

9. Пат. 2216558 Рос. Федерация, Композиция для защитно-декоративного покрытия [Текст] / М.С. Гаркави, Н.И. Зубулина; заявитель и патентообладатель Магнитогорский государственный технический университет им.Г.И. Носова. – № 2001135679/04, заявл. 24.12.2001; опубл. 20.11.2003.
10. Пат. 2160753 Рос. Федерация, Композиционная силикатная краска [Текст] / П.Б. Разговоров, В.А. Игнатов, С.М. Алексеев, О.М. Месник, Т.А. Крылова, Н.И. Пелевина; заявитель и патентообладатель Ивановская государственная химико-технологическая академия. - № 96104087/04, заявл. 29.02.1996; опубл. 20.12.2000.
11. Сайт компании-производителя дисперсии НОВОПОЛ — ООО «Группа «Хома»; <http://www.homa.ru/products/novopol-110>.
12. Везенцев А.И., Макридина О.И. Разработка экологически чистых защитно-декоративных покрытий хризотил-цементных изделий. // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее. Материалы областной научно-практической конференции, – Белгород : Изд-во БелГУ, 2010. – Ч. 1. - С. 104-108.
13. Боев, А.О. Зависимость физико-химических свойств покрытия на основе нанодисперсного силиката калия от концентрации оксида цинка на подложке из тротуарной плитки / А.О. Боев // Научный аспект - Самара: Изд-во ООО «Аспект», 2014. – Т. 2, № 1. - С. 180-182.
14. Сахнова, Л.Ю. Коллоидно-химические свойства пленкообразователя на основе калий-натриевого жидкого стекла и латекса / Л.Ю. Сахнова, О.А. Воронцова // Научные технологии и инновации: сб. докладов Юбилейной Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч. 1. - С. 256-259.
15. Сахнова, Л.Ю. Бактерицидное защитно-декоративное покрытие / Л.Ю. Сахнова, О.А. Воронцова // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: Материалы XX Международной научно-практической конференции (Белгород, 23 — 25 мая 2016 г.). Том 2.- Белгород: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2016. – С. 251-252.
16. Sakhnova, L.Y. Thermal analysis of the composition of protective-decorative coating / L.Y. Sakhnova // XV International Conference on Thermal Analysis and Calorimetry in Russia (RTAC-2016) (September 16-23, 2016, St. Petersburg, Russia): Proceedings – St. Petersburg, SPbPU Publisher, 2016, Vol I 2016.- С. 127-130.
17. Богданов, В.Н. Разработка пожаровзрывобезопасного защитно-декоративного покрытия / В.Н. Богданов, Л.Ю. Сахнова, О.А. Воронцова // «Moderni vymozenosti vedy – 2014»: X Mezinarodni vedecko-prakticka conference. Praha, 2014. - С. 9-12.
18. Воронцова, О.А. Влагостойкость и устойчивость отвержденной композиции защитно-декоративного назначения к воздействию агрессивных сред / О.А. Воронцова, Л.Ю. Сахнова // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире: Материалы X Международной научно-практической конференции, 2015. Т. 1. - С. 35-38.
19. Сахнова, Л.Ю. Морозостойкость неотвержденной и отвержденной композиции защитно-декоративного покрытия / Л.Ю. Сахнова, О.А. Воронцова, А.И. Везенцев // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки, 2015. Т. 32. № 15 (212). - С. 141-144.

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМИ СОРБЕНТАМИ**

**Смальченко Дмитрий Евгеньевич**

г. Белгород, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»  
04.04.01 «Химия. Аналитическая химия»

В работе описан метод получения сорбентов из возобновляемых источников лигноцеллюлозных материалов, а также процесс сорбции водорастворимого белка из сточных вод сельскохозяйственных производств.

В настоящее время большое внимание исследователей привлечено к разработке методов и концентрирования из сточных вод таких биологически ценных продуктов как белки и жиры. Самым простым из известных способов, в плане аппаратного оформления, является сорбция конечного продукта на природных и синтетических сорбентах. Таким образом, возможно получать воду определенного качества, а также концентрировать полезные для дальнейшего использования вещества. Однако, основная сложность заключается в том что регенерация данных сорбентов не эффективна и их можно считать поглотителями одноразового использования. В связи с этим, перспективным является направление, когда разрабатываются комплексные способы, включающие очистку технологических вод сельскохозяйственных производств на природных сорбентах, с последующим использованием последних в качестве кормовой добавки для скота[1].

Целью нашей работы стало проведение сравнительной оценки сорбции белка из сточных вод сельскохозяйственных производств на нативных и модифицированных стержнях початков кукурузы (СПК).

СПК представляют собой целлюлозосодержащий материал, являются отходом сельскохозяйственных производств. В 2014 году объем сбора кукурузы в Белгородской области составил 921,1 тыс. тонн, из которых, порядка 202 тыс. тонн составили отходы при переработки (лузга и початки), что представляется экономически выгодным для использования данного сырья в качестве материала для получения сорбентов [2].

Поскольку изначально СПК представляют собой неоднородную массу (фракционный состав колеблется от 1 до 20 см), первоначально необходимо было установить оптимальный временной промежуток, в течение

которого происходит измельчение, так чтобы на выходе получалась масса, фракционный состав которой находился бы в интервале от 250 до 2000 мкм. Измельчение проводили в помощью лабораторной мельницы в течение 0,5; 1,0; 3,0 и 5,0 минут. Размер получаемых частиц определяли, используя классический седиментационный метод анализа.

Насыпная плотность СПК при нормальных условиях составляет  $720 \text{ кг/м}^3$ , тогда как плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$  [3]. Очевидно, что при таких значениях, провести седиментационный анализ не представляется возможным. Поэтому мы добивались увеличения насыпной плотности, посредством кипячения исследуемых образцов в дистиллированной воде. После проведенных манипуляций, насыпная плотность СПК повысилась до  $1035,92 \text{ кг/м}^3$  что позволяет использовать в качестве дисперсионной среды, для седиментационного анализа, дистиллированную воду. Исследования проводили при комнатной температуре в трех повторностях. В Таблице 1 и на рис. 1-3 представлены результаты седиментационного анализа образцов подвергшихся измельчения в течение 0,5 мин.

Таблица 1.

Степень измельчения образца СПК при  $\tau=0,5$  мин ( $p=0,99$ ,  $n=3$ )

Эквивалентный радиус частиц, мкм	Доля фракции, %	Скорость падения частиц в гравитационном поле, $10^{-2}$ м/с	Константа Стокса
>2000	$70,97 \pm 0,06$	$3,40 \pm 0,03$	3,45
630-2000	$18,73 \pm 0,17$	$0,34 \pm 0,03$	
500-630	$1,85 \pm 0,05$	$0,21 \pm 0,06$	
315-500	$4,48 \pm 0,10$	$0,08 \pm 0,01$	
250-315	$0,53 \pm 0,06$	$0,05 \pm 0,01$	
<250	$1,43 \pm 0,07$	$0,03 \pm 0,01$	

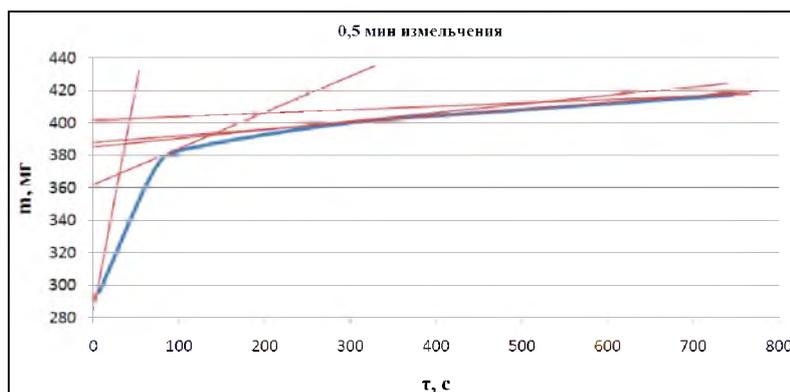


Рис. 1. Кривая седиментации полидисперсной системы СПК

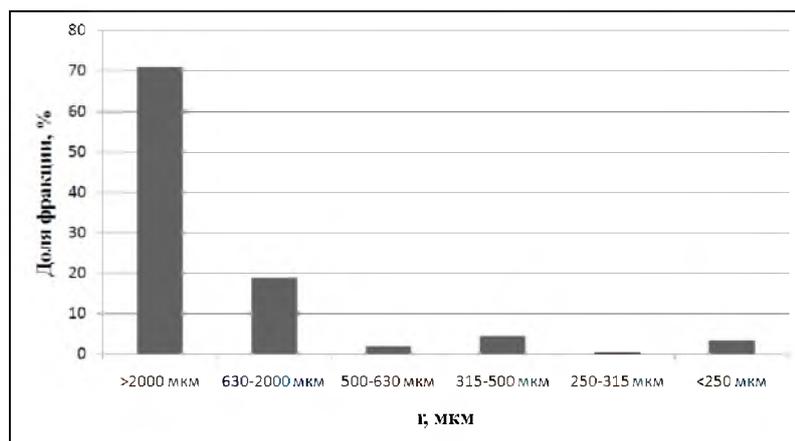


Рис. 2. Дифференциальное распределение частиц СПК по размерам ( $\tau=0,5$  мин)

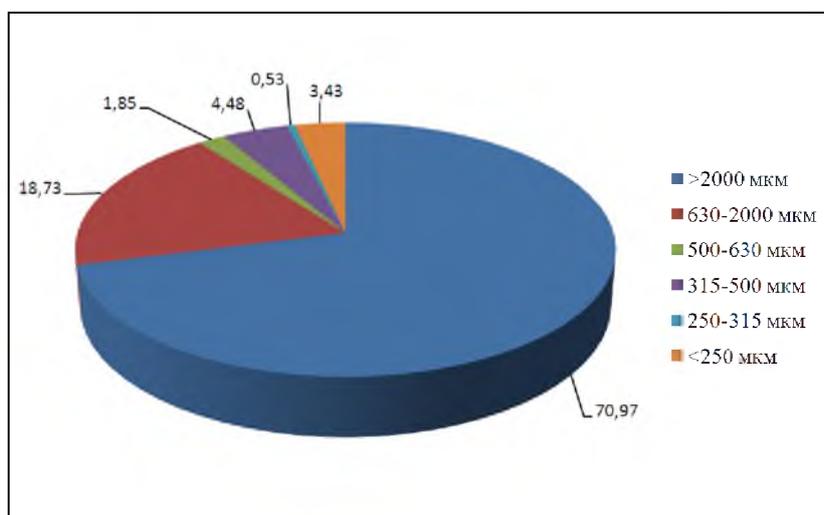


Рис. 3. Фракционный состав пробы СПК  $\tau=0,5$  мин

Исходя из полученных данных, представленных в Таблице 1 и на рис. 1-3, делаем вывод о том, что фракция с размером частиц >2000 мкм превалирует в полидисперсной системе и её содержание составляет 70,97% от общего числа. Следующей по содержанию фракция с размером частиц 630-2000 мкм (18,73%). Остальные фракции составляют только 10,30% от общего содержания полидисперсной системы.

В Таблице 2 и на рис. 4 представлены результаты седиментационного анализа образцов подвергшихся измельчения в течение 1,0; 3,0 и 5,0 мин.

Таблица 2.

Степень измельчения образца СПК при измельчении в течение 1,0; 3,0 и 5,0 мин ( $p=0,99$ ,  $n=3$ )

Эквивалентный радиус частиц, мкм	t, мин						Константа Стокса
	1,0		3,0		5,0		
	Доля фракции, %	Скорость падения частиц в гравитационном поле, 10-2 м/с	Доля фракции, %	Скорость падения частиц в гравитационном поле, 10-2 м/с	Доля фракции, %	Скорость падения частиц в гравитационном поле, 10-2 м/с	
>2000	55,61 ±0,69	4,30 ±0,04	43,74 ±0,01	54,00 ±2,57	28,20 ±0,02	85,03 ±0,03	3,45
630-2000	26,77 ±0,72	0,30 ±0,04	26,37 ±0,03	3,00 ±0,97	24,55 ±0,01	3,29 ±0,02	
500-630	2,97 ±0,01	0,10 ±0,01	3,96 ±0,03	1,50 ±0,19	3,90 ±0,01	1,46 ±0,02	
315-500	8,24 ±0,04	0,08 ±0,02	13,19 ±0,01	0,50 ±0,09	17,57 ±0,01	0,38 ±0,02	
250-315	1,14 ±0,01	0,05 ±0,01	1,97 ±0,02	0,30 ±0,01	3,90 ±0,01	0,15 ±0,01	
<250	5,26 ±0,03	0,03 ±0,02	10,77 ±0,01	0,16 ±0,01	21,48 ±0,05	0,08 ±0,02	

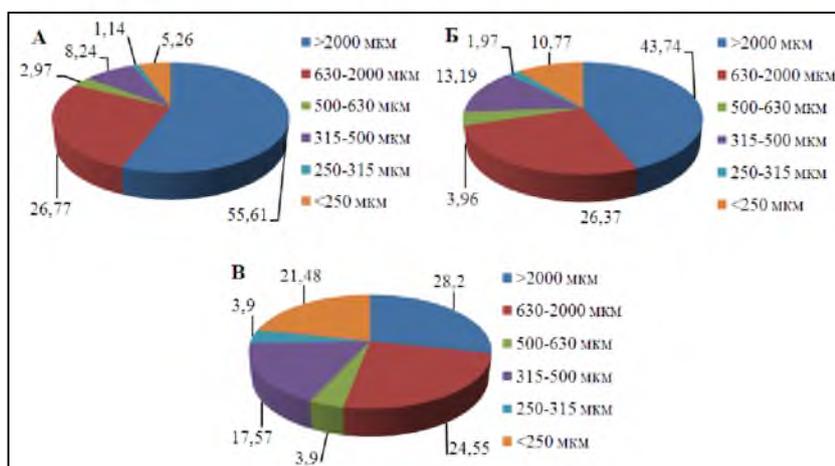


Рис. 4. Фракционный состав пробы СПК: А – 1,0 мин измельчения; Б – 3,0 мин измельчения; В – 5,0 мин измельчения

В результате седиментационного анализа, установлено, что измельчение в течение 3 и 5 минут является оптимальным, т.к. обеспечивает более широкий спектр массовых долей каждой полученной фракции (фракция состава  $>2000$  мкм в интервале 28,20 – 43,74 %, доля фракции 630-2000 мкм – 24,55 – 26,37%, остальные фракции составляют 29,89 – 47,25% от общего состава полидисперсной системы). Оптимальным выбрано время измельчения 5 минут.

Для получения сорбентов нами произведено модифицирование исходного нативного сырья. В качестве модификатора был использован острый водяной пар; карбонизация исходного сырья с последующей обработкой острым водяным паром. Обработка острым водяным паром исходного сырья позволяет свести к минимуму содержание низкомолекулярных балластных веществ и, таким образом, увеличить полезную поверхность сорбента. Так как, в ряде случаев, для отделения белковых молекул от субстрата используются минеральные вещества, мы также проводили модификацию исходного сырья изотоническим раствором.

Предварительно, нами было определено содержание белка в субстрате (в пересчете на альбумин человека) –  $25,81 \text{ г/дм}^3$ .

Процесс сорбции белка из субстрата производили при постоянном перемешивании суспензии магнитной мешалкой (1000 об/мин).

Для исследования сорбционной емкости по отношению к белку отработывали различные соотношения сорбент:сорбат (в работе представлены результаты при оптимальном соотношении сорбент:сорбат 1:5). Для констатации времени насыщения поверхности, сорбент и сорбат контактировали между собой в течение 60 минут. Через 30 и 60 минут суспензию центрифугировали и остаточное содержание белка определяли спектрофотометрически (биуретовый метод) с использованием градуировочного графика.

На рис. 5 показана зависимость изменения концентрации белка от времени контакта между сорбентом и сорбатом.

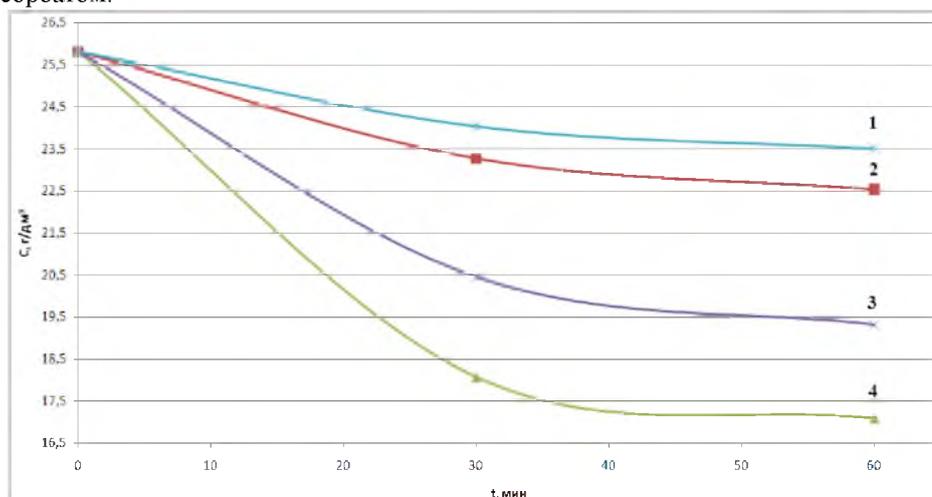


Рис. 5. Изменение концентрации белка от времени контакта между сорбентом и сорбатом. 1 – СПК обработанные 0,9%-ным раствором NaCl; 2 – СПК без обработки; 3 – карбонизированные СПК с последующей обработкой острым водяным паром; 4 – СПК обработанные острым водяным паром

Как видно, концентрация белка в субстрате резко уменьшается, что говорит о перспективности использования данного сырья на предприятиях агропромышленного комплекса.

Предельную сорбцию белка из раствора рассчитывали по формуле:

$$a = \frac{C_{\text{ст}} - C}{m * M} * \frac{V_p}{1000 * 10^{-6}}, \text{ где}$$

$a$  – предельная сорбция, мкмоль/г;

$C_{\text{ст}}$  – начальная концентрация раствора белка, г/дм<sup>3</sup>;

$C$  – остаточная концентрация белка в растворе после адсорбции, г/дм<sup>3</sup>;

$m$  – масса навески сорбента, г;

$M$  – молярная масса альбумина человека, г/моль;

$V_p$  – объем раствора белка, см<sup>3</sup>.

В таблице 3 представлены значения предельной сорбции на полученных образцах при начальной концентрации белка в субстрате 25,81 г/дм<sup>3</sup>.

Таблица 3.

Предельная сорбция белка из раствора ( $p=0,99$ ,  $n=3$ )

№ п/п	Образец	t, мин	
		30	60
1.	СПК без обработки	0,16±0,01	0,41±0,01
2.	СПК обработанные острым водяным паром	0,60±0,01	0,66±0,01
3.	Карбонизированные СПК с последующей обработкой острым водяным паром	0,41±0,01	0,50±0,01
4.	СПК обработанные 0,9%-ным раствором NaCl	0,13±0,01	0,17±0,01
		a, мкмоль/г	

Наибольшей сорбционной активностью по отношению к белку обладают СПК обработанные острым водяным паром. Данный факт можно объяснить отсутствием низкомолекулярных балластных веществ в структуре сорбента и специфическим взаимодействием пептидных групп в структуре белка с гидроксигруппами полипептоз, которые являются структурными элементами данного материала.

Степень извлечения белка из субстрата определяли по формуле:

$$\alpha = \frac{C_{\text{начальная}} - C_{\text{конечная}}}{C_{\text{начальная}}} * 100\%, \text{ где}$$

$C_{\text{начальная}}$  – исходная концентрация белка в растворе, г/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{конечная}}$  – остаточная концентрация белка в растворе, г/дм<sup>3</sup>.

В таблице 4 представлены значения степени извлечения белка из субстрата.

Таблица 4.

Степень извлечения белка из субстрата

№ п/п	Образец	t, мин	
		30	60
1.	СПК без обработки	8,25	21,12
2.	СПК обработанные острым водяным паром	29,98	33,77
3.	Карбонизированные СПК с последующей обработкой острым водяным паром	20,76	25,18
4.	СПК обработанные 0,9%-ным раствором NaCl	6,86	8,91
		α, %	

Проведенное исследование показало, что максимальной сорбционной активностью по отношению к белку обладает сорбент на основе СПК обработанных острым водяным паром ( $\alpha = 33,77\%$  через 60 минут).

Полученные результаты позволяют рекомендовать образец на основе СПК, обработанных острым водяным паром, для извлечения из сточных вод сельскохозяйственных производств ценного биологического продукта – белка. Преимуществом использования данного сорбента является его доступность и простота изготовления, а также возможно последующее его применения в качестве кормовой добавки для животных.

#### Список использованных источников

1. Д.Е. Смальченко. Сорбция белка из сточных вод сельскохозяйственных производств // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. II Муждунар. науч.-техн. конф., Белгород, 6–8 декаб., 2016 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – С. 132.

2. Экспертно-аналитический центр агробизнеса // URL : <http://ab-centre.ru/articles/proizvodstvo-kukuruzy-v-rossii-v-2014-godu>

3. Инженерный справочник таблицы TehTab.ru // URL:<http://tehtab.ru/guide/guidephysics/guidepgsicsdensity/densitytanle>