

УДК 676.085.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.168

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СМОЛЫ ПРИ ОБЕССМОЛИВАНИИ  
СУЛЬФАТНОЙ ЛИСТВЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ\****Р.А. Смит, аспирант; ResearcherID: O-2661-2019, ORCID: 0000-0002-9665-4636**Е.Ю. Демьянцева, канд. хим. наук, доц.; ResearcherID: P-5165-2019,  
ORCID: 0000-0001-9570-1827**О.С. Андранович, аспирант; ResearcherID: P-5570-2019,  
ORCID: 0000-0002-7947-7068*

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095;  
e-mail: zz1234567@yandex.ru, demyantseva@mail.ru, ilonichka3377@mail.ru

Липкие включения, присутствующие на целлюлозном волокне, подчас создают серьезные препятствия, называемые «смоляными затруднениями». В настоящее время не существует универсального и действенного метода для их устранения. Предлагаемый способ обработки целлюлозы синергетическими смесями поверхностно-активных веществ (ПАВ) и ферментов позволит сочетать в себе как традиционные, так и прогрессивные технологии обессмоливания. Для оценки качества работы таких композиций в работе проанализировано влияние самих смесей и их индивидуальных компонентов на состояние смолы в сульфатной небеленой лиственной целлюлозе. Выбор объекта исследования обусловлен тем, что проблемы со смолой особо остро проявляются именно при производстве данного волокнистого полуфабриката. Общая смолистость целлюлозы была определена экстракционно-гравиметрическим методом. Состояние смолы (коагулированная, капсулированная или диспергированная) оценивалось методом микроскопии. Установлено, что обессмоливающее действие неионогенных ПАВ взаимно активируется при их совместном присутствии. Однако при действии смеси неионогенного ПАВ и фермента липазы наблюдается небольшое снижение общей смолистости. Установлено, что независимо от природы веществ все реагенты проявили хорошие диспергирующие свойства. Показано снижение содержания коагулированной смолы средних размеров при одновременном росте количества диспергированной смолы и при практически полном отсутствии крупных смоляных агломератов, что наиболее важно для обессмоливания. Тенденция изменения состояния смолы при действии синергетической смеси неионогенных ПАВ, вероятно, обусловлена диффузионно-солюбилизационным механизмом обессмоливания. Анализ обессмоливающего действия выбранных реагентов и их смесей показал, что имеющиеся исследования по проблеме снижения смолистости целлюлозы смесями ферментов и ПАВ не дают исчерпывающей оценки и необходимо детальное исследование многофакторного процесса обессмоливания.

**Для цитирования:** Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С. Анализ состояния смолы при обессмоливании сульфатной лиственной целлюлозы // Лесн. журн. 2019. № 4. С. 168–178. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.168

**Ключевые слова:** обессмоливание, частицы смолы, синергетические смеси, микроскопия, экстракция.

\*Статья опубликована в рамках реализации программы развития научных журналов в 2019 г.

### *Введение*

Проблема «смоляных затруднений», несмотря на свою многолетнюю историю, так и не нашла универсального и радикального решения. Необходимо разносторонне исследовать влияние обессмоливающих добавок на основные параметры, которые могут быть информативны при разработке технологии снижения смолистости волокнистых полуфабрикатов.

Широко распространенный опыт применения поверхностно-активных веществ (ПАВ) различной природы в процессе делигнификации древесины не дает требуемого уровня содержания смолы в сульфатной целлюлозе [3, 17].

Применение фермента липазы зачастую позволяет успешно снижать смолистость целлюлозы, а также является более экологически безопасным способом по сравнению с ПАВ [2], что соответствует направлениям развития наилучших доступных технологий [9, 12]. Однако он не лишен недостатков: высокой стоимости реагента и условий его применения [14].

Совместное использование ПАВ и ферментов в виде синергетических смесей предполагает лучшее обессмоливающее действие. Известно множество работ в области взаимодействия амфифильных соединений различной природы и ферментов, в том числе липазы. Однако противоречивость данных не позволяет прогнозировать поведение таких систем при производстве волокнистых полуфабрикатов [13, 15, 16, 18, 19, 20]. В связи с этим необходимо моделирование процесса эффективного взаимодействия в системе ПАВ-липаза.

Не всегда большая смолистость целлюлозы приводит к смоляным затруднениям. Зачастую небольшое ее количество промотирует образование смоляных отложений. Особую роль играет дисперсный состав смоляных частиц. Мелкие частицы способны забивать поры паренхимных клеток, что приводит к невозможности их удаления из волокна. Скопление же больших частиц может послужить «центром нарастания» агрегатов, которые впоследствии осядут на оборудовании.

Основой создания любой технологии обессмоливания является исследование воздействия реагентов на показатели содержания смолы в целлюлозе. Настоящая работа посвящена установлению степени согласованности между данными химического и микроскопического анализов.

### *Объекты и методы исследования*

В работе были использованы образцы сульфатной небеленой лиственной целлюлозы («International paper», г. Светогорск), при производстве которой проблема отложений смолы является наиболее острой. Содержание экстрактивных веществ в целлюлозе составило 0,70 %.

Обессмоливающими реагентами были выбраны следующие вещества: неионогенные ПАВ отечественного производства синтанол ДС-10 (смесь полиоксиэтиленгликолевых эфиров синтетических первичных высших жирных спиртов фракции С12–С14) и синтаמיד-5 (смесь полиоксиэтилированных эфиров моноэтаноламидов синтетических жирных кислот кокосового масла фракции С7–С17), а также препарат липазы Lipex 100L («Novozymes», Дания). Биоразлагаемость неионогенных ПАВ синтанола ДС-10 и синтамида-5 составляет 78 и 65...70 % соответственно [1].

Коллоидно-химические характеристики выбранных веществ были определены на основании исследования изотерм поверхностного натяжения, полученных методом отрыва кольца дю-Ну и в работе [10].

Для обессмоливания целлюлозы 2 г воздушно-сухого полуфабриката выдерживали в 100 см<sup>3</sup> раствора ПАВ из расчета 1 кг/т а. с. ц. или раствора фермента из расчета 0,5 кг/т а. с. ц. при температуре 60 °С в течение 1 ч. После промывки дистиллированной водой сушили на воздухе.

Для определения общего количества смолы в целлюлозе применяли стандартный экстракционно-гравиметрический метод [4]. Степень обессмоливания (СО, %) рассчитывали по следующей формуле:

$$CO = 100 - \left( \frac{E_2}{E_1} \cdot 100 \right),$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – массовая доля смол и жиров соответственно до после обработки целлюлозы, % к а. с. ц.

Аддитивный вклад (АВ) каждого компонента в обессмоливающих композициях:

$$AB = (\omega_1 \cdot CO_1) + (\omega_2 \cdot CO_2),$$

где  $\omega_{1,2}$  – доля компонентов 1 и 2 в обессмоливающей смеси;  $CO_1, CO_2$  – степень обессмоливания при действии каждого компонента в обессмоливающей смеси.

Дисперсный состав смоляных частиц в целлюлозе определяли микроскопическим методом [6, 8] с использованием светового автономного микроскопа с камерой «БИОМЕД-6» (препараты рассматривали на окуляре WF10X и объективах 10×0,25 и 40×0,65) при помощи программного обеспечения «ScoreТес». Метод заключается в окрашивании частиц смолы спирто-ацетоновым раствором препарата судан-III и подсчете количества частиц определенного размера. В соответствии с дисперсностью частиц смола была распределена на следующие группы: диспергированная (свободная), коагулированная (осевшая на волокнах) и внутриволоконная (капсулированная). Коагулированную смолу идентифицировали как агрегаты, закрепленные на волокне (рис. 1); капсулированная смола окрашена в желто-красный цвет (рис. 2); диспергированная смола выглядит как множество мелких частиц, расположенных на небольшом участке волокна (рис. 3).



a

*б**в*

Рис. 1. Вид коагулированной смолы: *а* – размер 7,5...25 мкм;  
*б* – размер 5,0...7,5 мкм; *в* – размер 28...165 мкм

Fig. 1. Imagery of a Coagulated Resin: *a* – size 7,5...25 mcm;  
*б* – size 5,0...7,5 mcm; *в* – size 28...165 mcm



Рис. 2. Вид капсулированной смолы

Fig. 2. Imagery of an Encapsulated Resin



Рис. 3. Вид диспергированной смолы (размер до 5,0 мкм)

Fig. 3. Imagery of a Dispersed Resin (to 5.0  $\mu\text{m}$ )

На основании предварительной статистической обработки экспериментального материала для определения дисперсного состава смолы и обеспечения заданной точности и надежности было взято по 700 волокон целлюлозы. Количество смолы каждой группы оценивалось в процентном содержании относительно обработанного волокна.

Количество липких включений на волокне напрямую зависит от объема использованной промывной воды, длительности и интенсивности промывки. Степень промывки контролировали спектрофотометрическим исследованием промывных вод.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

При прогнозировании эффективности применения различных амфифильных соединений в качестве интенсифицирующих обессмоливание добавок было убедительно установлено [5, 7], что именно коллоидно-химические параметры являются объективными критериями их подбора в виде смесей различного состава. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), поверхностная активность, солюбилизующая и эмульгирующая способности, удельная мицеллярная поверхность позволяют определить оптимальный расход реагента, предопределяют стабилизирующие свойства ПАВ и агрегативную устойчивость смоляных частиц.

При смешении ПАВ в определенных соотношениях следует ожидать активации коллоидно-химических свойств. Так, применение синергетических смесей приводит к улучшенному микроэмульгированию, солюбилизации с образованием устойчивых к коагуляции систем и меньшему расходу обессмоливающих реагентов.

Соотношение компонентов смеси было выбрано в соответствии с установленным максимальным синергетическим эффектом по основным коллоидно-химическим характеристикам [10]. Наибольшим синергизмом обладает смесь неионогенных ПАВ синтанол ДС-10–синтаמיד-5 в соотношении 70:30.

Также было определено, что наибольшее отклонение от аддитивных значений в бинарной смеси ПАВ–фермент наблюдается при преимущественном содержании синтанол ДС-10 в композиции (70 %). Выбранные композиции и индивидуальные компоненты были исследованы в качестве реагентов, обессмоливающих целлюлозу.

Результаты химического анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Обессмоливающее действие реагентов

Обессмоливающий реагент	Содержание смолы, % к а. с. ц.	Степень обессмоливания / аддитивные значения, %
Без обработки	0,70	–
Синтанол ДС-10	0,43	38 / –
Синтаמיד-5	0,57	18 / –
Lipex 100L	0,22	68 / –
Синтанол ДС-10–синтаמיד-5 (70:30)	0,22	68 / 32
Синтанол ДС-10–Lipex (70:30)	0,39	45 / 47

Установлено, что лучшее обессмоливание в случае неионогенных ПАВ достигается при использовании их в виде синергетических композиций (фактическое обессмоливание выше расчетного аддитивного значения более чем в 2 раза). Высокая обессмоливающая способность липазы связана с достаточно большим содержанием жиров в составе экстрактивных веществ листовых пород. Однако совместное применение липазы с синтанолом ДС-10 не привело к снижению общей смолистости сульфатной листовенной целлюлозы по сравнению с индивидуальными веществами. Поскольку к смоляным затруднениям не всегда приводит повышенное общее содержание смолы, а состояние, в котором она находится на волокне, то для уточнения обессмоливающего действия реагентов осуществлен микроскопический подсчет смоляных частиц, окрашенных препаратом судан-III.

Как видно из приведенных в табл. 2. данных, количество капсулированной смолы, в зависимости от ее размеров варьируется в пределах 1,3...0,5 % или вообще не меняется.

Таблица 2

#### Содержание капсулированной смолы в целлюлозе

Обессмоливающий реагент	Содержание смолы, %	
	12...45 мкм	>80 мкм
Исходная целлюлоза	0,3	1,7
Синтанол ДС-10	0,3	0,3
Синтаמיד-5	–	0,3
Lipex 100L	1,0	0,7
Синтанол ДС-10–синтаמיד-5 (70:30)	–	1,5
Синтанол ДС-10–Lipex 100L (70:30)	–	1,5

Вследствие того, что содержание данного вида смолы находится в пределах погрешности, при дальнейшем анализе дисперсного состава смолы в целлюлозных волокнах она не рассматривалась. Более детально было проанализи-

ровано содержание коагулированной и диспергированной смолы. Результаты представлены на рис. 4.

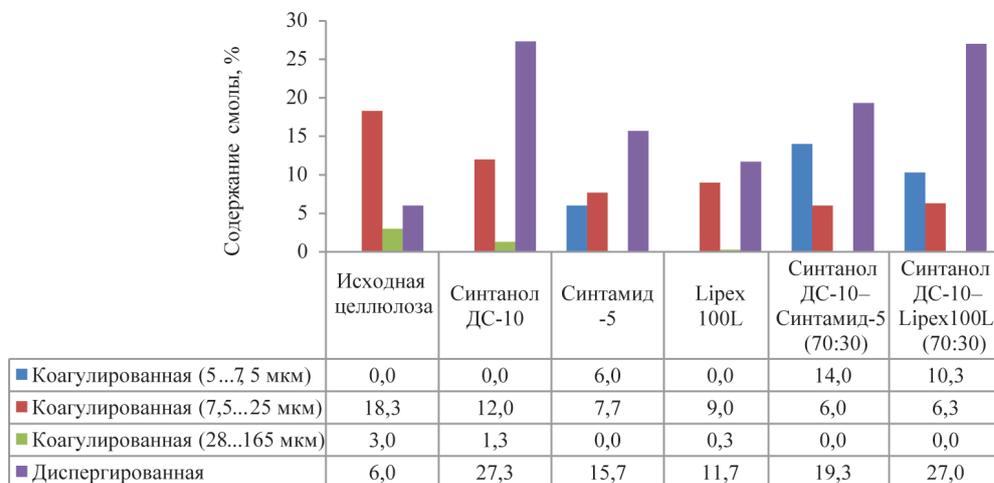


Рис. 4. Содержание коагулированной и диспергированной смолы до и после обработки

Fig. 4. Content of Coagulated and Dispersed Resin Before and After Treatment

Как видно из рис. 4, в исходной сульфатной целлюлозе поверхностная смола находится в основном в коагулированном состоянии с присутствием частиц больших размеров. Эффективность действия обессмоливающих реагентов оценивалась по увеличению количества диспергированной смолы и уменьшению коагулированной. Несмотря на слабое снижение общей смолистости при действии смеси синтанол ДС-10–Lipex 100L по данным микроскопического анализа лучшим обессмоливающим действием обладает именно эта композиция, так как процентное содержание диспергированной смолы увеличилось с 6,0 до 27,0 % при полном отсутствии больших частиц коагулированной смолы.

При действии смеси синтанол ДС-10–синтаמיד-5 (70:30) процентное содержание диспергированной смолы поднялось лишь до 19,3 %. Вероятно, это связано с тем, что обессмоливающее действие данной смеси происходит по диффузионно-солюбилизационному механизму, что подтверждается данными о солюбилизационной способности этих систем [10].

Коагулированная смола имеет размеры, которые могут варьироваться от 5,0 до 165,0 мкм. Для установления эффективности обессмоливающего действия реагентов было решено разделить коагулированную смолу на три группы по размерам (рис. 1). В первую группу входят частицы размером 5,0...7,5 мкм. Увеличение их процентного содержания говорит о способности обессмоливающего реагента разбивать крупные частицы на более мелкие. Вторая группа состоит из частиц среднего размера (7,5...25,0 мкм), уменьшение процентного содержания которых говорит о том, что частицы переходят в разряд диспергированных. В третью группу входят агломераты, где скопление смолы максимальное и размеры могут превосходить диаметр волокна (28,0...165,0 мкм). После обработки поверхностно-активными веществами или липазой крупные частицы коагулированной смолы либо исчезают, либо процентное содержание их становится очень мало. Такая смола диспергируется на частицы, соответствующие второй или первой группе, или переходит в разряд диспергированной.

Во всех представленных случаях намного уменьшились крупные скопления смолы, снизилось процентное содержание частиц среднего размера и увеличилось процентное содержание мелких частиц и диспергированной смолы. Независимо от природы веществ все реагенты проявили хорошие диспергирующие свойства. Содержание смолы второй группы снизилось при действии синтанола ДС-10 на 34 %, синтамида-5 – на 58 %, Lirеx 100L – на 50 %, при действии синергетических смесей синтанол ДС-10–синтаמיד-5 – на 67 %, синтанол ДС-10–Lirеx 100L – до 66 %. Частицы самых крупных размеров в большинстве случаев исчезли полностью.

#### Заключение

Изучено обессмоливание небеленой сульфатной лиственной целлюлозы смесями ферментов с неионогенными ПАВ и показано, что, несмотря на незначительное снижение общего содержания смолы в целлюлозе, действие таких систем вполне может быть эффективным при борьбе с остаточной поверхностной смолой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М.* Поверхностно-активные вещества: справ. Л.: Химия, 1979. 376 с.
2. *Болотова К.С., Новожилов Е.В.* Применение ферментных технологий для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства // *Химия растительного сырья*. 2015. № 3. С. 5–23. DOI: 10.14258/jcrpm.201503575
3. ГОСТ 14940–75. Целлюлоза сульфатная белая из лиственной древесины (осиновая). Технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986.
4. ГОСТ 6841–77. Целлюлоза. Метод определения смол и жиров. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.
5. *Ковалева И.Н., Шпензер Н.П., Талмуд С.Л.* Пути рационального выбора смесей ПАВ для обессмоливающих добавок, применяемых в процессе сульфитной варки целлюлозы // *Журнал прикладной химии*. 1983. № 9. С. 2131–2135.
6. *Ковтун Т.Н., Хакимов Р.Р.* Использование обессмоливающих веществ при варке лиственной сульфатной целлюлозы // *Химия растительного сырья*. 2009. № 1. С. 37–41.
7. *Лысогогорская Н.П.* Научные основы обессмоливания целлюлозы поверхностно-активными веществами: дис. ... д-ра хим. наук: 05.21.03. СПб., 1993. 417 с.
8. *Печурина Т.Б., Миловидова Л.А., Комарова Г.В., Комаров В.И.* Влияние добавок диспергантов на изменение состояния смолы и содержание экстрактивных веществ в лиственной сульфатной целлюлозе // *Лесн. журн.* 2003. № 2–3. С. 68–75. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Бюро НДТ, 2015. 479 с.
10. *Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С.* Влияние липазы на мицеллообразующую и солюбилизующую способность неионогенных поверхностно-активных веществ // *Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61, вып. 6. С. 54–60. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.6060/tcct.20186106.5696
11. *Buchert J., Mustranta A., Holmbom B.* Enzymatic Control of Dissolved and Colloidal Substances During Mechanical Pulping. *Biotechnology in Pulp and Paper Industry*, 8th ICBPPI / Ed. L. Viikari, R. Lantto. 2002. Pp. 271–280.

12. Choi J.M., Han S.S., Kim H.S. Industrial Applications of Enzyme Biocatalysis: Current Status and Future Aspects. *Biotechnol Adv.*, 2015, Nov. 15; 33(7):1443–54. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.02.014
13. Delorme V., Dhouib R., Canaan S., Fotiadu F., Carrière F., Cavalier J. Effects of Surfactants on Lipase Structure, Activity, and Inhibition. *Pharm Res.*, 2011, 28: 1831. DOI: 10.1007/s11095-010-0362-9
14. Gutiérrez A., del Río J.C., Martínez M.J., Martínez A.T. The Biotechnological Control of Pitch in Paper Pulp Manufacturing. *Trends in Biotechnology*, 2001, vol.19, no. 9, pp. 340–348.
15. Helisto P., Korpela T. Effects of Detergents on Activity of Microbial Lipases as Measured by the Nitrophenylalkanoate Esters Method. *Enzyme And Microbial Technology*, 1998, 23:113–117. DOI: 10.1016/S0141-0229(98)00024-6
16. Holmberg K. Interactions Between Surfactants and Hydrolytic Enzymes, Colloids and Surfaces. *Biointerfaces*, vol. 168, 1 August 2018, pp. 169–177. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2017.12.002
17. Hubbe M.A., Rojas O.J., Venditti R.A. Control of Tacky Deposits on Paper Machines – a Review. *Nordic Pulp Paper Res. J.* 2006, vol. 21, no. 2, pp. 154–171. DOI: 10.3183/npprj-2006-21-02-p154-171
18. Jeffries T.W., Viikari L. Enzymes for Pulp and Paper Processing. Washington, DC.: American Chemical Society, 1996. 326 p.
19. Otzen D. Protein-surfactant Interactions: A Tale of Many States // *Biochimica et Biophysica Acta 1814*. 2011, pp. 562–591. DOI: 10.1016/j.bbapap.2011.03.003
20. Reis P., Holmberg K., Watzke H., Leser M.E., Miller R. Lipases at Interfaces: A Review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2009, no. 147–148. pp. 237–250. DOI:10.1016/j.cis.2008.06.001

Поступила 14.02.19

UDC 676.085.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.168

### Analysis of the Resin Forms in the Process of the Short Fiber Sulphate Cellulose Deresination\*

**R.A. Smith**, Postgraduate student; ResearcherID: [O-2661-2019](#), ORCID: [0000-0002-9665-4636](#)  
**E.Yu. Demyantseva**, Candidate of Chemistry, Assoc. Prof.; ResearcherID: [P-5165-2019](#), ORCID: [0000-0001-9570-1827](#)

**O.S. Andranovich**, Postgraduate student; ResearcherID: [P-5570-2019](#), ORCID: [0000-0002-7947-7068](#)

Saint-Petersburg State University of Industrial Technology and Design, 4 Ivana Chernykh St., Saint-Petersburg, 198095, Russian Federation;

e-mail: [zz1234567@yandex.ru](mailto:zz1234567@yandex.ru), [demyantseva@mail.ru](mailto:demyantseva@mail.ru), [ilonichka3377@mail.ru](mailto:ilonichka3377@mail.ru)

Sticky inclusions in fiber often create a serious obstruction called as «pitch troubles». At the present time there is no universal and effective method for their elimination. The proposed approach of cellulose treatment with synergistic mixtures of surfactants and enzymes will allow combining both traditional and progressive deresination technologies. The influence of the mixtures of deresination agents and their individual components on the resin forms in the sulphate non-bleached short fiber (leaf) pulp was analyzed to assess the functional efficiency

\*The article was published in the framework of implementation the development program of scientific journals in 2019.

of these compositions. The target of research choice is due to the fact that pitch troubles particularly occur in the manufacturing of sulphate short fiber pulp. The total resin content of the cellulose was determined by the extraction-gravimetric method. The resin forms (coagulated, encapsulated or dispersed) were evaluated by microscopy. It has been established that the deresination action of nonionic surfactants is mutually activated in the joint presents. However, a small reduction of total resin content is observed under the deresination action of a mixture of nonionic surfactant and lipase. At the same time, all reagents showed good dispersing properties regardless of their nature. A decrease in the coagulated resin content of medium size with a simultaneous increase in the dispersed resin amount and with the almost complete absence of large resin agglomerates was shown to be most important for deresination. The trend of resin forms under the effect of synergistic mixture of nonionic surfactants is probably due to the diffusion-solubilization mechanism of the deresination action. Analysis of the deresination action of selected reagents and their mixtures has shown that the existing studies on problem of reducing cellulose pitch content with mixtures of surfactants and enzymes does not give an overarching assessment, so a detailed study of the multifactor deresination process is needed.

**For citation:** Smith R.A., Demyantseva E.Yu., Andranovich O.S. Analysis of resin forms in the process of sulphate hardwood cellulose deresination. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 4, pp.168–178. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.168

**Keywords:** deresination, pitch particles, synergistic mixtures, microscopy, extraction.

#### REFERENCES

1. Abramzon A.A., Bocharov V.V., Gaevoi G.M. Superficially Active Substances: Handbook. Leningrad, Khimiya Publ., 1979. 376 p.
2. Bolotova K.S., Novozhilov E.V. The Use of Enzyme Technologies for The Environmental Safety Improvement of Pulp and Paper Manufacturing. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2015, no. 3. pp. 5–23. DOI: 10.14258/jcprm.201503575
3. GOST 14940–75. *Bleached sulphate short fiber cellulose (aspen). Specifications*. Moscow, Standards Publ., 1986.
4. GOST 6841–77. *Cellulose. Method for Determination of Pitch and Fats*. Moscow, Standards Publ., 1998.
5. Kovaleva I.N., Shpenzer N.P., Talmud S.L. Ways of a Judicious Choice of Sufactant Mixtures for Deresination Agents Used in the Process of Sulfite Pulping. *Journal of Applied chemistry*, 1983, no. 9, pp. 2131–2135.
6. Kovtun T. N., Hakimov R.R. The use of deresination agents during cooking of short fiber sulphate pulp. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2009, no. 1. pp. 37–41.
7. Lysogorskaja N.P. *Scientific Basis of Surfactant Deresination of the Cellulose*: Doct. Chem. Sci. Diss. Saint-Petersburg, 1993. 417 p.
8. Pechurina T.B., Milovidova L.A., Komarova G.V., Komarov V.I. The Effect of Dispersant Additives on the Change In The Resin Condition and the Extractive Substances Content in Hardwood Sulphate Pulp. *Lesnoy Zhurnal*, 2003, no. 2–3, pp. 68–75.
9. Manufacturing of Pulp, Wood Pulp, Paper, Cardboard: Handbook. Moscow, NDT Bureau Publ., 2015, 479 p.
10. Smit R.A., Dem'janceva E. Ju., Andranovich O.S. Impact of Lipase on Micelle Formation and Solubilization Abilities of Non-Ionic Surfactants. *Khimiya and Khimicheskiye Technologies*, 2018, vol. 61, no. 6, pp. 54-60. DOI: 10.6060/tcct.20186106.5696
11. Buchert J., Mustranta A., Holmbom B. Enzymatic Control of Dissolved and Colloidal Substances During Mechanical Pulping. *Biotechnology in Pulp and Paper Industry*, 8th ICBPPI / Ed. L. Viikari, R. Lantto. 2002, pp. 271–280.

12. Choi J.M., Han S.S., Kim H.S. Industrial Applications of Enzyme Biocatalysis: Current Status and Future Aspects. *Biotechnol Adv.*, 2015, Nov. 15; 33(7):1443-54. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.02.014
13. Delorme V., Dhouib R., Canaan S. Fotiadu F., Carrière F. Cavalier J. Effects of Surfactants on Lipase Structure, Activity, and Inhibition. *Pharm Res.*, 2011, 28: 1831. DOI: 10.1007/s11095-010-0362-9
14. Gutiérrez A., del Río J.C., Martínez M.J., Martínez A.T. The Biotechnological Control of Pitch in Paper Pulp Manufacturing. *Trends in Biotechnology*, 2001, vol.19, no. 9, pp. 340–348.
15. Helisto P., Korpela T. Effects of Detergents on Activity of Microbial Lipases as Measured by the Nitrophenylalkanoate Esters Method. *Enzyme And Microbial Technology*, 1998, 23:113–117. DOI: 10.1016/S0141-0229(98)00024-6
16. Holmberg K. Interactions Between Surfactants and Hydrolytic Enzymes, Colloids and Surfaces. *Biointerfaces*, vol. 168, 1 August 2018, pp. 169–177. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2017.12.002
17. Hubbe M.A., Rojas O.J., Venditti R.A. Control of Tacky Deposits on Paper Machines – a Review. *Nordic Pulp Paper Res. J.* 2006, vol. 21, no. 2, pp. 154-171. DOI: 10.3183/npprj-2006-21-02-p154-171
18. Jeffries T.W., Viikari L. Enzymes for Pulp and Paper Processing. Washington, DC.: *American Chemical Society*, 1996. 326 p.
19. Otzen D. Protein-surfactant Interactions: A Tale of Many States // *Biochimica et Biophysica Acta 1814*. 2011, pp. 562–591. DOI: 10.1016/j.bbapap.2011.03.003
20. Reis P., Holmberg K., Watzke H., Leser M.E., Miller R. Lipases at Interfaces: A Review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2009, no. 147–148. Pp. 237–250. DOI:10.1016/j.cis.2008.06.001

Received on February 14, 2019

---