

УДК 676.2

АНАЛИЗ ОТРАБОТАННОГО ЩЕЛОКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

© В.К. Дубовый^{1*}, Е.Ю. Демьянцева¹, И.Н. Ковернинский²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 1980095 (Россия), e-mail: dubovy2004@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, 194021 (Россия)

Комплексная и глубокая переработка древесного сырья с получением продуктов, имеющих высокую добавленную стоимость при снижении количества отходов – одна из актуальных задач современной целлюлозно-бумажной промышленности. Поиск экономически выгодных, но при этом ресурсо-, энергосберегающих и экологически безопасных технологий переработки древесного сырья в современном мире становится важнейшим средством обеспечения устойчивого развития отрасли. Альтернативный инновационный способ производства волокнистых полуфабрикатов высокого выхода – получение экструзионной химико-термомеханической массы в результате низкотемпературной (90 °С) при атмосферном давлении щелочной делигнификации лиственных пород древесины. Щелок, полученный в процессе делигнификации, представляет сложный комплекс минеральных соединений и продуктов деструкции лигнина, полисахаридов, экстрактивных веществ и продуктов их превращений. Состав и свойства щелока являются важными факторами, которые оказывают существенное влияние на выход и качество продуктов переработки щелока и дальнейшей его утилизации. В данной работе полученный отработанный раствор после низкотемпературной щелочной делигнификации древесины березы и осины анализируется по основным показателям, устанавливающим его физико-химическую характеристику: по плотности, общей щелочности, содержанию сухого остатка, в том числе его органической и неорганической части, лигнина, эфир- и водорастворимых веществ. Результаты качественного и количественного анализа отработанных щелоков в зависимости от вида лиственной древесины показал высокую остаточную щелочность растворов с содержанием в них 3.85–5.37 масс.% сухих веществ и 0.2% взвешенных.

Ключевые слова: щелочная делигнификация, экструзионная химико-термомеханическая масса, отработанный раствор, лигнин, редуцирующие вещества, эфирорастворимые экстрактивные вещества.

Введение

Несмотря на то, что в современном лесопромышленном комплексе реализуется законченный химический или химико-технологический процесс, заготовка и переработка хвойных пород древесины сопровождается накоплением больших ресурсов отходов, а лиственных пород – осины и березы, близка к убыточной или убыточна. Хотя осина – одна из доминирующих пород на Северо-Западе России и является быстрорастущей, но при этом недолговечной породой, быстро поражаемой гнилью. Располагая указанными ресурсами сырья, предприятия лесного профиля лишены технологической возможности в полной мере воспользоваться высокой прибыльностью переработки сырья в целлюлозные волокнистые полуфабрикаты (ЦВП) для бумаги и картона. Одним из важнейших факторов успешной деятельности отечественных предприятий целлюлозно-бумажной отрасли является внедрение ресурсосберегающих конкурентоспособных доступных технологий

Дубовый Владимир Климентьевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии бумаги и картона, e-mail: dubovy2004@mail.ru

Демьянцева Елена Юрьевна – кандидат химических наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии, e-mail: demyantseva@mail.ru

Ковернинский Иван Николаевич – доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, e-mail: kovern@list.ru

[1, 2]. Наряду с традиционными и прогрессивными способами получения волокнистых полуфабрикатов перспективной переработкой неликвидного сырья является экструзивная низкотемпературная натронная технология, позволяющая получать высококачественное волокно сверхвысокого выхода

* Автор, с которым следует вести переписку.

(80–90%) из осины и березы для производства бумаги и картона [3–6]. Бумага из волокна осины и березы экструзивного способа получения отличается высокой прочностью и жесткостью. Отработанный щелок после низкотемпературной натронной делигнификации древесной щепы представляет собой водный раствор сложной смеси органических и неорганических соединений. Неорганическая составляющая представлена, главным образом, натриевыми солями. Органические вещества – продуктами деструкции компонентов древесины, но количественный анализ веществ отработанного щелока при данном способе получения волокнистого полуфабриката (ЭХТММ) не проводился. В данной исследовательской работе проведена оценка компонентного состава полученных отработанных растворов с выявлением перспективы их дальнейшего использования. В задачу исследования входило изучение влияния режима и параметров получения ЭХТММ на групповой состав отработанного щелока в зависимости от вида лиственной древесины.

Экспериментальная часть

Объекты исследования: отработанные щелока, полученные после низкотемпературной натронной делигнификации древесной щепы фракции 3–5 см лиственных пород (березы, осины и их смеси в соотношении 50 : 50) с дефибрированием в волокнистую массу по экструзивной технологии. Режим и параметры получения ЭХТММ: обработка щепы раствором NaOH концентрацией 5% к а.с. древесине, время делигнификации 1 ч, температура 90 °С, гидромодуль 4.

Массовую долю сухих веществ в щелоке определяли гравиметрией по методу ВНИИБ [7].

Калибровку лабораторной посуды перед проведением исследований осуществляли по ГОСТ 8.234-2013 [8].

Содержание сухих веществ (В, %) рассчитывали по формуле:

$$B = ((q_2 - q_1)100) / (\gamma^{15} V_1), \quad (1)$$

где q_1 – масса стаканчика с фильтром, г; q_2 – масса стаканчика с фильтром и сухим остатком, г; V – вместимость мерной колбы, см³; G – масса плотного щелока, г; γ^{15} – плотность щелока при 15 °С, г/см³; V_1 – объем щелока, взятый на анализ, см³. Сухой остаток получали высушиванием пробы при температуре 105 °С.

Предельные границы относительной погрешности результатов измерений не превышают ±0.5% при доверительной вероятности $p=0.95$.

Плотность щелоков определяли поверенными ареометрами. Одновременно измеряли температуру щелока и найденные значения плотности щелока приводили к плотности при 15 °С:

$$\rho = \rho_t - 0.052 \cdot (15 - t_{щ}), \quad (2)$$

где ρ_t – измеренная плотность щелока, г/см³; 0,052 – эмпирический коэффициент; $t_{щ}$ – фактическая температура щелока, °С.

Был проведен сравнительный анализ экспериментальных значений плотности с расчетными согласно корреляционной зависимости для определения плотности щелока (ρ , г/см³) как функции от содержания сухих веществ и температуры, представленной TAPPI и предложенной в работе Ю.В. Севостьяновой и др. [9–11]:

$$\rho = 1.007 + 0.006x - 0.000495t, \quad [9, 10]$$

$$\rho = 0.994 + 0.006x - 0.0005t, \quad [11]$$

где x – содержание сухих веществ, %; t – температура, °С.

Взвешенные вещества [ПНД Ф 14.1:2:3.110-97]. Метод определения взвешенных веществ основан на выделении их из пробы фильтрованием воды через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм или бумажный фильтр «синяя лента» и взвешивании осадка на фильтре после высушивания его до постоянной массы при температуре 105 °С [12].

Лигнинные вещества. Метод определения основан выделении из отработанного раствора 30%-ным раствором серной кислоты до pH 1–2, с последующей обработкой выделившегося осадка диэтиловым эфиром, фильтрования и взвешивании осадка на фильтре после высушивания его до постоянной массы при температуре 105 °С [13].

Остаточная щелочность ПНД Ф 14.1:2.242-07. Потенциометрический метод определения щелочности основан на титровании пробы раствором сильной кислоты до достижения значения рН, эквивалентного свободной и общей щелочности [14].

Эфирорастворимые вещества ПНД Ф 14.1:2.142-98. Гравиметрический метод определения содержания эфирорастворимых веществ основан на экстракции диэтиловым эфиром веществ и взвешивания остатка после удаления эфира [15].

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования свойств волокнистого полуфабриката, полученного дефибрированием щепы древесины березы и осины в условиях низкотемпературной натронной делигнификации, представлены в таблице 1.

Компонентный химический состав сточных вод варочного отдела предприятий ЦБП определяется в основном содержанием продуктов деструкции древесины (лигнина и частично углеводной части), неорганическими соединениями, взвешенными веществами [16]. От этого зависит как перспективность переработки щелока, так и эффективность биологической очистки сточных вод [16–20]. Анализ полученных отработанных растворов представлен в таблице 2.

Таблица 1. Показатели ЭХТММ

ЭХТММ 20°ШР	Выход, %	Число Каппа	Содержание смолистых веществ в ЭХТММ (экстракция спирто-толуольной смесью), масс.% к а.с.ц
Береза	79.8	89	0.3
Осина	84.6	92	0.4
Береза : осина (50 : 50)	82.5	90	0.5

Таблица 2. Анализ отработанного щелока

Группа веществ	Содержание		
	береза	осина	береза : осина (50 : 50)
Сухой остаток, масс.%	5.36	3.85	4.37
Органические вещества, масс.% в растворе	3.64	2.93	3.15
% к сухому остатку	68	76	72
минеральные, масс.% в растворе	1.71	0.92	1.22
% к сухому остатку	32	24	28
Лигнин, масс. %:			
в растворе	1.08	0.73	0.76
% к орг. в-вам	29.8	25	24
к а.с. сырью	4.3	2.9	3.0
Эфирорастворимые вещества, масс.% в растворе	0.24	0.29	0.27
% к орг. в-вам	6.5	10	8.7
к а.с. сырью	0.9	1.2	1.1
Водорастворимые вещества, масс.% в растворе	2.32	1.49	1.80
% к орг. в-вам	63.8	51	57
к а.с. сырью	8.7	6.0	7.2
плотность щелока кг/м ³			
экспериментальная	1030	1021	1024
рассчитанная	1029/1016	1020/1007	1023/1010
рН	11	11	11
Остаточ. щелочность г/л, ед. NaOH	0.16	0.18	0.18
Взвешенные вещества, г/л	0.2	0.15	0.2

В отработанном щелоке содержится сложный комплекс минеральных соединений и веществ, переходящих в раствор при разрушении древесины под воздействием химико-температурной обработки. Содержание сухого остатка в растворе составило 3.85–5.36% в зависимости вида используемой древесины. Несмотря на то, что делигнификации была подвергнута древесная щепа лиственных пород, экспериментальные значения плотности растворов при невысоком количестве сухих веществ согласуются с отклонением в 1–2% с корреляционной зависимостью, описанной полиномом 1-й степени, предложенное TAPPI и в работе Ю. Севостьяновой и др. [9–11]. Как видно из таблицы, основным компонентом органической части щелока, в зависимости от вида древесины – 51–63.8%, являются продукты разрушения полисахаридов и водорастворимых экстрактивных веществ, объединенных термином «водорастворимые вещества», находящихся в значительном количестве в виде натриевых солей летучих органических кислот, за счет отщепленных ацетильных групп. Наибольшее их количество в щелоке после делигнификации древесины березы (63.8%) связано с большим их содержанием в данном виде древесины. Помимо них 24–30% органических веществ составляет лигнин. Содержание в растворе производных экстрактивных веществ, извлеченных эфиром, колеблется в диапазоне 6–10% к органическим веществам щелока. В состав эфирорастворимых веществ щелока могут входить как экстрактивные вещества древесины и продукты их превращения, так и продукты деструкции лигнина (низкомолекулярные ароматические соединения). Проведенная оценка веществ, растворенных в щелоке при данном режиме делигнификации, показала, что выход волокнистого материала происходит в большей степени за счет растворения нецеллюлозных компонентов древесины нелигнинного характера, что составляет примерно 35% данных веществ от их содержания в древесине, при этом лигнина выделяется в раствор приблизительно 20% от исходного количества.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ щелоков после экструзионного низкотемпературного способа получения полуфабриката показал, что потери древесины в процессе невелики, большая часть древесного сырья превращается в волокнистую массу. Низкое теплосодержание сточных вод от производства ЭХТММ не позволит его их использовать подобно черному щелоку при получении целлюлозы. Технология получения волокнистого полуфабриката экологически безопасна, нет дурно пахнущих и вредных веществ в газовых выбросах, количества сточных вод немного, но необходимо предусматривать ее локальную очистку.

Список литературы

1. Аким Э.Л. Целлюлозно-бумажная промышленность в России // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы Второй международной научно-технической конференции. СПб., 2017. С. 198–202.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС1-2015. «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги и картона». М., 2015. 465 с.
3. Ковернинский И.Н., Прокопенко К.Д. Перспективные малотоннажные заводы переработки балансов и отходов лесопиления в высокоэффективную химико-термомеханическую массу для бумаги и картона // Лесной комплекс. 2019. №2(36). С. 64–69.
4. Ковернинский И.Н., Дубовый В.К., Прокопенко К.Д. Исследование экструзивной химико-термомеханической массы // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 319–324. DOI: 10.14258/jcprm.20220110438.
5. Паламарчук Н.Ф., Мороз В.Н. Химико-термомеханическая древесная масса для картона // Химия растительного сырья. 2012. №3. С. 193–196.
6. Булыгина С.В., Севостьянова Ю.В., Коваленко М.В. Технологии волокнистых полуфабрикатов различного назначения из мискантуса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 231. С. 238–251. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.238-251.
7. Свидетельство №411 о метрологической аттестации МВИ. Метод определения массовой доли сухих веществ в черном щелоке. Л., 1991. 4 с.
8. ГОСТ 8.234-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Меры вместимости стеклянные. Методика поверки. М., 2014. 11 с.
9. Bialik M.A., Theliander H., Sedin P., Verril C.L., DeMartini N. Solubility and Solid Phase Composition in Boiling-Temperature Na₂CO₃–Na₂SO₄ Solutions: A Modeling Approach // TAPPI Engineering, Pulping and Environmental Conference Proceedings. TAPPI Press, 2007. Pp. 1471–1498.
10. Clay D.T. Evaporation Principles and Black Liquor Properties // TAPPI Kraft Recovery Short Course. TAPPI, 2011, pp. 3.1-1–3.1-6.
11. Севостьянова Ю.В., Топтунов Е.А., Щербак Н.В., Солнцев П.В. Определение математической зависимости плотности черного щелока от содержания сухих веществ (хвойная ЦВВ) // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. №1. С. 192–200. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-192-200.

12. ПНД Ф 14.1:2:3.110-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации взвешенных веществ в пробах природных и сточных вод гравиметрическим методом. М., 2016. 15 с.
13. Миловидова Л.А., Комарова Г.В. Производство сульфатной целлюлозы. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2001. 31 с.
14. ПНД Ф 14.1:2.242-07. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений свободной и общей щелочности в природных и сточных водах методом потенциометрического титрования. М., 2007. 14 с.
15. ПНД Ф 14.1:2.142-98. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации эфирозвлекаемых веществ в природных и сточных водах гравиметрическим методом. М., 2011. 8 с.
16. Боголицын К.Г., Москалюк Е.А., Костогоров Н.М., Шульгина Е.В., Иванченко Н.Л. Применение интегральных показателей качества сточных вод для внутрипроизводственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // *Химия растительного сырья*. 2021. №2. С. 343–352. DOI: 10.14258/jcprm.2021027871.
17. Якубова О.С., Демьянцева Е.Ю., Смит Р.А. Физико-химические характеристики черного щелока до и после извлечения сульфатного мыла в присутствии поверхностно-активных веществ // *Химия растительного сырья*. 2021. №4. С. 337–343.
18. Кожевников А.Ю., Боголицын К.Г., Скребец Т.Э. Кинетика щелочной водно-спиртовой делигнификации древесины // *Химия растительного сырья*. 2006. №1. С. 5–10.
19. Казаков В.Г., Луканин П.В., Федорова О.В., Самойленко Д.Е. Модернизация технологического процесса переработки черных щелоков сульфатной целлюлозы // *Журнал прикладной химии*. 2016. Т. 89, вып. 5. С. 654–659.
20. Вураско А.В., Минакова А.Р., Симонова Е.И. Рекуперация отработанных варочных растворов при окислительно-органо-сольвентных варках недревесного растительного сырья // *Химия растительного сырья*. 2019. №3. С. 277–284. DOI: 10.14258/jcprm.2019034654.

Поступила в редакцию 7 ноября 2022 г.

Принята к публикации 21 апреля 2023 г.

Для цитирования: Дубовый В.К., Демьянцева Е.Ю., Ковернинский И.Н. Анализ отработанного щелока низкотемпературной щелочной делигнификации древесины лиственных пород // *Химия растительного сырья*. 2023. №2. С. 355–360. DOI: 10.14258/jcprm.20230212080.

Duboviy V.K.^{1}, Demiantseva E.Yu.¹, Koverninskiy I.N.²* ANALYSIS OF SPENT LIQUOR OF LOW-TEMPERATURE ALKALINE DELIGNIFICATION OF HARDWOOD

¹ *St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design the Higher School of Technologies and Power Engineering, ul. Ivana Chernykh, 4, St.Petersburg, 1980095 (Russia), e-mail: dubovy2004@mail.ru*

² *St. Petersburg State Forest Engineering University named after V.I. Kirov, Institutskiy per., 5, St. Petersburg, 194021 (Russia)*

Complex and deep processing of wood raw materials to produce products with high added value while reducing the amount of waste is one of the urgent tasks of the modern pulp and paper industry. The search for economically profitable, but at the same time resource-, energy-saving and environmentally friendly technologies for processing wood raw materials in the modern world is becoming the most important means of ensuring the sustainable development of the industry. An alternative innovative method for the production of high-yield fibrous semi-finished products is the production of an extrusion chemical-thermo-mechanical mass as a result of low-temperature (90 °C) at atmospheric pressure alkaline delignification of hardwood. The liquor obtained in the process of delignification is a complex complex of mineral compounds and products of destruction of lignin, polysaccharides, extractives and products of their.

Keywords: alkaline delignification, extrusive chemical-thermo-mechanical mass, waste liquor, lignin, reducing substances, ether-soluble extractive substances.

* Corresponding author.

References

1. Akim E.L. *Lesnaya Rossiya: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye: materialy Vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. [Russian Forests: Politics, Industry, Science, Education: Proceedings of the Second International Scientific and Technical Conference]. St. Petersburg, 2017, pp. 198–202. (in Russ.).
2. *Informatsionno-tekhnicheskiy spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam ITS1-2015. «Proizvodstvo tsellyulozy, drevesnoy massy, bumagi i kartona»*. [Information and technical guide to the best available technologies ITS1-2015. "Production of pulp, wood pulp, paper and cardboard"]. Moscow, 2015, 465 p. (in Russ.).
3. Koverninskiy I.N., Prokopenko K.D. *Lesnoy kompleks*, 2019, no. 2(36), pp. 64–69. (in Russ.).
4. Koverninskiy I.N., Dubovyy V.K., Prokopenko K.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 319–324. DOI: 10.14258/jcprm.20220110438. (in Russ.).
5. Palamarchuk N.F., Moroz V.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2012, no. 3, pp. 193–196. (in Russ.).
6. Bulygina S.V., Sevast'yanova Yu.V., Kovalenko M.V. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2020, no. 231, pp. 238–251. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.238-251. (in Russ.).
7. *Svidetel'stvo №411 o metrologicheskoy attestatsii MVI. Metod opredeleniya massovoy doli sukhikh veshchestv v chernom shcheloke*. [Certificate No. 411 on metrological certification of MVI. Method for determining the mass fraction of solids in black liquor]. Leningrad, 1991, 4 p. (in Russ.).
8. *GOST 8.234-2013. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Mery vmestimosti steklyannyye. Metodika poverki*. [GOST 8.234-2013. State system for ensuring the uniformity of measurements. Measures of capacity in glass. Verification procedure]. Moscow, 2014, 11 p. (in Russ.).
9. Bialik M.A., Theliander H., Sedin P., Verrill C.L., DeMartini N. *TAPPI Engineering, Pulping and Environmental Conference Proceedings*. TAPPI Press, 2007, pp. 1471–1498.
10. Clay D.T. *TAPPI Kraft Recovery Short Course*. TAPPI, 2011, pp. 3.1-1–3.1-6.
11. Sevast'yanova Yu.V., Toptunov Ye.A., Shcherbak N.V., Solntsev P.V. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2021, no. 1, pp. 192–200. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-192-200. (in Russ.).
12. *PND F 14.1:2:3.110-97. Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii vzheshennykh veshchestv v probakh prirodnykh i stochnykh vod gravimetricheskim metodom*. [PND F 14.1:2:3.110-97. Quantitative chemical analysis of waters. Method for measuring the mass concentration of suspended solids in samples of natural and waste waters by the gravimetric method]. Moscow, 2016, 15 p. (in Russ.).
13. Milovidova L.A., Komarova G.V. *Proizvodstvo sul'fatnoy tsellyulozy. Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot*. [Production of sulfate pulp. Guidelines for performing laboratory work]. Arkhangelsk, 2001, 31 p. (in Russ.).
14. *PND F 14.1:2.242-07. Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy svobodnoy i obshchey shchelochnosti v prirodnykh i stochnykh vodakh metodom potentsiometricheskogo titrovaniya*. [PND F 14.1:2.242-07. Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for performing measurements of free and total alkalinity in natural and waste waters by potentiometric titration]. Moscow, 2007, 14 p. (in Russ.).
15. *PND F 14.1:2.142-98. Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii efiroizvlekayemykh veshchestv v prirodnykh i stochnykh vodakh gravimetricheskim metodom*. [PND F 14.1:2.142-98. Quantitative chemical analysis of waters. Method for measuring the mass concentration of ether-extractable substances in natural and waste waters by the gravimetric method]. Moscow, 2011, 8 p. (in Russ.).
16. Bogolitsyn K.G., Moskalyuk Ye.A., Kostogorov N.M., Shul'gina Ye.V., Ivanchenko N.L. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 343–352. DOI: 10.14258/jcprm.2021027871. (in Russ.).
17. Yakubova O.S., Dem'yantseva Ye.Yu., Smit R.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 337–343. (in Russ.).
18. Kozhevnikov A.Yu., Bogolitsyn K.G., Skrebets T.E. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2006, no. 1, pp. 5–10. (in Russ.).
19. Kazakov V.G., Lukanin P. V., Fedorova O. V., Samoilenko D.Ye. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2016, vol. 89, no. 5, pp. 654–659. (in Russ.).
20. Vurasko A.V., Minakova A.R., Simonova Ye.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 277–284. DOI: 10.14258/jcprm.2019034654. (in Russ.).

Received November 7, 2022

Accepted April 21, 2023

For citing: Duboviy V.K., Demiantseva E.Yu., Koverninskiy I.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 355–360. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230212080.