

Научная статья

УДК 504.062:676.164.3.023.1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА БЕЛЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

**Никита Романович Федюченко¹, Маргарита Григорьевна Петрова²,
Вадим Аполлонович Липин³, Олег Игоревич Ширин⁴**

¹⁻⁴ Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

¹ Nikitoskolobos@gmail.com

² margarita.pet.2004@mail.ru

³ vadim.lipin@mail.ru

⁴ shirin1997@yandex.ru

Аннотация. Присутствие в сточных водах хлорорганических соединений оказывает значительный вред водным организмам и влияет на здоровье человека. Существующие технологии очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий не обеспечивают полное удаление этих веществ. Для соблюдения экологических стандартов и защиты водных экосистем требуется использование более передовых методов отбеливания и очистки.

Ключевые слова: ЦБП, отбелки, АОХ, сточные воды

Для цитирования: Экологические аспекты загрязнения хлорсодержащими отходами в процессе производства беленой целлюлозы / Н. Р. Федюченко, М. Г. Петрова, В. А. Липин, О. И. Ширин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1109–1112.

Original article

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF POLLUTION BY CHLORINE-CONTAINING WASTE IN THE BLEACHED CELLULOSE PRODUCTION PROCESS

Nikita R. Fedyuchenko¹, Margarita G. Petrova², Vadim A. Lipin³,
Oleg I. Shirin⁴

¹⁻⁴ Higher School of Technology and Energy of Saint-Petersburg
State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia

¹ Nikitoskolobos@gmail.com

² margarita.pet.2004@mail.ru

³ vadim.lipin@mail.ru

⁴ shirin1997@yandex.ru

Abstract. The presence of chlorinated organic compounds in wastewater causes significant harm to aquatic organisms and affects human health. Existing wastewater treatment technologies at cellulose and paper mills do not ensure complete removal of these substances. To comply with environmental standards and protect aquatic ecosystems, the use of more advanced bleaching and treatment methods is required.

Keywords: cellulose and paper mills, bleaching, AOX, wastewater

For citation: E`kologicheskie aspekty` zagryazneniya xlorosoderzhashhimi otxodami v processe proizvodstva belenoy cellyulozy` [Environmental aspects of pollution by chlorine-containing waste in the bleached cellulose production process] (2026) N. R. Fedyuchenko, M. G. Petrova, V. A. Lipin, O. I. Shirin. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1109–1112. (In Russ).

Промышленная деятельность практически всегда сопровождается образованием сточных вод, которые оказывают значительное воздействие на экологическое благополучие. Одним из крупнейших источников этих вод является целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП), где отходы формируются на разных этапах производства целлюлозы и бумаги. Эти стоки оказывают негативное влияние на природные экосистемы и представляют серьезную угрозу для здоровья человека. Объем сточных вод в этой отрасли занимает третье место после металлургии и химической промышленности. На производство тонны воздушно-сухой целлюлозы приходится от 20 до 100 м³ сточных вод, которые включают различные органические и неорганические загрязнители, главным образом танины, лигнины, смолы и хлорсодержащие соединения [1].

Наибольший вред окружающей среде наносят стоки, образующиеся в процессе отбелки целлюлозы. Отбелка целлюлозы – сложная и многоступенчатая процедура, подразумевающая использование двух и более химических веществ для достижения нужного уровня белизны. Использование хлорсодержащих реагентов при ее осуществлении вызывает ряд химических превращений с образованием высокотоксичных соединений, которые биологически разлагаются очень медленно. В ходе отбелки такие компоненты древесины, как фенолы, смолы и лигнин, взаимодействуют с хлором и его производными, переходя в токсичные хлорорганические соединения.

Хлорорганические соединения обладают способностью к биоаккумуляции и входят в класс стойких органических загрязнителей. Сточные воды отбелки могут вызывать мутагенные и генетические повреждения, респираторные заболевания и иные негативные последствия для живых организмов, включая человека.

В сточных водах отбелки обнаружен самый широкий спектр хлорорганических соединений. Состав и тип этих соединений напрямую зависят от содержания лигнина в сырье для получения целлюлозы и используемых химических реагентов при его переработке. Инструментально определяемый параметр содержания хлорорганических соединений – АОХ (*Adsorbable Organic Halogens*) – является одним из основных для оценки токсичности сточных вод.

Для соблюдения экологических норм содержание АОХ должно либо полностью удаляться, либо существенно уменьшиться после очистных сооружений, применяющих различные технологии очистки. Очищенную воду можно либо использовать повторно в производстве целлюлозы и бумаги, если ее качество соответствует стандартам, либо сбрасывать в окружающую среду при выполнении экологических требований [1].

Комплексные методы очистки сточных вод включают процессы с активным илом, аэрируемыми стабилизационными прудами и анаэробными технологиями, которые способны снижать уровень АОХ до 80–85 %. Однако современные методы не обеспечивают полное удаление АОХ до безвредных величин, что требует постоянного контроля за сбросом в водоемы. Для достижения нормативных показателей чаще всего используют разбавление сточных вод до допустимых концентраций [2, 3].

Для предприятий ЦБП, производящих беленую целлюлозу с применением хлорсодержащих реагентов сульфатным способом, создание замкнутого водооборотного цикла либо затруднено, либо невозможно из-за попадания в оборотную воду хлорорганических соединений и хлорида натрия, которые нарушают технологию. Решением может стать переход на новые схемы отбелки с использованием кислорода, озона и других окислителей, уменьшающих загрязнение оборотной воды и обеспечивающих максимальный возврат очищенной воды в систему водооборота.

ЦБП ведет постоянное совершенствование процессов отбелки для минимизации потребления хлорсодержащих веществ согласно нормативам и рыночным требованиям. Однако полный отказ от таких реагентов пока невозможен с точки зрения качества продукции и экономики. Наиболее распространенным и современным методом является технология отбелки ECF (*Elemental Chlorine Free*) с использованием ограниченного количества диоксида хлора, который селективно удаляет лигнин и гемицеллюлозу, обеспечивая нужные свойства целлюлозы и снижая токсичность сбросов.

Согласно мировой практике, в сточных водах содержание АОХ не должно превышать 0,25 кг на тонну воздушно-сухой целлюлозы [3]. В Российской Федерации ограничения для очищенных стоков заводов по выпуску бленной сульфатной целлюлозы менее строгие. Для действующих производств нормы лежат в диапазоне 0,25–0,40 кг на тонну, а для новых – не превышают 0,25 кг. Для достижения данных показателей предприятия снижают расход диоксида хлора, уменьшая тем самым и содержание хлора в сточных водах [4].

Проведенные исследования показали, что включение кислотно-щелочной обработки и сокращение числа этапов отбелки до трех-четырех позволяет выполнять требования по содержанию АОХ в сточных водах и снизить концентрацию хлора в конечном продукте [4, 5].

Список источников

1. Ashrafi O., Yerushalmi L., Haghighat F. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: a review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission // J. Environ. Manag. 2015. Vol. 158. P. 146–157. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.05.010
2. Wastewater treatment and reclamation: A review of pulp and paper industry practices and opportunities / M. A. Hubbe, J. R. Metts, D. Hermosilla [et al.] // BioResources. 2016. Vol. 11 (3). P. 7953–8091. DOI: 10.15376/BIO-RES.11.3.HUBBE
3. Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: A Review / N. Sharma, N. K. Bhardwaj, S. Prashad, B. Ram // Journal of Cleaner Production. 2020. P. 120338. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120338
4. Анализ содержания органического хлора в бленной целлюлозе иностранных и российских предприятий / Е. Д. Софронова, В. А. Липин, А. В. Орлова, А. Ю. Добош // Изв. СПбЛТА. 2020. Вып. 230. С. 215–225. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.215-225
5. Минимизация содержания хлора в бленной сульфатной целлюлозе для санитарно-гигиенических изделий и упаковки пищевых продуктов / Е. Д. Софронова, В. А. Липин, В. К. Дубовый, Т. А. Суставова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 186–195. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-186-195