модификатора заключалась в растирании материалов с КВг в соотношении 1 : 100 с последующим прессованием в таблетки.

Удельную поверхность исходного и модифицированного материалов определяли методом адсорбции азота при –196 °С с использованием анализатора «NOVA 2200» (Quantachrome, США). Объем пор исследуемых материалов определяли эксикаторным методом по адсорбции паров бензола [9].

Изучение сорбции <sup>137</sup>Cs на синтезированных комбинированных материалах проводили из модельных растворов в статических условиях при непрерывном перемешивании навески сорбента массой 0,050 г с 20 см<sup>3</sup> модельного раствора (0,1 моль/л нитрата натрия, <sup>137</sup>Cs ~ 10<sup>5</sup> Бк/л) до достижения равновесия. Удельную активность радиоцезия в растворах определяли прямым радиометрическим методом с использованием двухканального гамма-анализатора марки «NRG-603» (Тесла, Чехия). Сорбционную способность синтезированных материалов к <sup>137</sup>Cs оценивали по значениям таких показателей: эффективность извлечения (Эф, %) и коэффициент распределения (K<sub>d</sub>, мл/г):

$$\text{Эф} = (1 - A_0/A_p) \cdot 100;$$

$$K_d = [(A_0 - A_p)/A_p] (V_p/m_c),$$

где A<sub>0</sub>, A<sub>p</sub> — удельная активность <sup>137</sup>Cs в исходном и равновесном растворах соответственно, Бк/дм<sup>3</sup>; V<sub>p</sub> — объем раствора, см<sup>3</sup>; m<sub>c</sub> — навеска сорбента, г.

Поглощающую способность синтезированных образцов по отношению к иоду определяли в статических условиях согласно ГОСТ 6217-74. Сорбцию красителей на исходных и модифицированных материалах изучали при 25 °С в диапазоне исходных концентраций от 30 до 1000 мг/л. Растворы красителей готовили на 0,15 нормальном фосфатном буфере с рН 6,0. Навеска сорбента — 0,20 г, объем раствора — 25 см<sup>3</sup>. Исходную и равновесную концентрации красителей определяли спектрофотометрическим методом. Спектры пропускания раство-

ров регистрировали на «Specord M-40». Длины фиксируемых волн (нм) при этом были для метилового фиолетового – 576, метиленового голубого – 664, мурексида – 515. Адсорбционную активность (А, мг/г) сорбентов по красителям определяли по формуле:

$$A = [(C_0 - C_p) V_p] / m_c,$$

где  $C_0$ ,  $C_p$  – концентрация красителя в исходном и равновесном растворах соответственно, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_p$  – объем раствора, дм<sup>3</sup>;  $m_c$  – навеска сорбента, г.

Анализ компонентного состава исходного сырья показал, что растительная ткань абрикосовых косточек содержит значительное количество лигнина и целлюлозы (табл.1), что свидетельствует о целесообразности комплексной переработки указанного сырья для получения эффективных ЛЦ биосорбентов.

**Таблица 1. Характеристики исходного сырья и ЛЦ-материала**

Показатель	Косточки абрикоса	ЛЦ-материал
Основные компоненты, %:		
целлюлоза	40,3	29,0
лигнин	50,7	66,9
смолы, жиры, воски	7,0	3,1
зольность	2,0	1,0
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	3,5	6,5
Объем пор по бензолу, см <sup>3</sup> /г	0,03	0,19
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,30	0,57
Сорбционная активность по I <sub>2</sub> , %	22	44

С целью максимального сохранения высокомолекулярных составляющих в ЛЦ-матрице кислотно-щелочную обработку исходного материала проводили в мягких условиях. В результате происходит увеличение удельной поверхности материала в 2 раза за счет растворения и удаления смол, жиров, восков, неорганической составляющей, низкомолекулярных гемицеллюлоз, частичной деполимеризации целлюлозы, расщепления лигноуглеродных связей, в первую очередь сложнэфирных, а также фенилглюкозидных и бензилэфирных. Объем пор ЛЦ-материала при этом увеличивается в 6 раз, сорбционная активность по иоду – в 2 раза.

На рис.1 приведены ИК-спектры исходного и модифи-

цированного материала. Широкие полосы поглощения в области 3000–3700 см<sup>-1</sup> для обоих образцов указывают на наличие валентных колебаний ОН-групп (фенольных и спиртовых) в водородных связях. Полосы поглощения в спектрах образцов в интервале 2800–3700 см<sup>-1</sup> соответствуют симметричным и асимметричным валентным колебаниям С–Н в метильных и метиленовых группах лигнина и полисахарида. Полоса поглощения при 1740 см<sup>-1</sup> в исходном сырье соответствует колебаниям связи С=О. Из приведенных спектров следует, что в модифицированном по кислотно-щелочной схеме ЛЦ-материале «карбонильная» полоса поглощения пропадает, что может свидетельствовать о превращении кето-группы (С=О) лигнина в гидроксил (С–ОН) [10]. В результате полоса поглощения в спектре ЛЦ-материала при 1245 см<sup>-1</sup>, которая является характеристической для валентных колебаний С–О-связей, становится более интенсивной по сравнению с исходным материалом. Вследствие удаления из абрикосовых косточек в процессе модифицирования части полисахарида происходит уменьшение интенсивности поглощения в области 900–1100 см<sup>-1</sup>. Валентные скелетные С=C-колебания ароматического кольца структурных единиц лигнина (1440, 1508, 1604 см<sup>-1</sup>) в ЛЦ-материале при этом становятся более интенсивными.

Для получения материалов с высокой сорбционной способностью по отношению к радиоцезию проводили модифицирование ЛЦ-матрицы [ФЦ]-фазой. Исследования [11] по получению целлюлозно-неорганических сорбентов на основе беленого хлопкового волокна и [ФЦ]Си свидетельствуют, что сорбционная способность полученных комбинированных [ФЦ]-материалов в значительной степени зависит от условий модифицирования, то есть технологических параметров процесса (температуры, рН среды и



Рис.1. ИК-спектры: 1 – исходное сырье; 2 – ЛЦ-материал.

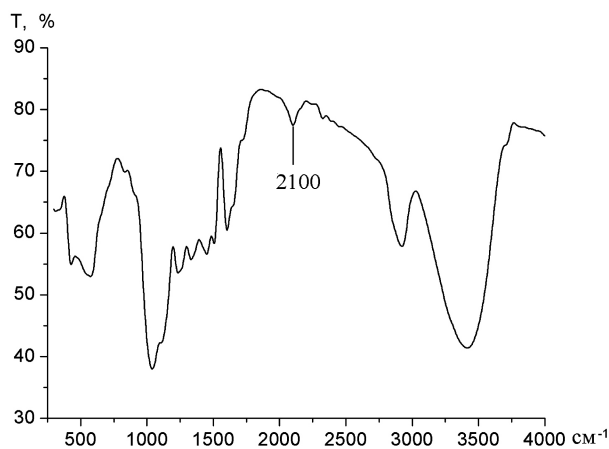


Рис.2. ИК-спектр ЛЦ-[ФЦ]Cu.

концентрации [ФЦ]Cu в исходном растворе). Установлено, что температура модифицирования (90 °С), концентрация [ФЦ]Cu в растворе (4 г/л) и нейтральность среды являются оптимальными для получения эффективных сорбентов. Поэтому дальнейшие исследования по получению комбинированных биосорбентов проводили при указанных параметрах и разных концентрациях модификатора.

В результате пропитки ЛЦ-матрицы растворами [ФЦ]Cu происходит образование комбинированных сорбентов лигноцеллюлозно-неорганического типа ЛЦ-[ФЦ]Cu. На рис.2 видно, что в спектре исследуемого образца после иммобилизации [ФЦ]-фазы появляется полоса поглощения при 2100 см<sup>-1</sup>, соответствующая валентным колебаниям C–N-групп. Никаких изменений или сдвигов в спектре, которые указывали бы на химическое взаимодействие модификатора с поверхностью органической матрицы, не наблюдается, то есть иммобилизация [ФЦ]-фазы происходит в порах ЛЦ-носителя.

Установлено, что увеличение концентрации [ФЦ]Cu в исходном растворе для модифицирования от 1 до 4 г/дм<sup>3</sup> приводит к росту содержания [ФЦ]-фазы в полученных образцах сорбционных материалов на 70 % (табл.2). Анализ полученных данных свидетельствует, что зависимость содержания неорганической со-

ставляющей в конечных материалах от концентрации модификатора в исходном растворе носит линейный характер. Исследования поглощающей способности полученных образцов комбинированных [ФЦ]-материалов по отношению к <sup>137</sup>Cs показали, что увеличение концентрации [ФЦ]Cu в исходном растворе от 1 до 4 г/л приводит не только к увеличению доли неорганической составляющей в носителе, но и к улучшению сорбционных свойств: значения эффективности извлечения <sup>137</sup>Cs и коэффициента распределения при этом увеличиваются в 2 раза. Дальнейшее повышение концентрации модификатора в растворе до 5 г/дм<sup>3</sup> не влияет на содержание [ФЦ]-фазы в ЛЦ-матрице и на эффективность извлечения радиоцезия.

На иммобилизацию модификатора именно в порах носителя указывают также результаты по исследованию общего объема пор: при увеличении содержания [ФЦ]-фазы в объеме ЛЦ-материала от 1,3 до 4,5 % от массы носителя объем адсорбционных пор по бензолу уменьшается на 26 %; сорбционная активность по иоду при этом уменьшается на 12 %.

На рис.3 представлены изотермы сорбции на исходном и модифицированных материалах с разным содержанием [ФЦ]-фазы красителей: метилового фиолетового, метиленового голубого и мурексида. Образцы ЛЦ во всех случаях имеют большую сорбционную способность по отношению к красителям в сравнении с исходным сырьем благодаря более развитой пористой структуре. Из приведенных данных следует, что сорбционная способность растительных материалов по отношению к красителям уменьшается в ряду: метиленовый голубой > метиловый фиолетовый > мурексид.

Такая последовательность в сорбционной активности по отношению к указанным красителям связана с природой красителей, а именно: с их основным и кислотным характером. Основные красители, к которым относятся метиловый фиолетовый и метиленовый голубой, в водных растворах диссоциируют по типу солей аммония и дают при этом «окрашивающие ка-

Таблица 2. Характеристики сорбентов ЛЦ-[ФЦ]Cu

Концентрация [ФЦ]Cu в исходном растворе, г/л	Содержание [ФЦ]-фазы, % от массы носителя	Объем адсорбционных пор по бензолу, см <sup>3</sup> /г	Сорбционная активность по I <sub>2</sub> , %	Эффективность извлечения <sup>137</sup> Cs, %	Коэффициент распределения <sup>137</sup> Cs, мл/г
1	1,3	0,16	40	57,4	3060
2	2,4	0,15	39	75,2	4390
3	3,5	0,15	38	93,5	5740
4	4,5	0,14	38	94,6	7020
5	4,5	0,14	38	94,7	7030

Примечание. Насыпная плотность — 0,57 г/см<sup>3</sup>.

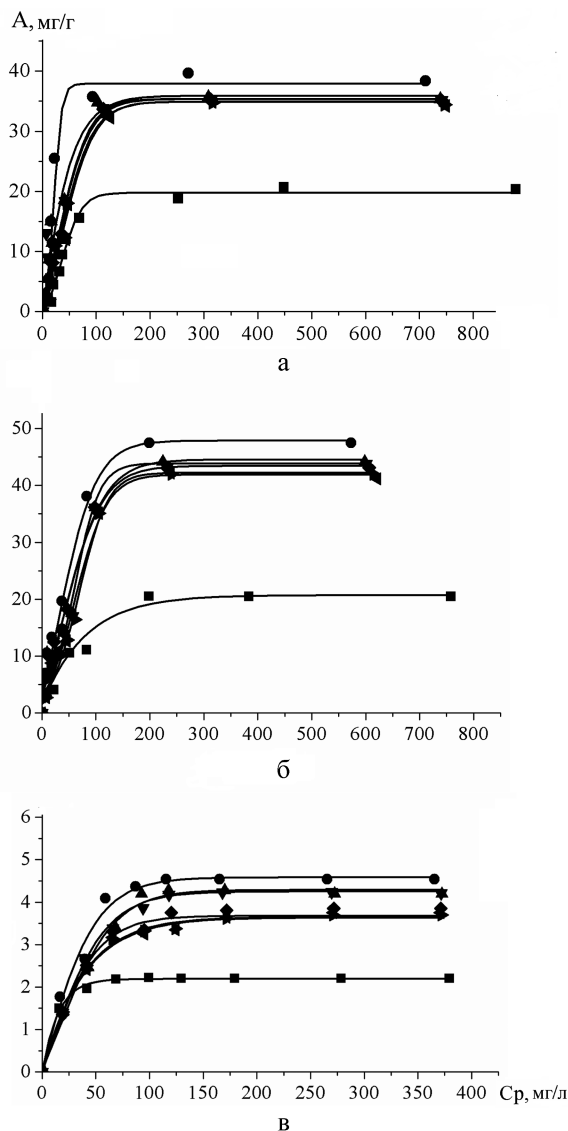


Рис.3. Изотермы сорбции красителей: а – метилового фиолетового; б – метиленового голубого; в – мурексида.

тионы», которые являются сложными органическими радикалами, и анионы минеральной кислоты (рис.4).

В отличие от основных красителей, кислотный краситель мурексид дает «окрашивающий анион» и катион аммония. Исходя из теории крашения растительных полимерных материалов, фиксация красителей на поверхности материала происходит не только за счет адсорбции в порах, но и за счет химического взаимодействия катионов или анионов красителя с функциональными группами лигнина и целлюлозы [12]. Высокое сродство ЛЦ с основными красителями связано с электрокинетическими свойствами поверхности материала: поскольку в водной среде ЛЦ приобретает отрицательный за-

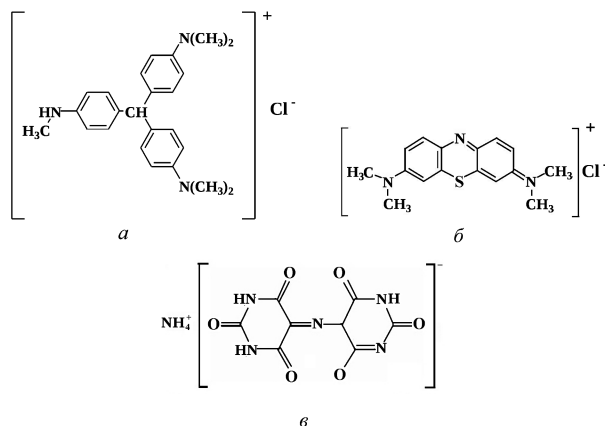


Рис.4. Структура основных (а, б) и кислотного (в) красителей [13]: а – метиловый фиолетовый; б – метиленовый голубой; в – мурексид.

ряд, основные «окрашивающие катионы» прочно закрепляются на поверхности. Установлено, что эффективность сорбции основных красителей на растительных материалах зависит также от их молекулярной массы и пространственного строения.

Из приведенных на рис.3 изотерм видно, что сорбционная емкость ЛЦ-материала по метиленовому голубому с  $M(C_{16}H_{18}N_3S)^+ = 284$  составляет 47 мг/г, по метилового фиолетовому с  $M(C_{24}H_{28}N_3)^+ = 358$  составляет 38,32 мг/г. Кислотный краситель почти не имеет химического сродства с растительной матрицей, поскольку в водной среде приобретает отрицательный заряд, как и ЛЦ-материал, в результате чего возникают силы электростатического отталкивания. Максимальная сорбционная емкость ЛЦ по мурексиду составляет всего 4,5 мг/г.

Введение в объем ЛЦ-материала [ФЦ]-фазы несколько снижает сорбционную способность комбинированных материалов по отношению к красителям. Увеличение доли [ФЦ]-фазы в полученных сорбентах от 1,3 до 4,5 % от массы носителя приводит к незначительному уменьшению сорбционной емкости по изученным красителям. Указанные значения являются достаточно высокими в сравнении с соответствующими показателями исходных абрикосовых косточек.

## Выводы

Синтезированы сорбенты лигноцеллюлозно-неорганического типа с высокой поглощающей способностью по отношению к радиоцезию. Показано, что увеличение содержания [ФЦ]-фазы в объеме органической матрицы от 1,3 до 4,5 % способствует улучшению эффективности извлечения  $^{137}Cs$  из водных растворов почти вдвое, однако сорбционные свойства по иоду и органическим красителям при этом несколько



знижуються. Отримані результати дозволяють утвердити, що нові комбіновані біосорбенти є універсальними поглиначами органічних забруднювачів та радіонуклідів з водних розчинів.

### Список літератури

1. Осокин В.М., Сомин В.А. Исследование по получению новых сорбентов из растительного сырья для очистки воды // Ползуновский вестник. — 2013. — № 1. — С. 280–282.
2. Веприкова Е.В., Щипко М.Л., Чунарев Е.Н. Свойства порошкообразных и таблетированных препаратов на основе энтеросорбента из луба коры березы // Химия растительного сырья. — 2010. — № 2. — С. 31–36.
3. Гарынцева Н.В., Судакова И.Г., Кузнецова Б.Н. Свойства энтеросорбентов, полученных из уксуснокислотных лигнинов древесины пихты, осины и березы // Журнал Сибирского федерального университета. — 2011. — № 2. — С. 121–126.
4. Никифорова Т.Е., Багровская Н.А., Козлов В.А., Лилин С.А. Сорбционные свойства и природа взаимодействия целлюлозосодержащих полимеров с ионами металлов // Химия растительного сырья. — 2009. — № 1. — С. 5–14.
5. Шевелева И.В., Холмейдик А.Н., Войт А.В., Земнухова Л.А. Сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов Fe (III), Cu (II), Cd (II), Pb (II) из растворов // Химия растительного сырья. — 2009. — № 4. — С. 171–176.
6. Соколовская Ю.Г., Фалюшин П.Л. Пиролиз отходов мебельного производства // Научные сообщения. — 2011. — № 20. — С. 143–146.
7. Milyutin V.V., Gelis V.M., Klindukhov V.G., Obruchikov A.V. Coprecipitation of microamounts of Cs with ferrocyanides of various metals // Radiochemistry. — 2004. — № 5. — P. 479–480.
8. Оболенская А.В., Ельцина З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. — М.: Экология, 1991. — 320 с.
9. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. — М.: Химия, 1984. — 592 с.
10. Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. — М.: Лесн. пром-сть, 1978. — 368 с.
11. Галиш В.В., Картель М.Т., Милютин В.В. Синтез та сорбційні властивості комбінованих целюлозно-неорганічних сорбентів для концентрування цезію-137 // Поверхність. — 2013. — № 5. — С. 135–143.
12. Мельников Б.Н., Виноградова Г.И. Применение красителей. — М.: Химия, 1986. — 240 с.
13. Бишоп Э. Индикаторы. — М.: Мир, 1976. — Т. 1. — 496 с.

Поступила в редакцию 13.06.14

**Галиш В.В.<sup>1</sup>, аспірант, Картель М.Т.<sup>1</sup>, докт. хім. наук, акад. НАНУ, Милютин В.В.<sup>2</sup>, докт. хім. наук, Бакалінська О.М.<sup>1</sup>, канд. хім. наук**

<sup>1</sup> **Інститут хімії поверхні НАН України, Київ**

*вул. Генерала Наумова, 17, 03164 Київ, Україна, e-mail: v.galyshg@mail.com*

<sup>2</sup> **Інститут фізичної хімії і електрохімії РАН, Москва, РФ**

*Ленінський пр., 31, 119071 Москва, Росія*

## Синтез та властивості лігноцелюлозно-неорганічних біосорбентів

Синтезовано нові комбіновані біосорбенти на основі лігноцелюлозного комплексу, одержаного з відходу харчової промисловості — абрикосових кісточок — та фероціаніду міді. Досліджено фізико-хімічні та структурно-сорбційні властивості одержаних матеріалів. Встановлено, що попередня обробка вихідних абрикосових кісточок за кислотно-лужною схемою приводить до збільшення питомої поверхні лігноцелюлозного матеріалу в 2 рази та загального об'єму пор у 6 разів. Показано залежність між концентрацією фероціаніду міді у вихідному розчині та сорбційними властивостями синтезованих зразків щодо <sup>137</sup>Cs. Встановлено, що збільшення концентрації модифікатора у вихідному розчині приводить до збільшення вмісту фероціанідної фази в об'ємі носія та до підвищення сорбційної здатності одержаних матеріалів щодо радіоцезію. Максимальними значеннями ефективності вилучення <sup>137</sup>Cs (94 %) та коефіцієнта розподілення (7000 мл/г) характеризуються зразки сорбента з вмістом фероціанідної фази в об'ємі носія 4,5 %. Досліджено закономірності вилучення йоду, основних та кислотних барвників з водних розчинів синтезованими сорбентами. Встановлено, що поглинаюча здатність одержаних комбінованими матеріалами щодо йоду та органічних барвників незначно зменшується у порівнянні з вихідною лігноцелюлозною матрицею. *Бібл. 13, рис. 4, табл. 2.*

**Ключові слова:** біосорбент, лігноцелюлозна матриця, фероціанід міді, сорбційна здатність, йод, органічні барвники.

**Galysh V.V.<sup>1</sup>, PhD Student, Kartel M.T.<sup>1</sup>, Doctor of Chemical Science, academician of NASU, Milyutin V.V.<sup>2</sup>, Doctor of Chemical Science, Bakalinska O.M.<sup>1</sup>, Candidate of Chemical Science**

**<sup>1</sup> Institute of Surface Chemistry of National Academy of Science of Ukraine, Kiev**

17, General Naumov Str., 03164 Kiev, Ukraine, e-mail: v.galyshgmail.com

**<sup>2</sup> Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of Russian Academy of Science, Moscow, Russia**

31, Leninskiy ave, 119071 Moscow, Russia

## Synthesis and Properties of Lignocellulose-Inorganic Biosorbents

New combined biosorbents based on lignocellulose complex, obtained from the waste of food industry – apricot stones, and copper ferrocyanide were synthesized. The physical, chemical, structural and sorption properties of the obtained materials were investigated. It was found out that pretreatment of initial apricot stones by acid-alkali scheme leads to an increase in the specific surface area of the lignocellulose material in two times and the total pore volume up to six times. The dependence between the concentration of copper ferrocyanide in initial solution and sorption properties of the synthesized sampled with respect to <sup>137</sup>Cs was shown. It was found out that the increase of the modifier concentration in initial solution leads to the increase of the content of ferrocyanide phase in the volume of the carrier and to the increase of the sorption ability of obtained materials with respect to radiocesium. The sorbent samples with the content of ferrocyanide phase 4,5 % in the volume of carrier characterized by the maximum values of recovery rate (94 %) and distribution coefficient (7000 ml/g). The regularities of sorption of iodine, basic and acid dyes from the aqueous solution on the synthesized materials were investigated. It was found out that the sorption capacity of obtained biosorbents with respect to iodine and organic dyes slightly decreases in comparison with initial lignocellulose matrix. *Bibl. 13, Fig. 4, Table 2.*

**Key words:** biosorbent, lignocellulose matrix, copper ferrocyanide, sorption capacity, iodine, organic dyes.

### References

- Osokin V.M., Somin V.A. Study on preparation of new adsorbents from vegetable raw materials for water purification. *Polzunovskij vestnik*, 2013, (1), pp. 280–282. (Rus.)
- Veprikova E.V., Shchipko M.L., Chunarev E.N. Properties of powder and tableted preparats based on enterosorbent of birch bark bast. *Himiya rastitel'nogo syr'ja*, 2010, (2), pp. 31–36. (Rus.)
- Garyntseva N.V., Sudakova I.G., Kuznetsov B.N. Properties of enterosorbents obtained from acetic acid lignins of abies, aspen and birch wood. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta*, 2011, (2), iss. 4, pp. 121–126. (Rus.)
- Nikiforova T.E., Bagrovskaya T.E., Kozlov V.A., Lilin S.A. Sorption properties and nature of the interaction of cellulose polymers with metal ions. *Himiya rastitel'nogo syr'ja*, 2009, (1), pp. 5–14. (Rus.)
- Sheveleva I.V., Holomeydik A.N., Voit A.V., Zemnukhova L.A. Sorbents based on rice husk for removing the ions Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) from solutions. *Himiya rastitel'nogo syr'ja*, 2009, (4), pp. 171–176. (Rus.)
- Sokolovskaya Yu.G., Falushin P.L. Pyrolysis of furniture production waste. *Nauchnye soobshhenija*, 2011, (20), pp. 143–146. (Rus.)
- Milyutin V.V., Gelis V.M., Klindukhov V.G., Obruchikov A.V. Coprecipitation of microamounts of Cs with ferrocyanides of various metals. *Radiochemistry*, 2004, (5), pp. 479–480.
- Obolensky A.V., Yeltsin Z.P., Leonovich A.A. Laboratory work in chemistry of wood and cellulose. Moscow: Ekologiya, 1991, 320 p. (Rus.)
- Keltsev N.V. Fundamentals of adsorption technology. Moscow : Himiya, 1991, 592 p. (Rus.)
- Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Schegolev V.P. Chemistry of wood and cellulose. Moscow : Lesnaya promyshlennost, 1978, 368 p. (Rus.)
- Galysh V.V., Kartel M.T., Milyutin V.V. Synthesis and sorption properties of combined cellulose-inorganic sorbents for the concentration of cesium-137. *Poverhmost' [Surface]*, 2013, (5), pp. 135–143. (Ukr.)
- Melnikov B.N., Vinogradov G.I. Application of dyes. Moscow : Himiya, 1986, 240 p. (Rus.)
- Bishop E. Indicators. Oxford : Pergamon Press, 1972, 746 p.

Received June 13, 2014