УДК 677.11: 543.69

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ПРИРОДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ЛУБЯНЫХ ВОЛОКОН*

# RESEARCH OF THE PROCESS OF EXTRACTION OF NATURAL IMPURITIES OF BASIS FIBERS

*Н.С. ДЫМНИКОВА, Е.В. ЕРОХИНА, А.П. МОРЫГАНОВ, С.В. ГРИГОРЬЕВ*

*N.S. DYMNIKOVA, E.V. EROKHINA, A.P. MORYGANOV, S.V. GRIGORIEV*

**(Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново, Федеральный исследовательский центр – Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова)**

**(G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of RAS, Ivanovo, Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resourse)**

E-mail: nsd@isc-ras.ru *

***Изучено влияние условий экстракции природных примесей (пектиновых соединений, гемицеллюлозы и лигнина) из двух сортов конопляного волокна и льноволокна в процессе химической модификации волокнистой массы. Показано, что для максимального извлечения примесей необходимо повышение температуры обработки волокна до 100°С и концентрации гидроксида натрия до 10 г/л. Методом потенциометрического титрования определен окислительно-восстановительный потенциал экстрактов лубяных волокон и доказано, что образующийся в растворе комплекс редуцирующих веществ даже при низкой температуре экстракции может выступать в качестве восстановителя ионов серебра.***

***The influence of extraction conditions of natural impurities (pectin compounds, hemicellulose and lignin) from two varieties of hemp fiber and flax fiber in the process of chemical modification of the pulp was studied. It was shown that for maximum extraction of impurities it is necessary to increase the temperature of fiber processing to 100° C and the concentration of sodium hydroxide to 10 g/l. Using the potentiometric titration method, the redox potential of bast fiber extracts was determined and it was proved that the complex of reducing substances formed in the solution, even at a low extraction temperature, can act as a silver ion reductant.***

**Ключевые слова: конопляное волокно, льноволокно, экстракция, природные примеси, окислительно-восстановительный потенциал.**

**Keywords: hemp fiber, flax fiber, extraction, natural admixtures, redox potential.**

В последнее десятилетие наблюдается экспоненциальный рост в фундаментальных и прикладных областях науки, связанный с синтезом наночастиц (НЧ) благородных металлов, изучением их свойств и практическим применением. Одним из перспективных направлений использования НЧ является получение биологически активных текстильных материалов.

* Работа выполнена в рамках госконтракта с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации №01201260484 и гранта РФФИ № 13-03-12065 офи_м.

Наибольший интерес вызывает разработка нанокомпозитных материалов с иммобилизованными частицами серебра, поскольку одно из важнейших свойств наноразмерного серебра – бактерицидная и антивирусная активность как к грамотрицательным, так и к грамположительным бактериям, а также вирусам, спорам и грибам [1].

Однако не следует забывать, что серебро относится к тяжелым металлам, а эти металлы токсичны. Еще древние целители отмечали: "Все есть яд, и все лекарство". Поэтому очень многое зависит от вида, состава, концентрации, дозы НЧ металлов, условий и способа их применения. Известно, что хорошо растворимые соли серебра обладают бактерицидным, противовирусным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием, но, в то же время, имеют и высокую реакционную способность, оказывают некротизирующее и раздражающее действие на кожу и слизистые [2]. Данное обстоятельство привело к разработке более безопасных и безвредных форм серебряных препаратов, а именно коллоидного и кластерного серебра (наносеребра). Они имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволит во много раз снизить концентрацию металла с сохранением всех бактерицидных свойств [3].

Наиболее перспективными и приемлемыми для практического применения являются способы химического восстановления солей серебра в присутствии природных высокомолекулярных соединений (так называемый "зеленый синтез"), которые могут выступать одновременно в роли восстановителя металла до нульвалентного состояния и наностабилизирующей матрицей образующихся частиц. Более того, обладая собственной биологической, а иногда и физиологической активностью, природные полимеры снижают токсичность металлов, сообщают им лечебные свойства.

Одним из методов является синтез, основанный на восстановлении ионов благородных металлов в водных экстрактах различных растений в условиях, благоприятствующих последующей агрегации атомов и ионов с образованием наночастиц. Этот способ имеет ряд преимуществ перед химическими методами, главными из которых являются мягкие условия синтеза и отсутствие в конечном растворе более или менее ядовитых побочных продуктов или примесей, которые неизбежно появляются при использовании химических восстановителей.

Среди природных полисахаридов наиболее известен арабиногалактан, выделенный из древесины лиственницы сибирской, в которой он содержится в количестве 10...15% [4], [5]. Авторами доказано, что восстановление ионов серебра до нульвалентного состояния осуществляется за счет альдегидных групп арабиногалактана, которые появляются в результате щелочной деструкции макромолекулы полисахарида. Размеры образующихся частиц составляют 14...16 нм. Сочетание наноразмерных свойств серебра с физиологически активной макромолекулой арабиногалактана позволило разработать бактерицидные материалы с высокой антимикробной активностью.

Аналогичный результат зарегистрирован для экстрактов из листьев Aloe Vera и Brassica juncea, листьев березы, крапивы, цветов ромашки, плодов шиповника и др. [6...9].

Ранее проведенными в ИХР РАН исследованиями показана возможность получения ультрадисперсных частиц серебра в присутствии природных примесей льняного волокна. Было установлено, что экстрагируемые из волокна соединения способны обеспечивать агрегативную устойчивость коллоидных растворов серебра, а при создании необходимых условий – участвовать и в окислительно-восстановительных процессах. Показана возможность применения синтезированных золей для обеспечения текстильным материалам антимикробной активности или биозащищенности при минимальном содержании в них наночастиц (0,07%) [10].

Для расширения спектра реагентов "зеленой химии", используемых в качестве прекурсоров, и оптимизации получаемых результатов представляется целесообразным

оценить возможность и эффективность использования при формировании НЧ серебра экстрактов других лубяных культур, в частности конопляного волокна.

Целью данной работы является оптимизация условий извлечения природных примесей конопляных волокон и оценка возможности использования экстрактов в реакции восстановления ионов серебра.

Многочисленными исследованиями доказана высокая восстановительная способность полисахаридов по отношению к ионам серебра [4], [11]. Восстановление ионов до нульвалентного состояния осуществляется концевыми альдегидными, карбоксильными и спиртовыми группами полисахаридов [12]. Высокую редуцирующую способность проявляют продукты гидролиза полисахаридов в результате ретроальдольного распада моносахаров, протекающего при нагреве в щелочной среде [13…15]. Установлена ярко выраженная зависимость процесса от pH среды, температуры, количества восстанавливающих фрагментов макромолекулы полисахарида.

Для исследований были взяты короткое льноволокно номер 3, полученное на льноперерабатывающем заводе ЗАО "Знаменский лен" (пос. Знаменское, Омской обл.), и два сорта конопляного волокна (растение рода Cannabis) из селекции Института лубяных культур, произведенные в фермерском хозяйстве Симанщино (Пензенской обл.): среднерусский сорт Диана и южносозревающий – ЮСО-31. Данные растения конопли относятся к безнаркотическим, поскольку содержание в них психотомиметически активного каннабиноидного соединения ТГК составляет 0,011...0,020 % (норма - не выше 0,1%).

Необходимые для восстановительного процесса альдегидные, карбоксильные и спиртовые группировки содержатся в естественных спутниках целлюлозы лубяных культур: пектиновых соединениях, гемицеллюлозе и лигнине, большая часть которых (~ 70%) дислоцирована в срединных пластинках, соединяющих элементарные волокна. Необходимым этапом облагораживания лубяных волокон перед белением или крашением (после механического разволокнения и очистки) является извлечение этих спутников в процессе отварки (химической очистке от примесей и модификации) волокнистой массы. Как правило, варочный раствор с экстрагируемыми примесями направляется в стоки.

Накопленный в ИХР РАН опыт получения химически модифицированных лубяных волокон показал, что основные примеси наиболее эффективно растворяются и удаляются из волокна при щелочной обработке сурового механически очищенного волокна, где в качестве щелочного реагента используется гидроксид натрия [16]. Сорбция щелочи волокном обеспечивает протекание процессов ее взаимодействия с примесями, вызывает глубокие трансформации в их структуре, что в итоге способствует извлечению примесей из волокна.

Экстракцию примесей из предварительно очищенного от костры и промытого сурового волокна проводили в растворе гидроксида натрия концентрации 2...10 г/л при температуре 40...100°С в течение 30 мин, при модуле ванны 10. Увеличение концентрации щелочного агента в варочном растворе выше 10 г/л нецелесообразно во избежание существенной элементаризации волокна в результате быстрого разрушения срединных пластинок. Кроме того, значительная часть гидроксида натрия будет оставаться в растворе, что нерационально как с экологической, так и с экономической точки зрения [16].

Нами проведено исследование изменения остаточного содержания щелочного агента в модифицирующих растворах (табл. 1) при обработке лубяных волокон в совокупности с изменением степени выхода в раствор их основных примесей (табл. 2).

Определение количества остаточной щелочи в растворе при химической модификации лубяных волокон проводили путем кислотно-основного титрования по методике, указанной в [17]. Содержание лигнина в волокне определяли сернокислотным методом согласно ГОСТ 11960–79. Содержание пектиновых веществ определяли весовым методом [18]. Содержания гемицеллюлоз определяли согласно методике, описанной в [19].

Сравнительная оценка представленных данных показала, что сорбция гидроксида натрия волокном и экстракция примесей из

исследуемых сортов конопляного волокна при щелочной обработке проходит практически одинаково. Льноволокно заметно отличается от конопляных как по сорбции щелочного агента, так и по показателям остаточного содержания примесей.

Таблица 1

| Начальная концентрация гидроксида натрия в растворе, г/л | Название волокна | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Диана | ЮСО-31 | Диана | ЮСО-31 | Диана | ЮСО-31 | льняное |
| | Температура обработки, °С | | | | | | |
| | 40 | | 80 | | 100 | | |
| | Остаточное содержание щелочи в растворе, г/л | | | | | | |
| 2 | 1,50 | 1,45 | 0,89 | 0,92 | 0,16 | 0,14 | 0,30 |
| 4 | 2,84 | 2,90 | 1,52 | 1,66 | 0,40 | 0,48 | 0,60 |
| 6 | 3,20 | 3,33 | 2,65 | 2,80 | 0,80 | 1,04 | 1,22 |
| 8 | 4,50 | 4,48 | 3,90 | 3,95 | 1,50 | 1,20 | 1,56 |
| 10 | 5,90 | 5,96 | 5,0 | 5,28 | 2,0 | 2,48 | 2,90 |

Из табл. 1 следует, что увеличение температуры обработки приводит к резкому снижению содержания гидроксида натрия в растворе. Так, при концентрации щелочи 2 г/л и температуре обработки 40°С остается ее в растворе 72...75%, а при температуре 100°С – лишь 7...8% при обработке конопляного волокна и 15% – льняного, то есть практически вся щелочь сорбируется волокном и связывается примесями. При концентрации щелочи 10 г/л и температуре обработки 40°С остается ее в растворе 59...60%, а при температуре 100°С – 20...25% при обработке конопляного волокна и 29% – льняного.

Насколько целесообразно повышение концентрации щелочного агента в варочном растворе, можно судить по данным табл. 2.

Таблица 2

| Примеси | Концентрация гидроксида натрия, г/л | Остаточное содержание в волокне, %, к абсолютно сухому механически очищенному волокну | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Диана | ЮСО-31 | льняное |
| Лигнин Класона | до обработки | 7,0 | 7,5 | 5,5 |
| | 2 | 6,7 96% | 6,6 88% | 4,4 80% |
| | 4 | 5,0 | 6,3 | 2,8 |
| | 6 | 4,8 | 5,0 | 2,6 |
| | 8 | 4,6 | 4,2 | 2,2 |
| | 10 | 4,2 60% | 3,6 48 % | 2,0 36% |
| Пектиновые вещества | до обработки | 4,3 | 4,0 | 4,4 |
| | 2 | 4,0 93 % | 3,9 97% | 2,5 57 % |
| | 4 | 3,5 | 3,1 | 1,3 |
| | 6 | 3,0 | 2,9 | 0,9 |
| | 8 | 2,2 | 2,0 | 0,5 |
| | 10 | 1,7 39% | 1,4 35% | 0,2 5 % |
| Гемицеллюлозы | до обработки | 11,3 | 11,0 | 10,2 |
| | 2 | 10,2 90 % | 9,9 90 % | 8,2 80 % |
| | 4 | 5,9 | 5,0 | 5,9 |
| | 6 | 4,0 | 3,8 | 4,0 |
| | 8 | 2,8 | 2,5 | 3,2 |
| | 10 | 1,3 11% | 1,0 9 % | 2,8 27 % |

В конопляном волокне действие гидроксида натрия распространяется главным образом на примеси углеводного характера – гемицеллюлозы. Значительная часть кислотонерастворимого лигнина Класона (48...60%), даже при высокой концентрации щелочи, остается в волокне, препятствуя растворению срединных пластинок и дроблению комплексного волокна. Напротив, лигнин льняного волокна проявляет меньшую устойчи-

вость к щелочному гидролизу и при обработке раствором щелочи 10 г/л льняное волокно теряет 64% лигнина.

Половина пектиновых веществ экстрагируется из льняного волокна даже при минимальной концентрации гидроксида натрия, а при увеличении содержания щелочи до 10 г/л эти вещества практически полностью переходят в экстракт.

Из пеньковых волокон даже при высокой концентрации щелочного агента переходит в раствор только 60...65% пектинов. Напротив, гемицеллюлозы легче удаляются из конопли, но только при максимальной концентрации гидроксида натрия, в льняном же волокне их остается довольно много – около 30 %.

Таким образом, для максимальной экстракции природных примесей из лубяных волокон необходимо повышение концентрации щелочного агента до 10 г/л.

Теоретически определить возможное направление окислительно-восстановительной реакции между нитратом серебра и экстрактом из лубяных волокон можно, сопоставляя потенциалы сопряженных пар. Известно, что реакция восстановления пройдет только в том случае, когда потенциал восстановителя в конкретных условиях (pH среды, температура) будет меньше потенциала окислителя.

Электродный потенциал окисленной формы вещества позволяет рассчитать уравнение Нернста [20]. Для реакции $Ag^+ + e \leftrightarrow Ag^0$ при концентрации нитрата серебра $0{,}6 \cdot 10^{-2}$ моль/л уравнение имеет вид:

$$E_{Ag+/Ag}{}^{o} = E^{o}{}_{Ag+/Ag}{}^{o} + 0{,}059 \lg [Ag^+] = 0{,}80 + 0{,}059 \lg [0{,}6 \cdot 10^{-2}] = +0{,}66 \text{ В},$$

где E и $E^o$ – электродный и стандартный электродный потенциал, В.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) экстрактов лубяных волокон рассчитать невозможно из-за сложного состава раствора, поэтому мы определяли его на автоматическом титраторе АТП-02 с платиновым и хлорсеребряным электродами (рис. 1). Контроль ОВП проводили в динамике изменения температуры экстракции: от 20 до 100 °С, концентрация гидроксида натрия во всех растворах была 10 г/л.

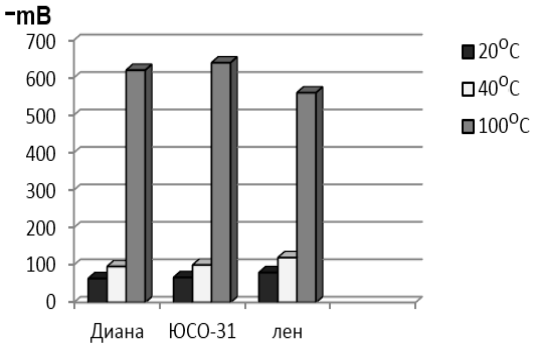


Рис. 1

Данные диаграммы свидетельствуют, что для всех лубяных волокон динамика роста ОВП в системе аналогична. Значение ОВП для экстрактов, полученных при 40 °С, составляет порядка -100...- 120 мВ, а при увеличении температуры экстракции этот показатель уменьшается до -620...640 мВ для конопляных волокон и -560 мВ для льноволокна. Смещение ОВП в отрицательную область характеризует нарастание восстановительной способности системы. Разница ОВП в 60...80 мВ между экстрактами конопляных и льняного волокон связана, очевидно, с тем, что, как известно, наиболее высокими восстановительными свойствами из экстрагируемых примесей лубяных волокон обладают α- β-глюкоза, ксилоза, альдопентозы, входящие в состав гемицеллюлозных соединений лубяных культур [21], которые наиболее полно удаляются из волокон конопли.

Представленные данные дают основание полагать, что образующийся в растворе комплекс редуцирующих веществ даже при низкой температуре экстракции может выступать в качестве восстановителя. Но чем больше разница Redox потенциалов пары восстановитель (раствор экстракта) - $Ag^+/Ag^0$ , тем полнее и быстрее будет проходить реакция восстановления.

## ВЫВОДЫ

1. Исследование влияния щелочного агента на извлечение лигнина, гемицеллюлоз и пектиновых соединений из лубяных волокон показало, что действие гидроксида натрия в конопляном волокне распространяется главным образом на примеси углеводного характера – гемицеллюлозы, в то время как 35...39% пектиновых соединений и 48...60 % лигнина остается в волокне даже при жестких условиях химической модификации волокна. Из льноволокна пектиновые вещества полностью переходят в экстракт, а лигнин и гемицеллюлозы остаются в волокне порядка 30%.

2. Методом потенциометрического титрования определены окислительно-восстановительные потенциалы экстрактов из лубяных волокон. Показано, что с ростом температуры экстракции происходит резкое смещение значения ОВП в отрицательную область, связанное с существенным увеличением экстрагируемых примесей в растворе.

## ЛИТЕРАТУРА


1. *Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В., Крутяков Ю.А.* Фотохимический синтез наночастиц серебра, обладающих высокой антибактериальной активностью // Российские нанотехнологии. – 2010. Т. 5, №7-8. С.125...130.

2. *Щербаков А.Б., Корчак Г.И., Сурмашева Е.В.* Препараты серебра: вчера, сегодня и завтра // Фармацевтический журнал. – 2006, №5. С.45...57.

3. *Глущенко Н.Н., Богословская О.А., Ольховская И.П.* Физико-химические закономерности биологического действия высокодисперсных порошков металлов // Химическая физика. – 2002. Т.21(4). С.79...85.

4. *Грищенко Л.А., Медведева С.А., Александрова Г.П., Феоктистова Л.П., Сапожников А.Н., Сухов Б.Г., Трофимов Б.А.* Окислительно-восстановительные реакции арабиногалактана с ионами серебра и формирование композитов // Журнал общей химии. – 2006. Т.76, №7. С.1159...1165.

5. *Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А.* Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования (обзор) // Химия растительного сырья. – 2003, №1. С. 27...37.

6. *Varma R.S., Nadagouda M.N.* Green synthesis of silver and palladium nanoparticles at room temperature using coffee and tea extract// Green Chem. – V.10, 2008. P. 859...862.

7. *Ravindra S., Murali Mohan Y., Narayana Reddy N., Mohana Raju K.* Fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via "Green Approach"// Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. – V.367, 2010. P.31...40.

8. *Begum N.A., Mondal S., Basu S., Laskara R.A., Mandal D.* Biogenic synthesis of Au and Ag nanoparticles using aqueous solutions of Black Tea leaf extracts // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – V.71, 2009. P.113...118.

9. *Nadagouda M.N., Varma R.S.* Green synthesis of silver and palladium nanoparticles at room temperature using coffee and tea extract // Green Chem. – V.10, 2008. P.859...862.

10. *Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П.* Модифицирование целлюлозных волокон золями серебра, синтезированными в экстрактах природных примесей льна// Перспективные материалы. – 2017, № 6. С. 29...38.

11. *Котельникова Н.Е., Вегенер Г., Пааккари Т., Серима Р.* Применение методов рентгеновского рассеяния, ЯМР 13С в твердой фазе и ИК спектроскопии, рентгенофотоэлектронной и рамановской спектроскопии для исследования интеркалирования серебра в целлюлозную матрицу // Журнал общей химии. – 2003. Т.23. Вып.3. С.447...453.

12. *Вишнякова Е.А., Сайкова С.В., Жарков С.М., Лихацкий М.Н., Михлин Ю.Л.* Определение условия образования наночастиц серебра при восстановлении глюкозой в водных растворах// Журнал Сибирского федерального университета (серия «Химия»). – 2009. Т. 2, №1. С. 48...55.

13. *Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Comparison of the reducing power of aldose solutions // Russian Journal of Organic Chemistry. – V. 48, №1, 2012. P.83...88.

14. *Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Chemistry and technology of biocatalyzed nanoengineering of linen textile materials // Russian Journal of General Chemistry. – V.82, №13, 2012. P. 2279...2293.

15. *Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O.* Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the process of its preparation for spinning // Autex Research Journal. – V.15, №3, 2015. P. 215...225.

16. *Стокозенко В.Г., Неманова Ю.В.* Исследование кинетики гидролитической деструкции различных видов целлюлоз под действием гидроксида натрия // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2009. Т. 52, №.5. С. 56...59.

17. Отделка хлопчатобумажных тканей: Справочник / Под ред. Б.Н. Мельникова. – Иваново.: "Талка", 2003.

18. Пектиновые вещества и методы их определения / Под ред. Г.Б. Аймухамедова, Н.П. Шелухина. – Фрунзе.: ИЛИМ, 1964.

19. Аналитический контроль производства искусственных волокон / Под ред. А.К. Дибровой, В.С. Матвеева. – М.: Химия, 1986.

20. *Крешков А.П.* Основы аналитической химии. – М.: Химия, 1971. Т. 2.

21. *Lepilova O.V., Spigno G., Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Study of the Ability of Reducing Saccharides to Chemically Transform Lignin // Eurasian Chemico-Technological Journal. – V.19, №1, 2017. P.31...40.

R E F E R E N C E S

1. Olenin A.Yu., Lisichkin G.V., Krutyakov Yu.A. Fotokhimicheskiy sintez nanochastits serebra, obladayushchikh vysokoy antibakterial'noy aktivnost'yu // Rossiyskie nanotekhnologii. – 2010. T. 5, №7-8. S.125...130.

2. Shcherbakov A.B., Korchak G.I., Surmasheva E.V. Preparaty serebra: vchera, segodnya i zavtra // Farmatsevticheskiy zhurnal. – 2006, №5. S.45...57.

3. Glushchenko N.N., Bogoslovskaya O.A., Ol'khovskaya I.P. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti biologicheskogo deystviya vysokodispersnykh poroshkov metallov// Khimicheskaya fizika. – 2002. T.21(4). S.79...85.

4. Grishchenko L.A., Medvedeva S.A., Aleksandrova G.P., Feoktistova L.P., Sapozhnikov A.N., Sukhov B.G., Trofimov B.A. Okislitel'no-vosstanovitel'nye reaktsii arabinogalaktana s ionami serebra i formirovanie kompozitov // Zhurnal obshchey khimii. – 2006. T.76, №7. S.1159...1165.

5. Medvedeva E.N., Babkin V.A., Ostroukhova L.A. Arabinogalaktan listvennitsy – svoystva i perspektivy ispol'zovaniya (obzor) // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. – 2003, №1. S. 27...37.

6. Varma R.S., Nadagouda M.N. Green synthesis of silver and palladium nanoparticles at room temperature using coffee and tea extract// Green Chem. –V.10, 2008. P. 859...862.

7. Ravindra S., Murali Mohan Y., Narayana Reddy N., Mohana Raju K. Fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via "Green Approach"// Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. – V.367, 2010. P.31...40.

8. Begum N.A., Mondal S., Basu S., Laskara R.A., Mandal D. Biogenic synthesis of Au and Ag nanoparticles using aqueous solutions of Black Tea leaf extracts // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – V.71, 2009. P.113...118.

9. Nadagouda M.N., Varma R.S. Green synthesis of silver and palladium nanoparticles at room temperature using coffee and tea extract // Green Chem. – V.10, 2008. P.859...862.

10. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. Modifitsirovanie tsellyuloznykh volokon zolyami serebra, sintezirovannymi v ekstraktakh prirodnykh primesey l'na// Perspektivnye materialy. – 2017, № 6. S. 29...38.

11. Kotel'nikova N.E., Vegener G., Paakkari T., Serima R. Primenenie metodov rentgenovskogo rasseyaniya, YaMR 13S v tverdoy faze i IK spektroskopii, rentgenofotoelektronnoy i ramanovskoy spektroskopii dlya issledovaniya interkalirovaniya serebra v tsellyuloznuyu matritsu // Zhurnal obshchey khimii. – 2003. T.23. Vyp.3. S.447...453.

12. Vishnyakova E.A., Saykova S.V., Zharkov S.M., Likhatskiy M.N., Mikhlin Yu.L. Opredelenie usloviya obrazovaniya nanochastits serebra pri vosstanovlenii glyukozoy v vodnykh rastvorakh// Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta (seriya "Khimiya"). – 2009. T. 2, №1. S. 48...55.

13. Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A. Comparison of the reducing power of aldose solutions // Russian Journal of Organic Chemistry. – V. 48, №1, 2012. P. 83...88.

14. Aleeva S.V., Koksharov S.A. Chemistry and technology of biocatalyzed nanoengineering of linen textile materials // Russian Journal of General Chemistry. – V. 82, №13, 2012. P. 2279...2293.

15. Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the process of its preparation for spinning // Autex Research Journal. – V.15, №3, 2015. P. 215...225.

16. Stokozenko V.G., Nemanova Yu.V. Issledovanie kinetiki gidroliticheskoy destruktsii razlichnykh vidov tsellyuloz pod deystviem gidroksida natriya // Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2009. T. 52, №.5. S. 56...59.

17. Otdelka khlopchatobumazhnykh tkaney: Spravochnik / Pod red. B.N. Mel'nikova. – Ivanovo.: "Talka", 2003.

18. Pektinovye veshchestva i metody ikh opredeleniya / Pod red. G.B. Aymukhamedova, N.P. Shelukhina. – Frunze.: ILIM, 1964.

19. Analiticheskiy kontrol' proizvodstva iskusstvennykh volokon / Pod red. A.K. Dibrovoy, V.S. Matveeva. – M.: Khimiya, 1986.

20. Kreshkov A.P. Osnovy analiticheskoy khimii. – M.: Khimiya, 1971. T. 2.

21. Lepilova O.V., Spigno G., Aleeva S.V., Koksharov S.A. Study of the Ability of Reducing Saccharides to Chemically Transform Lignin // Eurasian Chemico-Technological Journal. – V.19, №1, 2017. P.31...40.

Рекомендована научно-техническим семинаром отдела "Химия текстильных материалов" Института химии растворов РАН. Поступила 11.03.19.