

Оценка экологической токсичности водных растворов натуральных красителей, применяемых в технологии крашения текстильных материалов

Н. В. Скобова, М. Д. Кириллова,
А. А. Шитикова

Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь

Аннотация. В условиях ужесточения экологических требований к текстильному производству и роста интереса к устойчивым технологиям особую актуальность приобретает использование натуральных красителей как альтернативы синтетическим аналогам. Однако вопрос экологической безопасности отработанных красильных растворов на основе природного сырья остается недостаточно изученным.

Целью настоящей работы стала оценка экотоксичности водных красильных растворов, полученных из различных видов растительного и грибного сырья, применяемых для окрашивания текстильных материалов.

Установлено, что экотоксичность исследованных красильных растворов варьируется в широком диапазоне в зависимости от вида сырья. Наибольшую токсичность проявили экстракты коры дуба и луковой шелухи, что обусловлено высоким содержанием дубильных веществ, танинов и сероорганических соединений. Растворы листьев яблони и цветков бархатцев характеризовались слаботоксичным действием во всех исследованных концентрациях. Для экстракта трутовика окаймленного установлен нелинейный характер поведения тест-организмов: зафиксированный горметический эффект для грибного сырья указывает на сложные механизмы взаимодействия природных веществ с гидробионтами. Разбавление исходных красильных растворов в соотношении 1:8 и более приводит к снижению токсичности водных стоков.

Полученные результаты обосновывают возможность применения натуральных красителей в качестве экологически приемлемой альтернативы синтетическим красителям в текстильной промышленности с позиции снижения экотоксичности сточных вод при условии соблюдения режимов разбавления отработанных растворов.

Ключевые слова: тест-организмы, натуральные красители, трутовик, экотоксичность сточных вод, ракообразные *Daphnia magna* Straus.

Информация о статье: поступила 10 июня 2026 года.

Статья подготовлена по материалам доклада 59-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 15–16 апреля 2026 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Assessment of the ecotoxicity of aqueous solutions of natural dyes used in textile dyeing technology

Natallia V. Skobova, Margarita D. Kirillova,
Anna A. Shitikova

Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus

Abstract. With increasingly stringent environmental requirements for textile production and growing interest in sustainable technologies, the use of natural dyes as alternatives to synthetic analogs is becoming increasingly important. However, the environmental safety of spent dye solutions based on natural raw materials remains poorly understood.

The aim of this study was to assess the ecotoxicity of aqueous dye solutions obtained from various plant and fungal raw materials used for dyeing textile materials.

It was found that the ecotoxicity of the dye solutions studied varied widely depending on the type of raw material. Oak bark and onion peel extracts exhibited the highest toxicity, due to their high content of hardening agents, tannins, and organosulfur compounds. Apple leaf and marigold flower solutions exhibited low toxicity at all concentrations tested. Nonlinear behavior of the test organisms was observed for the polypore extract: the observed hormetic effect of the mushroom raw material indicates complex mechanisms of interaction between natural substances and aquatic organisms. Dilution of the original

dye solutions to a ratio of 1:8 or greater leads to a decrease in the toxicity of water effluents.

These results support the use of natural dyes as an environmentally acceptable alternative to synthetic dyes in the textile industry, as they reduce the ecotoxicity of wastewater, provided the dilution regimes for the spent solutions are followed.

Keywords: test organisms, natural dyes, polypore fungus, wastewater ecotoxicity, crustacean *Daphnia magna* Straus.

Article info: received June 10, 2026.

The article summarizes the research materials presented at the 59th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students, held on April 15–16, 2026 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

В последние годы рынок натуральных красителей испытывает повышенный интерес, вызванный растущим спросом на экологически чистые и устойчивые альтернативы для синтетических красителей [Elsahida et al., 2020]. Это обусловлено сочетанием меняющихся нормативных требований к производителю в отношении экологического законодательства и осознанного подхода потребителя к своему здоровью (NDMO¹). В частности, запреты на определенные химические вещества и требования к снижению загрязнения водных объектов (регламент REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), международный стандарт органического текстиля (Global Organic Textile Standard, GOTS) и стандарт OEKO-TEX® Standard 100) заставляют производителей искать безопасные альтернативы в технологии крашения текстильных материалов (RRND²).

Помимо экологических и нормативных аспектов, на масштабы и устойчивость загрязнения красителями решающее влияние оказывают социально-экономические факторы. Стремительная глобализация и модель «быстрой моды» усилили производственную нагрузку, вынуждая производителей отдавать предпочтение экономической эффективности, а не защите окружающей среды. Однако не все производители остаются в стороне, например, дизайнеры международных модных брендов, таких как Nike, Toms, Reebok, Quiksilver, MUD Jeans и Patagonia, выпустили ограниченные коллекции одежды и обуви, окрашенные натуральными красителями, что свидетельствует об их поддержке новых экологических требований по снижению химического воздействия индустрии моды на водные ресурсы и почву [Titisari and Sinha, 2025].

¹ Natural Dyes Market Outlook 2026–2034: Market Share, and Growth Analysis [2025]. NDMO.

² Regulatory Requirements For Natural Dyes In Consumer Textiles [2025]. RRND

Экологические проблемы в технологии крашения текстильных материалов обусловлены большим количеством сбрасываемых в водные системы сточных вод содержащих красители: по международным данным ежегодно попадает от 40 000 до 50 000 тонн красителей [Kavitha, Govindhan and Premkumar, 2025]. Особую опасность представляют синтетические красители, которые обладают высокой устойчивостью к биологическому разложению, обладают способностью к биоаккумуляции, токсичны, мутагенны и канцерогенны [Lellis et al., 2019; Tkaczyk, Mitrowska and Posyniak, 2020], оказывают существенное влияние на водные экосистемы, снижая проникновение солнечного света, повышая биохимическую потребность в кислороде (БПК) и химическую потребность в кислороде (ХПК), а также подавляя фотосинтез [Soni, Bhatt and Tailor, 2025]. Из-за своей токсичности некоторые синтетические красители были запрещены во многих странах, что побудило производителей искать более безопасные пути, к которым относится применение натуральных красителей, получаемых из наземных и подземных частей растений, их соцветий, плодов, из грибов и лишайников [Atav et al., 2020]. Главным экологическим преимуществом натуральных красителей является их биоразлагаемость и низкая токсичность по сравнению с синтетическими [de Farias et al., 2023; Shams-Nateri, 2011].

В связи с этим, целью настоящей работы стала оценка экотоксичности водных красильных растворов, полученных из различных видов растительного и грибного сырья, применяемых для окрашивания текстильных материалов.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследований выбраны водные красильные растворы, полученные из различных видов высушенных растений и грибов, отличающихся высокой степенью закрепления красителя на волокне без применения протрав: луковая шелуха, кора дуба, цветы бархатцев, корень лапчатки, листья яблони, трювик окаям-

ленный [Скобова, Ясинская и Кузнецова, 2022].

Красильный раствор подготавливали по разработанной авторами технологии с применением ультразвуковой обработки дробленого сырья [Скобова, Кириллова и Шитикова, 2025]. Такой подход образует потенциал для извлечения физиологически активных функциональных веществ в рабочий раствор красильной ванны для интенсификации последующего процесса крашения без применения протрав. Повышение эффективности экстракции при использовании ультразвука в основном объясняется эффектом акустической кавитации, возникающей в растворителе при прохождении ультразвуковой волны [Mahfud, 2018]. Ультразвук также оказывает механическое воздействие, способствуя более глубокому проникновению растворителя в матрицу образца, увеличивая площадь контакта между твердой и жидкой фазами и, как следствие, ускоряя диффузию растворенного вещества из твердой фазы в растворитель. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода. Измельченное растительное сырье после озвучивания экстрагировали при температуре 95 °С в течение 60 минут с последующей фильтрацией и охлаждением до температуры окружающей среды. В результате получен исходный экстракт, принимаемый за 100 % концентрацию.

Экотоксикологическая оценка красильных растворов из растительного и грибного сырья проводилась с применением стандартизированной методики согласно ИСО 6341:2012 «Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus», метод В. Исследование экотоксичности полученных растворов оценивали по серии проб с различной степенью разбавлений исходного экстракта

отстоянной в течение 2 сут. в открытых сосудах водопроводной водой.

Согласно методике для каждого вида красильного раствора подготовлены: серия из 5 опытных вариантов красильных растворов с разным шагом разбавления (таблица 1) и контрольный тест-образец – отстоянная водопроводная вода 100 см³ в емкости вместимостью 150 см³ с размещенными тест-организмами. В каждую колбу помещали 10 особей *Daphnia magna* Straus в возрасте до 24 часов. Учет смертности (иммобилизации) проводили через 24 и 48 часов экспозиции при температуре 20±1 °С.

Токсичность анализируемых проб (A , %) определяют по гибели тест-организмов для каждого заданного разбавления (концентрации) анализируемой пробы относительно контрольной пробы (матричный тест-раствор) после 48 ч тестирования и рассчитывают по формуле

$$A = \frac{X_o - X_{ан}}{X_o} \cdot 100, \quad (1)$$

где X_o – среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов (дафний) в контрольной пробе (матричный раствор), шт; $X_{ан}$ – среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов для каждого заданного разбавления (концентрации) анализируемой пробы, шт.

Если значение токсичности анализируемых проб, рассчитанное по формуле (1), составляет не более 10 %, то эффективную кратность разбавления анализируемой пробы, при которой выживаемость тест-организмов снизилась относительно контрольной пробы не более чем на 10 % за 48 ч тестирования, относят к безвредной концентрации.

Таблица 1 – Схема концентраций водных экстрактов растений и грибов

Table 1 – Scheme of concentrations of aqueous extracts of plants and mushrooms

№	Концентрация экстракта	Соотношение (экстракт : вода)	Объем экстракта (мл)	Объем воды (мл)
1	100 %	1:0	250	0
2	50 %	1:1	125	125
3	25 %	1:4	62,5	187,5
4	12,5 %	1:8	31,25	218,75
5	6,25 %	1:16	15,625	234,375
6	0 % (контрольная проба)	0:1	0	250

Результаты исследований

Оценка жизнеспособности и активности рачков проводилась после их размещения в контрольных и анализируемых средах в течении 24 ч, из которых 16 ч – световой день, 8 ч – темное время суток, и по истечении 48 ч проводили подсчет особей в каждой колбе, по три повторности в каждой серии (рисунок 1). Средние значения выживших с расчетом процента гибели представлены в таблице 2.

Анализ результатов

Анализ токсичности полученных растворов показал, что высокотоксичными для тест-организмов являются раствор луковой шелухи, причем процент разбавления не оказал никакого влияния на степень токсичности, происходит 100 % гибель всех особей даже при малых концентрациях (соотношение 1:16).

В шелухе лука содержатся биологически активные соединения, которые являются частью защитной системы растения. К ним относятся флавоноиды и фенольные соединения, например, кверцетин. Эти вещества обладают антимикробными и антиоксидантными свойствами, но для водных организмов могут быть чужеродными и токсичными. В работе (Pino-Otin et al., 2022) авторы исследования подтверждают, что такие соединения, содержащиеся в гидролате другого вида растений (*Satureja montana*), могут быть высокотоксичны для *D. magna*: например, концентрация содержащего фенола (карвакрол и тимол) в количестве менее 1 % вызвала гибель 50 % тест-организмов (LC_{50}).

Также шелуха лука содержит сульфиды и другие серосодержащие вещества, которые в растворенном виде могут воздействовать на ферментные системы и дыхание рачков.

Аналогичная ситуация с тест-организмами в водных растворах коры дуба – высокая степень токсичности во всех пробах. Такая динамика обусловлена комплексом биологически активных веществ: дубильных вещества (пирогалловая группа), соединения взаимодействуют с белками и, как показывают исследования, токсичны для водных ракообразных (Alvarez et al., 2016). Танины нарушают двигательную активность рачков, что делает их неспособными к нормальной жизнедеятельности. Фенольные и полифенольные соединения являются естественными антимикробными агентами и, попадая в воду, воздействуют на водных беспозвоночных как высокотоксичные (Mendonca et al, 2007).

Токсичность водных растворов корня лапчатки имеет высокие показатели на больших концентрациях растворов, однако при разбавлении 1:8 и более этот показатель снижается до среднетоксичного. При оценке зависимости «концентрация – эффект» установлена прямая сильная корреляционная связь между числом погибших тест-организмов и степенью разбавления (коэффициент корреляции 0,86).

Экстракт лапчатки отличается высоким содержанием полифенольных соединений – в первую очередь дубильных веществ (таннинов) и флавоноидов, а также присутствием галловой кислоты – одного из представи-

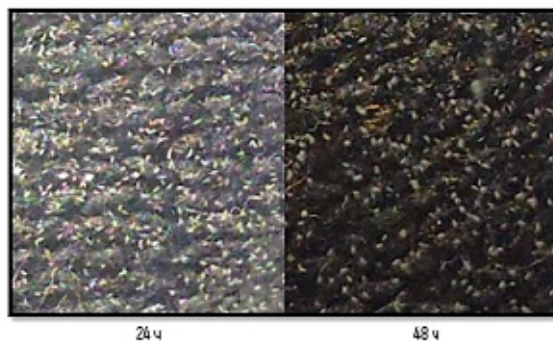


Рисунок 1 – Фотография особей *Daphnia magna* Straus в контрольной пробе
Figure 1 – Photograph of *Daphnia magna* Straus specimens in a control sample

Таблица 2 – Результаты токсикологической оценки водных красильных растворов
 Table 2 – Results of toxicological evaluation of aqueous dye solutions

Соотношение (экстракт : вода)	Среднеарифметическое значение выживших, шт, через 24/48 ч	Токсичность проб А, % через 24/48 ч
1	2	3
Контрольная проба	10/10	0
Водный раствор трутовика окаймленного		
1:0	5/4	50/60
1:1	3/7	70/30
1:4	4/9	60/20
1:8	8/9	20/20
1:16	9/9	10/20
Водный раствор луковой шелухи		
1:0	0/0	100/100
1:1	0/0	100/100
1:4	0/0	100/100
1:8	0/0	100/100
1:16	0/0	100/100
Водный раствор коры дуба		
1:0	0/0	100/100
1:1	2/0	80/100
1:4	3/3	70/70
1:8	6/4	40/60
1:16	5/3	50/70
Водный раствор соцветий бархатцев		
1:0	6/4	40/60
1:1	5/5	50/50
1:4	6/5	40/50
1:8	7/7	30/30
1:16	8/8	20/20
Водный раствор корня лапчатки		
1:0	0/0	100/100
1:1	0/0	100/100
1:4	5/4	50/60
1:8	6/6	40/40
1:16	7/6	30/40

Окончание таблицы 2 – Результаты токсикологической оценки водных красильных растворов
End of Table 2 – Results of toxicological evaluation of aqueous dye solutions

1	2	3
Водный раствор листьев яблони		
1:0	5/4	50/60
1:1	6/6	40/40
1:4	7/6	30/40
1:8	8/7	20/30
1:16	10/10	0/0

Примечание:

Степень токсичности проб оценивается по шкале приводимой в ИСО 6341:2012: нетоксичная **A** = до 10 % включительно; не обладает острой токсичностью: слаботоксичная **A** = свыше 10 до 35 % включительно, среднетоксичная **A** = свыше 35 до 50 % включительно; обладает острой токсичностью: высокотоксичная **A** = свыше 50 до 100 % включительно.

телей фенольных кислот [Скобова, Ясинская и Горохова, 2024]. Танины могут изменять физические свойства клеточных мембран, вызывать агрегацию мембранных белков и повышать адгезию мембран. Это нарушает барьерную функцию и транспорт веществ в организмах дафний. Высокие концентрации полифенолов могут взаимодействовать с ферментами, нуклеиновыми кислотами и нарушать физиологические процессы, приводя к гибели организма. Флавоноиды могут вызывать раздражение пищеварительного тракта, что приводит к отказу от питания и истощению [Vanhaecke, Persoone, Claus and Sorgeloos, 1987].

Среднетоксичными при разбавлении растворов в соотношении 1:1 и слаботоксичными при разбавлении 1:4 и более являются водные экстракты листьев яблони и соцветий бархатцев. Для водных беспозвоночных полученные растительные концентраты не являются токсичными. Похожие результаты, полученные другими авторами [Ferraz et al., 2022], подтверждают, что многие водные экстракты из листьев различных видов растений (тополь, ясень, рябина) значения LC_{50} для дафний составляли от 1770 до 10100 мг/л, что указывает на очень низкую токсичность листьев.

Наиболее интересный результат был получен при изучении поведения рачков в водном растворе трутовика окаймленного: по истечении 24 ч наблюдений отмечалось угнетение жизнедеятельности тест-организмов, особенно в концентрированных растворах (без разбавления и разбавление 1:1, 1:4), оценка среды – высокотоксичная. Однако через 48 ч исследований произошел

рост численности беспозвоночных практически до первоначального значения. В начальный период времени высокая концентрация экстрактивных веществ из трутовика оказывает токсическое воздействие. Это проявляется в виде стрессовой реакции, повреждения клеток или нарушения физиологических процессов, что и приводит к гибели части особей и падению общей численности популяции. Дафнии являются чувствительными организмами, особенно остро реагирующими на химический стресс. В ответ на стресс у выживших рачков запускаются каскады защитных реакций на молекулярном и физиологическом уровнях. Это может включать изменения в экспрессии генов, связанных с детоксикацией и иммунитетом. В результате организм становится более устойчивым к токсическому агенту [Bisschop et al., 2025]. Кроме того, содержащаяся в растворе органика в виде мелких частиц грибов, спор служит кормом для бактериопланктона, которым питаются дафнии.

Выводы

В ходе исследований установлено, что экотоксичность водных красильных растворов на основе растительного и грибного сырья существенно варьируется в зависимости от вида сырья. Наименьшую токсичность для *Daphnia magna* показали растворы на основе листьев яблони и цветков бархатцев, что обусловлено низкой концентрацией биологически активных полифенольных соединений в водной вытяжке.

Для всех исследованных образцов подтверждена прямая корреляция между концентрацией экстракта в красильном растворе и уровнем смертности тест-орга-

низмов, за исключением раствора коры дуба. Разбавление исходных красильных растворов в соотношении 1:4 и более приводило к снижению токсичности, что указывает на возможность снижения экологической нагрузки на гидробионтов путем разбавления стоков.

Впервые для водного раствора трутовика окаймленного (*Fomitopsis pinicola*) зафиксирован нелинейный характер поведения тест-организмов: падение численности дафний в первые 24 часа сменялось ростом популяции к 48-му часу. Этот эффект объясняется, с одной

стороны, адаптацией выживших особей к токсической нагрузке, а с другой – использованием грибных частиц (спор и мицелиальных фрагментов) в качестве дополнительного питательного субстрата.

Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать использование натуральных красителей в технологиях крашения при условии контроля кратности разбавления отработанных красильных ванн перед сбросом в системы водоотведения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Скобова, Н.В., Ясинская, Н.Н. и Кузнецова, А.О. [2022]. Пути повышения эффективности крашения хлопчатобумажных тканей природными красителями. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 1(42), с. 115. doi:10.24412/2079-7958-2022-1-115-124.

Скобова, Н.В., Ясинская, Н.Н. и Горохова, А.В. [2024]. Применение экстракта корня лапчатки *Potentilla erecta* в технологии крашения текстильных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 47, с. 82. doi:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92.

Скобова, Н.В., Кириллова, М.Д. и Шитикова, А.А. [2025]. Интенсификация процесса подготовки трутовика *Fomitopsis pinicola* в технологии крашения текстильных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 53, с. 89. doi:10.24412/2079-7958-2025-3-89-99.

Alvarez, M.F., Benítez, H.H., Villegas Cortés, J.C., Gabellone, N.A. and Claps, M.C. [2016]. Effect of tannins on survival and development of *Daphnia menucoensis* and the abundances of bacteria, *Chemistry and Ecology*, 32, pp. 742–755. doi:10.1080/02757540.2016.1177831.

Atav, R., Güneş, E., Çifçi, D.İ. and Güneş, Y. [2020]. Comparison of Wool Fabric Dyeing with Natural and Synthetic Dyes in View of Ecology and Treatability. *AATCC Journal of Research*, 7(6), pp. 15–22. doi:10.14504/ajr.7.6.3.

Bisschop, K., Goel, N., Coone, M., Vanoverbergh, I., Greffe, A., Asselman, J. and Decaestecker, E. [2025]. Host-microbiota matching and epigenetic modulation drive *Daphnia magna* responses to cyanobacterial stress. *The ISME Journal*, 19(1), wrf247. doi:10.1093/ismejo/wraf247.

de Farias, N.O., de Albuquerque, A.F., dos Santos, A., Almeida, G.C.F., Freeman, H.S., Räisänen, R. and Umbuzeiro, G.A. [2023]. Is natural better? An ecotoxicity study of anthraquinone dyes. *Chemosphere*, 343, 140174. doi:10.1016/j.chemosphere.2023.140174.

Ferraz, C.A., Pastorinho, M.R., Palmeira-de-Oliveira, A. and Sousa, A.C.A. [2022]. Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: A review *Environmental Pollution*, 292 (Part B), 118319. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118319> [Accessed: 22 June 2026].

Elsahida, K., Fauzi, A., Saillah, I. and Siregar, I. [2020]. Sustainable production of natural textile dyes industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472, 012036. doi:10.1088/1755-1315/472/1/012036.

Kavitha, G., Govindhan, M. and Premkumar, S. [2025]. Dye pollution and its implications for human health, aquatic ecosystems, and sustainable wastewater treatment: A comprehensive review. *Journal of Water Process Engineering*, 80, 109071. doi:10.1016/j.jwpe.2025.109071.

Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A. and Polonio, J.C. [2019]. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3, pp. 275–290. doi:10.1016/j.biori.2019.09.001.

Mahfud, M. [2018]. Natural Dye Extraction From Teak Leaves (*Tectona Grandis*) Using Ultrasound Assisted Extraction Method for Dyeing on Cotton Fabric. *MATEC Web of Conferences*, 156, 05004. doi:10.1051/mateconf/201815605004.

- Mendonça, E., Picado, A., Silva, L. and Anselmo, A.M. (2007). Ecotoxicological evaluation of cork-boiling wastewaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(3), pp. 384–390. doi:10.1016/j.ecoenv.2006.02.013.
- Pino-Otín, M.R., Navarro, J., Val, J., Roig, F., Mainar, A.M. and Ballesteros, D. (2022). Spanish Satureja montana L. hydrolate: Ecotoxicological study in soil and water non-target organisms. *Industrial Crops and Products*, 178, 114553. doi:10.1016/j.indcrop.2022.114553.
- Shams-Nateri, A. (2011). Reusing wastewater of madder natural dye for wool dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), pp. 775–781. doi:10.1016/j.jclepro.2010.12.018.
- Soni, V., Bhatt, U., Tailor, P. and Strasser, R.J. (2025). Impact of synthetic and herbal dyes on photosynthesis and ROS scavenging enzyme activities in Spirodela polyrrhiza. *Scientific Reports*, 15, 24775. doi:10.1038/s41598-025-09326-8.
- Titisiari, B. and Sinha, P. (2025). A systematic review of natural colourants and trend forecasting practices for the textile and fashion industry. *Coloration Technology*, 141(6), pp. 801–827. doi:10.1111/cote.12836.
- Tkaczyk, A., Mitrowska, K. and Posyniak, A. (2020). Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of the Total Environment*, 717, 137222. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137222.
- Vanhaecke, P., Persoone, G., Claus, C. and Sorgeloos, P. (1981). Proposal for a short-term toxicity test with Artemia nauplii. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 5(3), pp. 382–387. doi:10.1016/0147-6513(81)90012-9.

REFERENCES

- Skobova, N.V., Yasinskaya, N.N. and Kuznetsova, A.O. (2022). Ways to Improve the Efficiency of Dyeing Cotton Fabrics with Natural Dyes [Puti povysheniya jeffektivnosti krasheniya hlochatobumazhnyh tkanej prirodnymi krasiteljami]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 1(42), p. 115. doi:10.24412/2079-7958-2022-1-115-124 (In Russian).
- Skobova, N.V., Yasinskaya, N.N. and Gorokhova, A.V. (2024). Application of Potentilla Erecta Root Extract in Textile Dyeing Technology [Primenenie jekstrakta kornja lapchatki Potentilla Erecta v tehnologii krasheniya tekstil'nyh materialov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 1(47), P. 82. DOI:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92 (In Russian).
- Skobova, N.V., Kirillova, M.D. and Shitikova, A.A. (2025). Intensification of the preparation process of the Fomitopsis pinicola tinder fungus in the technology of dyeing textile materials [Intensifikacija processa podgotovki trutovika Fomitopsis pinicola v tehnologii krasheniya tekstil'nyh materialov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 3(53), p. 89. doi:10.24412/2079-7958-2025-3-89-99/ (In Russian).
- Alvarez, M.F., Benítez, H.H., Villegas Cortés, J.C., Gabellone, N.A. and Claps, M.C. (2016). Effect of tannins on survival and development of Daphnia menucoensis and the abundances of bacteria, *Chemistry and Ecology*, 32, pp. 742–755. doi:10.1080/02757540.2016.1177831.
- Atav, R., Güneş, E., Çifçi, D.İ. and Güneş, Y. (2020). Comparison of Wool Fabric Dyeing with Natural and Synthetic Dyes in View of Ecology and Treatability. *AATCC Journal of Research*, 7(6), pp. 15–22. doi:10.14504/ajr.7.6.3.
- Bisschop, K., Goel, N., Coone, M., Vanoverberghe, I., Greffe, A., Asselman, J. and Decaestecker, E. (2025). Host-microbiota matching and epigenetic modulation drive Daphnia magna responses to cyanobacterial stress. *The ISME Journal*, 19(1), wrf247. doi:10.1093/ismejo/wrf247.
- de Farias, N.O., de Albuquerque, A.F., dos Santos, A., Almeida, G.C.F., Freeman, H.S., Räisänen, R. and Umbuzeiro, G.A. (2023). Is natural better? An ecotoxicity study of anthraquinone dyes. *Chemosphere*, 343, 140174. doi:10.1016/j.chemosphere.2023.140174.
- Ferraz, C.A., Pastorinho, M.R., Palmeira-de-Oliveira, A. and Sousa, A.C.A. (2022). Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: A review *Environmental Pollution*, 292 (Part B), 118319. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118319> (Accessed: 22 June 2026).
- Elsahida, K., Fauzi, A., Saillah, I. and Siregar, I. (2020). Sustainable production of natural textile dyes industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472, 012036. doi:10.1088/1755-1315/472/1/012036.

Kavitha, G., Govindhan, M. and Premkumar, S. [2025]. Dye pollution and its implications for human health, aquatic ecosystems, and sustainable wastewater treatment: A comprehensive review. *Journal of Water Process Engineering*, 80, 109071. doi:10.1016/j.jwpe.2025.109071.

Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A. and Polonio, J.C. [2019]. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3, pp. 275–290. doi:10.1016/j.biori.2019.09.001.

Mahfud, M. [2018]. Natural Dye Extraction From Teak Leaves (*Tectona Grandis*) Using Ultrasound Assisted Extraction Method for Dyeing on Cotton Fabric. *MATEC Web of Conferences*, 156, 05004. doi:10.1051/mateconf/201815605004.

Mendonça, E., Picado, A., Silva, L. and Anselmo, A.M. [2007]. Ecotoxicological evaluation of cork-boiling wastewaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(3), pp. 384–390. doi:10.1016/j.ecoenv.2006.02.013.

Pino-Otín, M.R., Navarro, J., Val, J., Roig, F., Mainar, A.M. and Ballester, D. [2022]. Spanish Satureja montana L. hydrolate: Ecotoxicological study in soil and water non-target organisms. *Industrial Crops and Products*, 178, 114553. doi:10.1016/j.indcrop.2022.114553.

Shams-Nateri, A. [2011]. Reusing wastewater of madder natural dye for wool dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), pp. 775–781. doi:10.1016/j.jclepro.2010.12.018.

Soni, V., Bhatt, U., Tailor, P. and Strasser, R.J. [2025]. Impact of synthetic and herbal dyes on photosynthesis and ROS scavenging enzyme activities in *Spirodela polyrrhiza*. *Scientific Reports*, 15, 24775. doi:10.1038/s41598-025-09326-8.

Titari, B. and Sinha, P. [2025]. A systematic review of natural colourants and trend forecasting practices for the textile and fashion industry. *Coloration Technology*, 141(6), pp. 801–827. doi:10.1111/cote.12836.

Tkaczyk, A., Mitrowska, K. and Posyniak, A. [2020]. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of the Total Environment*, 717, 137222. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137222.

Vanhaecke, P., Persoone, G., Claus, C. and Sorgeloos, P. [1981]. Proposal for a short-term toxicity test with *Artemia nauplii*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 5(3), pp. 382–387. doi:10.1016/0147-6513(81)90012-9.

Информация об авторах

Information about the authors

Скобова Наталья Викторовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: skobova-nv@mail.ru

Кириллова Маргарита Дмитриевна

Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: margaritakirillova@gmail.com

Шитикова Анна Александровна

Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: anasitikova60@gmail.com

Natalia V. Skobova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Environmental Science and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: skobova-nv@mail.ru

Margarita D. Kirillova

Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: margaritakirillova@gmail.com

Anna A. Shitikova

Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: anasitikova60@gmail.com