



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-211-227

EDN: KEQGRD

УДК 631.879.34:676

Научная статья / Research article

Оценка ростостимулирующей активности веществ коросодержащих сточных вод деревообрабатывающих предприятий

А.Б. Дягилева¹ , С.Б. Михайлова² , А.И. Смирнова¹  

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Пожарно-спасательный колледж «Санкт-Петербургский центр подготовки спасателей»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ smirnova_nasty87@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена принципиальная возможность использования в качестве стимуляторов роста для различных культур водной вытяжки из образующейся при переработке древесины коросодержащей массы сточных вод. Предложенное технологическое решение отвечает современным требованиям повышения экологической эффективности предприятий деревообрабатывающей отрасли, способствует расширению спектра товаров, которые могут использоваться в смежных отраслях хозяйственной деятельности, в т.ч. в агропромышленном комплексе для повышения его продуктивности. Приведены исследования по испытанию экстрактивных веществ коросодержащей массы при различном ее разбавлении в качестве стимулятора роста для ряда тестовых культур (мягкая яровая пшеница Рада и кресс-салат Ажур). Особенности слоя камбия древесины заключаются в том, что он содержит в своем составе все необходимые вещества для формирования высших растений и первый подвергается разрушению под действием воды и механических сил при переработке древесины на стадии отделения коры. В связи с этой гипотезой исследовали возможности использования водной вытяжки из коры различных пород древесины в качестве стимуляторов роста. Основная цель исследования — изучение влияния на биометрические показатели выбранных тестовых культур комплекса экстрактивных веществ коры в зависимости от кратности разбавления концентрированного коросодержащего стока, полученного при переработке древесины. Установлено, что специально подготовленные водные экстракты обладают выраженными ростостимулирующими эффектами (достоверное увеличение длины корня на 35...40 %, а ростков — более чем на 42...44 %) и могут применяться в качестве стимуляторов роста при подготовке посевного материала различного назначения. Способ получения стимуляторов роста на основе коросодержащего потока защищен патентом.

© Дягилева А.Б., Михайлова С.Б., Смирнова А.И., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: стимуляторы роста, древесина, коросодержащий поток, водная экстракция коры, технология очистки воды

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: С.Б. Михайлова — сбор и обработка материалов; А.Б. Дягилева, А.И. Смирнова — анализ полученных данных, написание текста.

История статьи: поступила в редакцию 5 апреля 2022 г., принята к публикации 13 марта 2024 г.

Для цитирования: Дягилева А.Б., Михайлова С.Б., Смирнова А.И. Оценка ростостимулирующей активности веществ коросодержащих сточных вод деревообрабатывающих предприятий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 211—227. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-211-227

Evaluation of growth-stimulating activity of substances contained in bark-containing wastewater from woodworking industry

Alla B. Dyagileva¹ , Sofya B. Mikhailova² , Anastasia I. Smirnova¹  

¹St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, *Saint Petersburg, Russian Federation*

²Fire and Rescue College “St. Petersburg Rescue Training Center”, *Saint Petersburg, Russian Federation*

✉ smirnova_nasty87@mail.ru

Abstract. The possibility of using an aqueous extract of bark-containing mass of wastewater formed during wood processing as growth stimulator for various crops was considered. The proposed technological solution meets the modern requirements to improve the environmental efficiency of enterprises in woodworking industry, contributes to the expansion of the range of goods which can be used in related industries, including the agro-industrial complex to increase its productivity. Studies on testing extractive substances of bark-containing mass at various dilutions as a growth stimulant for a number of test crops (spring common wheat cv. Rada and garden cress cv. Azhur) were carried out. The cambium layer of wood contains all the necessary substances required for higher plants and is most susceptible to destruction under the influence of water and mechanical forces during wood processing at the stage of bark separation. In this regard, the possibility of using aqueous extracts from the bark of various wood species as growth stimulants was investigated. The purpose of the research was to study the effect of a complex of bark extractives on biometric parameters of the test crops depending on the dilution factor of the concentrated bark-containing wastewater from wood processing. It was established that specially prepared aqueous extracts from the bark have pronounced growth-stimulating effects (significant increase in root length by 35...40% and sprouts — by more than 42...44%) and can be used as growth stimulants in seed preparation. The method of producing growth stimulants based on bark-containing wastewater is protected by a patent.

Keywords: growth stimulants, wood, bark-containing wastewater, water extraction of bark, water treatment technology

Conflict of interests. The authors declared no conflicts of interest.

Author contributions: S.B. Mikhailova — data collection and processing; A.B. Dyagileva, A.I. Smirnova — data analyses, text writing.

Article history: Received: 5 April 2022. Accepted: 13 March 2024.

For citation: Dyagileva AB, Mikhailova SB, Smirnova AI. Evaluation of growth-stimulating activity of substances contained in bark-containing wastewater from woodworking industry. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(2):211–227. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-2-211-227

Введение

Разработка перспективных технологий, в которых отражены принципы зеленой химии, — наиболее актуальное направление в современном техносферном обществе. Реформа в области обращения с отходами, переход на цифровые технологии контроля качества окружающей среды, в т. ч. сокращения отходов производства, заставляет научное сообщество искать и предлагать технологические решения по эффективному использованию вторичных материалов для получения новых целевых продуктов на их основе. К сожалению, общая база вторичных материалов только создается, поэтому перспективные технологические решения по использованию, как правило, формируются в смежных областях знаний. С технологической точки зрения побочные продукты основного цикла являются отходами, а для других отраслей хозяйства они могут быть продуктами, ценными для повышения эффективности основного производства.

Современные требования по локализации потоков сточных вод, организации водоотведения с учетом современных экологических требований заставляют рассматривать технологию очистки воды как самостоятельное направление в получении новых продуктов целевого назначения. Наиболее привлекательным видом хозяйственной деятельности с этой позиции является водоемкое производство переработки биомассы древесины. Мы остановимся только на технологии выделения коросодержащего потока, которая является наилучшей доступной согласно информационно-технологическому справочнику (ИТС 1–2015)¹. Сегодня практически на каждом предприятии отрасли требуется высокая степень отделения коры от деловой древесины. До настоящего времени коросодержащий поток не рассматривался в технологии переработки биомассы древесины как потенциальное сырье для получения новых продуктов. Реализация этой технологии может быть отнесена к перспективным способам переработки древесины, с помощью которой возможно осуществление восстановления естественных механизмов при рекультивации почв с воссозданием плодородного слоя и продуктивности растительных сообществ.

При взаимодействии воды с древесиной на стадии ее подготовки происходит разрушение слоя камбия, который содержит в своем составе необходимые биологически активные вещества, такие как моно- и полисахариды, фрагменты лигнина, экстрактивные соединения [1], при их различном сочетании обладающие свойствами стимуляции роста растений.

Вектор развития агропромышленного комплекса, который можно отнести к смежной отрасли хозяйственной деятельности воспроизводства и переработки

¹ ИТС 1–2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. М., 2015.

древесины, ориентирован на производство органической, экологически чистой продукции². Качество сельскохозяйственной продукции как приоритетное направление развития этой отрасли должно основываться на процессном подходе и вписываться в общую концепцию национальной безопасности страны [2]. В связи с этим использование продуктов на основе воспроизводимого растительного сырья для получения регуляторов роста — актуальное направление исследований, связанное как с комплексной переработкой древесины, так и с получением новых ценных продуктов для агропромышленного сектора. Использование стимуляторов роста, полученных путем первичной переработки природного сырья в виде древесины без использования химикатов, позволит с большой степенью вероятности производить экологически чистую продукцию [3].

Позитивный опыт в использовании коросодержащих отходов в виде компостов отмечается в ряде работ [4–7] с позиции ростостимулирующего эффекта. По всей вероятности, биологически активные вещества, в т. ч. водорастворимые экстрактивные вещества коры, могут оказывать благоприятное влияние на развитие корневой системы различных культур. Однако работы, где исследовались бы возможности этих веществ, выделенных в результате промышленной переработки биомассы древесины для других отраслей промышленности, таких, как жилищно-коммунальное хозяйство, регулирование и рекультивация объектов накопления бытовых отходов, садово-парковое хозяйство, в научной литературе практически отсутствуют. Основная **цель исследования** — изучение влияния экстрактивных веществ коры, полученной при переработке древесины промышленным и лабораторным способами, в качестве нового реагента для стимуляции роста высших растений.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования для оценки ростостимулирующей активности подобрали культуры, используемые в аграрном секторе как для индивидуального, так и для промышленного применения. Использовали кресс-салат Ажур агрофирмы Аэлита и зерновую культуру — яровую мягкую пшеницу сорта Рада урожая 2017 г. Эти культуры можно отнести к стандартным лабораторным тест-объектам для оценки всхожести семенного материала, поскольку они характеризуются быстрым прорастанием³, что и позволило выполнять большое количество воспроизводимых опытов за короткий промежуток времени с получением массива результатов для статистической обработки экспериментальных данных.

В основе исследования лежит метод определения всхожести. Выбранные образцы культур обрабатывали специально подготовленными растворами на основе водных экстрактов коры, полученных в производственном процессе и лабораторных

² Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 03 августа 2018 г. № 280 ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 25 июля 2018 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 28 июля 2018 г.

³ ГОСТ Р 52325–2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. М., 2009.

условиях при различной кратности их разбавления. Для определения всхожести смеси семян отсчитывали четыре пробы по 100 семян в каждом опыте. Повтор эксперимента составлял не менее 5 серий при каждом разбавлении.

Проращивание семян осуществляли на фильтровальной бумаге (НБ) белая лента. Семена раскладывали на трех слоях увлажненной бумаги растворами исследуемых стимуляторов роста в чашках Петри. Влажность фильтровальной бумаги, которую контролировали периодически, раз в сутки, составляла 71...75 %. Опыт проводился с чередованием света и темноты в режиме светового дня для Северо-Западного региона РФ (март — май) при температуре 20 ± 2 °С. Результаты снимались на седьмые сутки.

Первая модель для обработки семян (М1) представляет собой усредненную пробу сточных вод после корьевого пресса древесно-подготовительного цеха (ДПЦ) при переработке преимущественно хвойных пород древесины. Вторую модель (М2) мы получили в лаборатории по технологии, приближенной к формированию коросодержащей сточной воды ДПЦ¹, где преимущественно использовались лиственные породы древесины. Состав полученных вод согласуется с данными исследований [8, 9].

Как известно [1], при водной экстракции древесины в раствор переходят биологически активные вещества, такие как моно- и полисахариды, фрагменты лигнина, экстрактивные соединения. Суммарную концентрацию органических веществ в полученных моделях оценивали по величинам химического потребления кислорода (ХПК) бихроматным методом, сухому и прокаленному остатку в соответствии с методиками, используемыми в практике контроля сточных вод^{4,5}. Принимали эти показатели как характеристику исходного раствора для отработки технологических решений по его использованию в качестве стимулятора роста. Для удобства сравнения результатов исследования обеих моделей показатели их качества были доведены до соизмеримых величин путем корректировки исходных проб водной вытяжки коросодержащих масс и составили по величинам ХПК и цветности 960 ± 11 мг O_2 /дм³ и 2180 ± 12 ° ПКШ соответственно. Элементный состав абсолютно сухих веществ моделей: С — 49...50 %, О — 43...44 %, Н — 6 %, N — 0,4 %, зольность — 0,6...1,2 %.

Концентрацию активных компонентов при исследовании ростостимулирующей активности модельных систем задавали в единицах кратности разбавления в диапазоне от 1 до 1000 путем регулирования исходной суммарной величины органических веществ (ХПК) в системах, где в качестве разбавляющей среды использовалась дистиллированная вода.

Результаты экспериментальных наблюдений обрабатывали с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2010. Рассчитывали средние значения длины ростка и корня, тест-объектов и оценивали стандартные отклонения и доверительные интервалы для каждой серии опытов.

⁴ ИСТ 1–2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. М., 2015.

⁵ Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 03 августа 2018 г. № 280 ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 25 июля 2018 г.: одоб. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 28 июля 2018 г.

Результаты исследования и обсуждение

Косвенным методом определяли влияние экстрактивных веществ, выделенных в технологии ДПЦ, в зависимости от кратности их разбавления на прорастание и развитие тестовых культур высших растений.

Исследование действия водной вытяжки после отжима коры показало, что процесс стимуляции семян проявляется в результате активного деления клеток при активизации их метаболизма. Установлено, что обработка семян водным раствором М1 ведет к интенсификации прорастания семян в условиях исследования лабораторной всхожести.

Обработка бумажных фильтров растворами М1 при различном его разбавлении погружным способом перед внесением в чашки Петри семян кресс-салата повысила их всхожесть (табл. 1). При выбранных условиях эксперимента она находилась в пределах 89,8...94,0 %. Превышение по отношению к контролю — 2,5...7,1 %.

Таблица 1

Влияние на всхожесть семян кресс-салата Ажур стимуляторов роста М1 в зависимости от кратности разбавления

№ серии опытов	Разбавление рабочего раствора М1	Всхожесть, %		Существенность различий t
		$M \pm m$	К контролю	
0	Контроль (разбавляющая вода)	87,6 ± 1,5	—	—
1	10 ⁻⁴	94,0 ± 0,8	+ 7,1	3,9 ≥ 3
2	10 ⁻³	93,2 ± 0,8	+ 6,8	4,2 ≥ 3
4	10 ⁻²	89,8 ± 0,5	+ 2,5	1,3 ≤ 3
5	10 ⁻¹	92,7 ± 0,3	+ 5,7	3,1 ≥ 3
6	10 ^{-0,3}	91,3 ± 0,4	+ 3,8	1,5 ≤ 3
7	10 ⁰	86,7 ± 0,6	-4,7	-2,6 ≤ 3

Table 1

Effect of M1 growth stimulants on germination of garden cress cv. Azhur depending on the dilution factor

№ of series of experiments	Dilution of the working solution M1	Germination, %		Significance of differences t
		$M \pm m$	To control	
0	Control (diluting water)	87.6 ± 1.5	—	—
1	10 ⁻⁴	94.0 ± 0.8	+7.1	3.9 ≥ 3
2	10 ⁻³	93.2 ± 0.8	+6.8	4.2 ≥ 3
4	10 ⁻²	89.8 ± 0.5	+2.5	1.3 ≤ 3
5	10 ⁻¹	92.7 ± 0.3	+5.7	3.1 ≥ 3
6	10 ^{-0,3}	91.3 ± 0.4	+3.8	1.5 ≤ 3
7	10 ⁰	86.7 ± 0.6	-4.7	-2.6 ≤ 3

Наиболее положительный эффект оказали препараты на основе воды ДПЦ модели М1 при разбавлении в 100...10000 раз. Отмечена существенность различий с контрольными показателями $t \geq 3$. При обработке семян стимулятором без разбавления наблюдается ингибирующий эффект: всхожесть ниже, чем в контроле на 4,7 %.

Дисперсионным анализом установили достоверность полученных значений (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Влияние на биометрические показатели растений кресс-салата Ажур реагента М1 в зависимости от его разбавления

Концентрация с учетом разбавления	Среднее значение, мм		Доверительный интервал, мм	
	Корень	Росток	Корень	Росток
Контроль	4,95	3,64	4,95 ± 0,61	3,64 ± 0,25
10 ⁻⁴	4,84	4,62	4,84 ± 0,36	4,62 ± 0,89
10 ⁻³	5,91	4,05	5,91 ± 1,22	4,05 ± 0,17
10 ⁻²	4,07	3,95	4,07 ± 0,48	3,95 ± 0,22
10 ⁻¹	6,06	4,42	6,06 ± 0,46	4,42 ± 0,19
10 ^{-0,3}	7,49	5,18	7,49 ± 0,53	5,18 ± 1,30
10 ⁰	5,52	3,79	5,52 ± 0,67	3,79 ± 0,30

Table 2

Effect of M1 reagent on biometric indicators of garden cress cv. Azhur depending on the dilution factor

Concentration including dilution	Average length, mm		Confidence interval, mm	
	Root	Sprout	Root	Sprout
Control	4.95	3.64	4.95 ± 0.61	3.64 ± 0.25
10 ⁻⁴	4.84	4.62	4.84 ± 0.36	4.62 ± 0.89
10 ⁻³	5.91	4.05	5.91 ± 1.22	4.05 ± 0.17
10 ⁻²	4.07	3.95	4.07 ± 0.48	3.95 ± 0.22
10 ⁻¹	6.06	4.42	6.06 ± 0.46	4.42 ± 0.19
10 ^{-0,3}	7.49	5.18	7.49 ± 0.53	5.18 ± 1.30
10 ⁰	5.52	3.79	5.52 ± 0.67	3.79 ± 0.30

Таблица 3

Прирост биометрических показателей кресс-салата Ажур при использовании растворов М1 различного разбавления

Концентрация реагента с учетом разбавления	Корень			Росток		
	Прирост, %		Достоверность	Прирост, %		Достоверность
10 ⁻⁴	97,77	-2,23	Недостоверно	126,92	+26,92	Достоверно
10 ⁻³	119,39	+19,39	Достоверно	111,26	+11,26	Достоверно
10 ⁻²	82,22	-17,78	Достоверно	108,52	+8,52	Достоверно
10 ⁻¹	122,42	+22,42	Достоверно	121,43	+21,43	Достоверно
10 ^{-0,3}	151,31	+51,31	Достоверно	142,31	+42,31	Достоверно
10 ⁰	111,51	+11,51	Достоверно	104,12	+4,12	Достоверно

Table 3

Increase in biometric indicators of 'Azhur' garden cress using M1 solutions of various dilutions

Reagent concentration including dilution	Root			Sprout		
	Increase,%	Reliability		Increase, %	Reliability	
10 ⁻⁴	97.77	-2.23	Unreliable	126.92	+26.92	Reliable
10 ⁻³	119.39	+19.39	Reliable	111.26	+11.26	Reliable
10 ⁻²	82.22	-17.78	Reliable	108.52	+8.52	Reliable
10 ⁻¹	122.42	+22.42	Reliable	121.43	+21.43	Reliable
10 ^{-0,3}	151.31	+51.31	Reliable	142.31	+42.31	Reliable
10 ⁰	111.51	+11.51	Reliable	104.12	+4.12	Reliable

Следует отметить, что в состав модельных композиций не вводили дополнительную минеральную составляющую, а использовали внутренний резерв минеральных веществ, переходящих в водную вытяжку при мокром способе обработке древесины.

На рис. 1 приведены биометрические показатели кресс-салата в сравнении с реперным опытом (контроль).

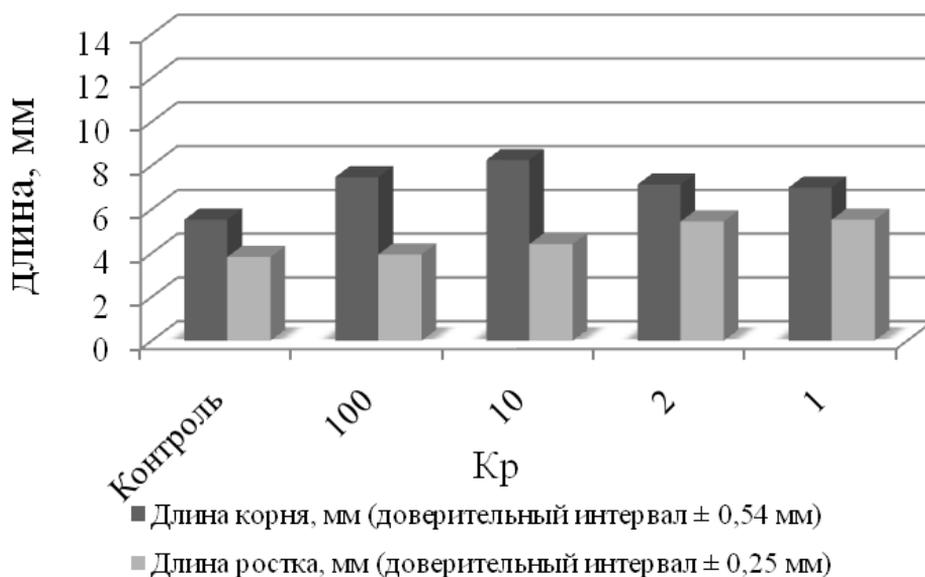


Рис. 1. Биометрические показатели кресс-салата в зависимости от кратности разбавления Кр промышленной водной вытяжки М1

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

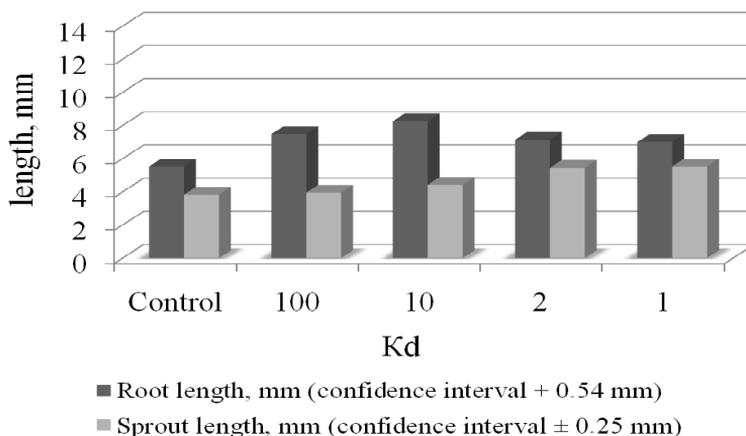


Fig. 1. Biometric indicators of garden cress depending on the dilution factor of industrial water extract M1

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Как видно из приведенных данных, при использовании специально подготовленных растворов на основе промышленной сточной воды М1 обнаруживается увеличение основных биометрических характеристик посевного материала во всех представленных случаях. Кратность разбавления в данном случае не превышала 100 раз. Наибольший эффект по увеличению длины корня отмечается при $K_p = 10$, причем длина ростка в этом случае не существенно отличается от контроля. Следует отметить, что во всех рассмотренных случаях все биометрические показатели по длине корня превышают биометрические показатели по изменению длины ростка. Общий прирост отмечается выше биометрических показателей контрольных образцов, причем развитие корня активно проявляется в диапазоне кратности разбавления до 10 раз, а развитие ростков, напротив, активно происходит при больших концентрациях органической составляющей водного раствора.

В процентном соотношении по сравнению с контрольным образцом использование выбранной модели М1 дает достоверное увеличение длины корня на 35...40 %, а ростков — более чем на 42...44 %.

Аналогичные исследования были проведены по отношению к кресс-салату (семейство крестоцветных рода клоповник *Lepidium sativum*) с использованием водной вытяжки из лиственных пород древесины М2, полученной в лабораторных условиях (табл. 4 и 5).

Таблица 4

Влияние реагента М2 на биометрические показатели кресс-салата Ажур

Концентрация реагента при разбавлении	Среднее значение, мм		Доверительный интервал, мм	
	Корень	Росток	Корень	Росток
Контроль	7,79	3,04	7,79 ± 0,587	3,04 ± 0,145
10 ⁻⁴	8,53	3,22	8,53 ± 0,459	3,22 ± 0,115
10 ⁻³	8,036	3,33	8,036 ± 0,466	3,33 ± 0,143
10 ⁻²	8,73	3,32	8,73 ± 0,526	3,32 ± 0,135
10 ⁻¹	9,33	3,052	9,33 ± 0,817	3,052 ± 0,123

Table 4

Effect of M2 reagent on biometric indicators of garden cress cv. Azhur

Reagent concentration after dilution	Average length, mm		Confidence interval, mm	
	Root	Sprout	Root	Sprout
Control	7.79	3.04	7.79 ± 0.587	3.04 ± 0.145
10 ⁻⁴	8.53	3.22	8.53 ± 0.459	3.22 ± 0.115
10 ⁻³	8.036	3.33	8.036 ± 0.466	3.33 ± 0.143
10 ⁻²	8.73	3.32	8.73 ± 0.526	3.32 ± 0.135
10 ⁻¹	9.33	3.052	9.33 ± 0.817	3.052 ± 0.123

При наличии средних значений корня и ростка, а также доверительных интервалов оценивали достоверность полученных результатов в сравнении с реперным опытом, для которого обработку фильтровальной бумаги осуществляли дистиллированной водой.

Таблица 5

Прирост биометрических показателей растений кресс-салата Ажур относительно контроля при использовании реагента М2

Концентрация реагента при разбавлении	Корень			Росток		
	Прирост, %		Достоверность	Прирост, %		Достоверность
10 ⁻⁴	109,49	+9,49	Достоверно	105,92	+5,9	Достоверно
10 ⁻³	103,15	+3,16	Недостоверно	109,5	+9,54	Достоверно
10 ⁻²	112,06	+12,06	Достоверно	109,21	+9,21	Достоверно
10 ⁻¹	119,77	+19,77	Достоверно	100,38	+0,38	Недостоверно

Table 5

Increase in biometric indicators of 'Azhur' garden cress using M2 reagent

Reagent concentration after dilution	Root			Sprout		
	Increase, %		Reliability	Increase, %		Reliability
10 ⁻⁴	109.49	+9.49	Reliable	105.92	+5.9	Reliable
10 ⁻³	103.15	+3.16	Unreliable	109.5	+9.54	Reliable
10 ⁻²	112.06	+12.06	Reliable	109.21	+9.21	Reliable
10 ⁻¹	119.77	+19.77	Reliable	100.38	+0.38	Unreliable

Статистически обработанные биометрические показатели пророщенного кресс-салата под влиянием реагентов на основе коросодежащих стоков М2 в зависимости от кратности их разбавления приведены на рис. 2.

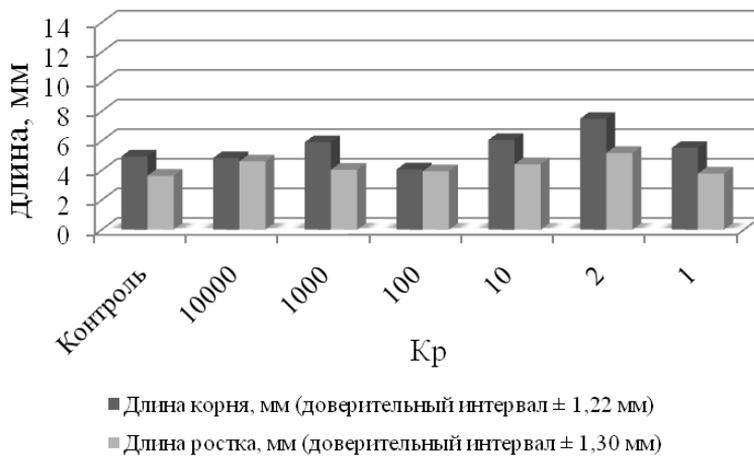


Рис. 2. Биометрические показатели кресс-салата в зависимости от кратности разбавления Кр водной вытяжки М2

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

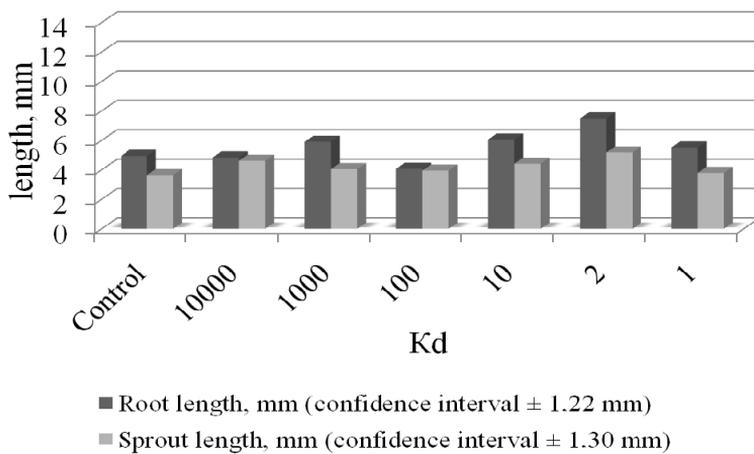


Fig. 2. Biometric indicators of garden cress depending on the dilution factor of M2 aqueous extract

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Как видно из приведенных данных, при кратностях разбавления в 2 и 1000 раз можно отметить существенные величины прироста ростка и корня по сравнению с контрольным образцом. При разбавлении в 100 раз отмечается угнетение ростостимулирующей активности. Однако при увеличении разбавления опять наблюдается переход к положительному эффекту в развитии ростков и корневой системы выбранной культуры. Изменение в механизме стимуляции ростков по сравнению с корневой системой требует дополнительного исследования этого явления и более детального анализа химического состава используемой композиции. Это позволит объяснить механизм процесса на основе трансформации самих компонентов, входящих в состав модели, и оценить их влияние на выбранную культуру. Однако это не входило в объем исследования на данном этапе.

Аналогичные исследования по оценке биометрических характеристик посевного материала проводили на образцах мягкой яровой пшеницы Рада. При выбранных условиях эксперимента всхожесть находилась в пределах 93,1...96,3 %. Превышение по отношению к контролю — 1,5...4,1 %.

Обобщенные результаты обработки экспериментальных данных этих исследований (рис. 3) свидетельствуют о ростостимулирующей активности используемого препарата на основе модели М1 в зависимости от кратности разбавления. Наибольшей стимулирующей активностью обладают композиции с кратностью разбавления в диапазоне от 2 до 10 (рис. 3). Причем при обработке посевного материала этими растворами отмечается как ростостимулирующая активность корневой системы, так и увеличение параметров ростков.

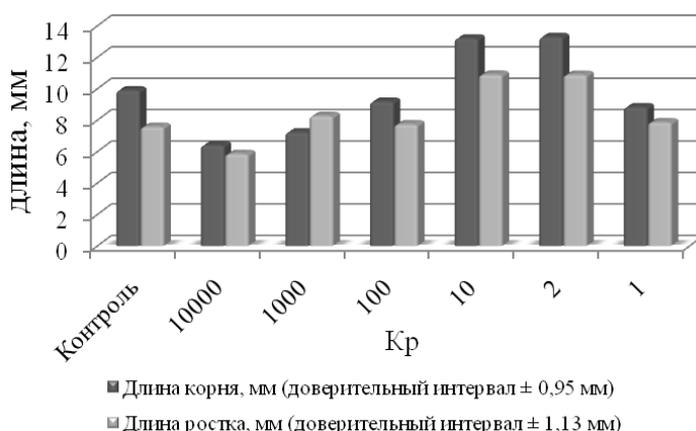


Рис. 3. Биометрические показатели пшеницы в зависимости от кратности разбавления Kp промышленной водной вытяжки М1

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

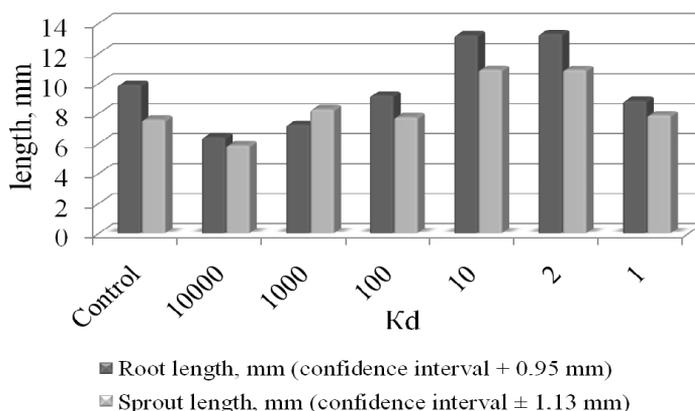


Fig. 3. Biometric indicators of wheat depending on the dilution factor of M1 industrial aqueous extract

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Как в случае с кресс-салатом, так и для образцов пшеницы кратность разбавления 100 раз является особенной. При данном разбавлении полученная композиция преимущественно инертна по отношению к выбранным образцам пшеницы или незначительно отличается от биометрических показателей контроля. Напротив, при увеличении разбавления отмечается угнетение корня, причем достаточно активное по сравнению с контрольным образцом. Росток также испытывает дефицит в питательных веществах и развивается практически как контрольный образец, а при разбавлении более 1000 раз даже отмечается его угнетение. Угнетение корня отмечается при разбавлении более чем в 100 раз. Эти данные свидетельствуют о том, что для получения композиции с выраженной ростостимулирующей активностью нет необходимости в значительном разбавлении в производственном процессе. Композиция с кратностью разбавления не более чем в 10 раз может выполнять функции стимуляторов роста.

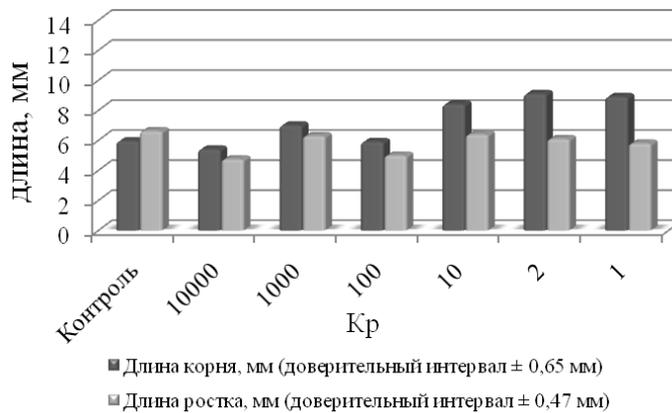


Рис. 4. Биометрические показатели пшеницы в зависимости от кратности разбавления Kp водной дисперсии M2

Источник: выполнила С.Б. Михайлова с помощью программы Microsoft Excel

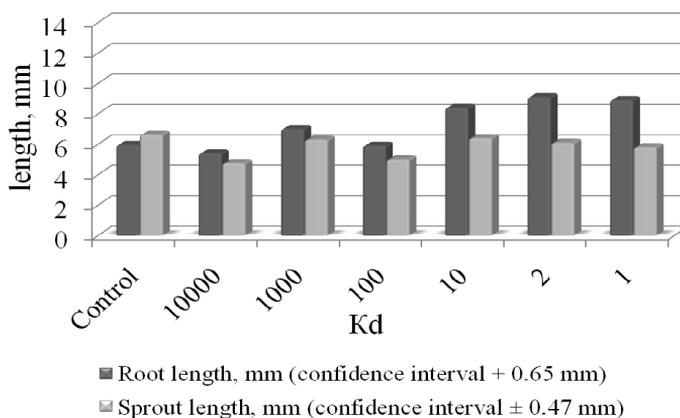


Fig. 4. Biometric indicators of wheat depending on the dilution factor of M2 aqueous dispersion

Source: created by S.B. Mikhailova using Microsoft Excel

Эффект изменения биометрических показателей пшеницы под воздействием водной дисперсии листовенных пород М2 от кратности разбавления имеет бимодальный характер как для ростка, так и для корня (рис. 4). Причем корневая система активно развивается при разбавлении до 10 раз. При дальнейшем увеличении разбавления отмечается спад ростостимулирующей активности до зоны $Kp = 100$. Или изменение биометрических показателей ростка во всем исследованном диапазоне разбавления соизмеримо с контролем, или проявляется некоторое угнетение ростостимулирующей активности по отношению к реперным пробам.

Можно предположить, что некоторые из пяти основных природных веществ, известных из [10–15]: ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен, брассиностероиды — могут содержаться в водных экстрактах композиций, используемых при исследовании. Они воздействуют на рост и развитие растений и наиболее часто используются в разные фазы вегетационного их периода. В чистом виде эти компоненты в сточных водах при переработке биомассы древесины не зафиксированы, так как анализ и контроль этих потоков осуществляется только по суммарным показателям. Однако согласно наилучшим доступным технологиям (НДТ) по ЦБП⁶, в процессе мокрой окорки древесины отделение коры от ксилемы происходит по камбию. Соответственно, вода воздействует на камбий. В результате действия пара и воды в раствор переходят биологически активные вещества, в т.ч. ауксины и, возможно, цитокинины, которые дают позитивный стимулирующий эффект развитию растений. В результате гидролиза, частичного окисления и делигнификации происходит разрушение фенилпропановых единиц, которые по своей структуре очень похожи на структурные формы известных стимуляторов роста. Учитывая склонность лигнина к процессу самоорганизации и формированию трехмерных органоминеральных структур [16–18], можно предположить, что при различном разбавлении возникают и разрушаются кластеры из экстрактивных веществ. Они могут в одних случаях, при определенном разбавлении, угнетать ростостимулирующий эффект, и, напротив, при более низком разбавлении, где нет дополнительных окислительных процессов, осуществить стимуляцию роста выбранных образцов исследуемых культур.

Можно выдвинуть предположение, что фрагменты деструкции камбия и биомассы коры, поступающие в водную вытяжку при подготовке модельной системы, являются прекурсорами образования ростостимулирующих веществ, причем их концентрация при разбавлении может существенно варьироваться. Критическая зона разбавления от 50 до 100 раз, в которой во всех исследованных системах отмечается минимальный ростостимулирующий эффект, может рассматриваться как зона разбавления с формированием ингибиторов процесса биосинтеза в семенном материале.

Таким образом, водные экстракты коры, полученные в процессе подготовки древесного сырья при определенной кратности разбавления, могут рассматриваться как новая композиция для получения стимуляторов роста, которая в одном

⁶ Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИСТ 1-2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона.

случае способствует развитию биомассы корневой системы, а в другом — ростков. В данном случае рассматривалась только композиция на основе коросодержащей водной вытяжки без добавления дополнительных компонентов, которые могут усиливать эти эффекты.

Заключение

В работе показана принципиальная возможность использования водной вытяжки из коры различных пород древесины, полученной при подготовке ее к дальнейшей переработке на предприятиях ЦБП, в качестве стимулятора роста высших растений. Подготовка водной экстракции коросодержащего потока для целевого использования может быть реализована на базе основного технологического процесса локальной очистки этих потоков с использованием биологически очищенной воды для регулирования концентрации активных компонентов. В результате исследований показана выраженная ростостимулирующая активность водных композиций на основе вытяжки из коры в диапазоне до 50 раз по отношению к различным культурам. Это может расширить спектр товарных продуктов предприятий ЦБП в виде жидкого экстракта из коры, полученного на стадии ДПЦ в качестве стимулятора роста высших растений, который можно использовать как для сельскохозяйственных культур, так и культур, применяемых при рекультивации территорий. Такой вариант реализации продукта наиболее целесообразен, так как любое его концентрирование приведет к изменению коллоидно-химических свойств конечного продукта и будет требовать дополнительных исследований и затрат на его подготовку для целевого использования.

Библиографический список

1. Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Белов Л.П. Исследование химического состава коры сосны // *Химия растительного сырья*. 2007. № 1. С. 19–24.
2. Галкин Г.Д. Механизм управления развитием производства экологически чистого продовольствия // *Вестник Челябинского государственного университета*. 2018. № 3 (413). Экономические науки. Вып. 60. С. 61–69.
3. Наими О.И., Поволоцкая Ю.С. Биологическое земледелие и экологические аспекты применения гуминовых препаратов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. Т. 3–1. С. 121–123. doi: 10.24411/2500–1000–2019–10633
4. Гаврилов Т.А., Паталайнен Л.С., Колесников Г.Н. О ресурсосберегающих технологиях экологически безопасной утилизации древесной коры // *Современные научные исследования и инновации*. 2014. № 7. С. 59–64.
5. Володин В.В., Шубаков А.А., Володина С.О., Шергина Н.Н., Васильев Р.Г. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. Т. 23. № 5. С. 611–632. doi: 10.30766/2072–9081.2022.23.5.611–632
6. Kumar A., Gautam A., Dutt D. Biotechnological transformation of lignocellulosic biomass in to industrial products // *An Overview. Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 149–168. doi: 10.4236/abb.2016.73014
7. Демидова Н.А., Мочалов Б.А., Бунтина М.Л. Использование компостов на основе древесной коры в качестве удобрения при выращивании саженцев черной смородины // *Научные ведомости. Серия естественные науки*. 2013. № 7. С. 43–49.

8. Байбородин А.М., Воронцов К.Б., Богданович Н.И. Разработка системы локальной очистки сильнозагрязненных сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий // *Вода: химия и экология*. 2011. № 8. С. 16–21.
9. Байбородин А.М., Воронцов К.Б., Богданович Н.И. Коагуляционная очистка сильнозагрязненного стока ДППЦ-3 ОАО «Архангельский ЦБК» // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2012. № 4. С. 144–150.
10. Чумикина Л.В., Арабова Л.И., Колпакова В.В., Топунов А.Ф. Фитогормоны и абиотические стрессы (обзор) // *Химия растительного сырья*. 2021. № 4. С. 5–30. doi: 10.14258/jcprm.2021049196
11. Нефедьева Е.Э., Белопухов С.Л., Верхотуров В.В., Лысак В.И. Роль фитогормонов в регуляции прорастания семян // *Известия высших учебных заведений. Прикладная химия и биотехнология*. 2013. № 1 (4). С. 61–66.
12. Барабаш И.П., Петрова Л.Н., Дрена Е.Б. Регулирование ферментных систем в растениеводстве // *Агрохимический вестник*. 2012. № 2. С. 30–31.
13. Тютерев С.Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растениеводстве // *Вестник защиты растений*. 2000. № 1. С. 11–35.
14. Gyan'ko A.K., Ischenko A.A. Cytokinin and Auxin Participation in Nodulation Process Regulation in Legumes // *Journal of stress Physiology & Biochemistry*. 2015. Vol. 11. № 2. P. 16–27.
15. Тарабанько В.Е., Ульянова О.А., Калачева Г.С. Исследование динамики содержания терпеновых соединений в компостах на основе сосновой коры и их ростостимулирующей активности // *Химия растительного сырья*. 2010. № 1. С. 121–126.
16. Карманов А.П. Самоорганизация и структурная организация лигнина. Екатеринбург, 2004. 268 с.
17. Kocheva L.S., Karmanov A.P., Mironov M.V., Belyu V.A., Polina I.N., Pokryshkin S.A. Characteristics of chemical structure of lignin biopolymer from Araucaria relict plant. Questions and answers of evolution // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 159. P. 896–903. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.150
18. Belyu V.A., Nekrasova P.S., Kaneva M.V., Karmanov A.P., Kocheva L.S., Lobov A.N., Spirikhin L.V. Comparative study of chemical and topological structure of macromolecules of. lignins of birch (*Betula verrucosa*) and apple (*Malus domestica*) wood // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 128. P. 40–48. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.095

References

1. Deyneko IP, Deyneko IV, Belov LP. Investigation of the chemical composition of pine bark. *Chemistry of plant raw material*. 2007;(1):19–24. (In Russ.).
2. Galkin GD. Innovative development production of ecologically pure food: concept, objectives, role of the state. *Bulletin of Chelyabinsk State University. Economic sciences*. 2018;(3):61–69. (In Russ.).
3. Naimi OI, Povolotskaya YS. Biological farming and ecological aspects of the humic preparations application. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;(3–1):121–123. (In Russ.). doi: 10.24411/2500–1000–2019–10633
4. Gavrilov TA, Patalaynen LS, Kolesnikov GN. About resource-saving technology of ecologically safe utilization of tree bark. *Modern scientific researches and innovations*. 2014;(7):59–64. (In Russ.).
5. Volodin VV, Shubakov AA, Volodina SO, Shergina NN, Vasilov RG. Trends in the development of methods of disposal of bark and bark-wood waste of long-term storage (review). *Agricultural science of the Euro-North-East*. 2022;23(5):611–632. (In Russ.). doi: 10.30766/2072–9081.2022.23.5.611–632
6. Kumar A, Gautam A, Dutt D. Biotechnological transformation of lignocellulosic biomass in to industrial products: an overview. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2016;7(3):149–168. doi: 10.4236/abb.2016.73014
7. Demidova NA, Mochalov BA, Buntina ML. The use of composts based on wood bark as a fertilizer for black currant seedlings cultivation. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*. 2013;(7):43–49. (In Russ.).
8. Bayborodin AM, Vorontsov KB, Bogdanovich NI. Local treatment of heavily polluted sewage waters of pulp and paper industry. *Water: chemistry and ecology*. 2011;(8):16–21. (In Russ.).
9. Bayborodin AM, Vorontsov KB, Bogdanovich NI. Coagulation treatment of heavily polluted effluents of the woodroom-3 of JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill”. *Russian Forestry Journal*. 2012;(4):144–150. (In Russ.).
10. Chumikina LV, Arabova LI, Kolpakova VV, Topunov AF. Phytohormones and abiotic stresses (review). *Khimija rastitel'nogo syr'ya*. 2021;(4):5–30. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprm.2021049196

11. Nefedeva EE, Belopukhov SL, Verkhoturov VV, Lysak VI. Role of phytohormones in regulation of seed germination. *Proceedings of universities. Applied chemistry and biotechnology*. 2013;(1):61–66. (In Russ.).
12. Barabash IP, Petrova LN, Drepa EB. Regulation of enzyme systems in plant breeding. *Agrochemical Bulletin*. 2012;(2):30–31. (In Russ.).
13. Tyuterev SL. Physiology-biochemical bases for stress resistance management in plants in adaptive agriculture. *Plant protection news*. 2000;(1):11–35. (In Russ.).
14. Glyanko AK, Ischenko AA. Cytokinin and auxin participation in nodulation process regulation in legumes. *Journal of stress Physiology & Biochemistry*. 2015;11(2):16–27.
15. Tarabanko VE, Ulyanova OA, Kalacheva GS. Research of dynamics of the content of terpene compounds in composts based on pine bark and their growth-stimulating activity. *Khimija rastitel'nogo syr'ya*. 2010;(1):121–126. (In Russ.).
16. Karmanov AP. *Samoorganizatsiya i strukturnaya organizatsiya lignina* [Self-organization and structural organization of lignin]. Yekaterinburg. 2004. (In Russ.).
17. Kocheva LS, Karmanov AP, Mironov MV, Belyy VA, Polina IN, Pokryshkin SA. Characteristics of chemical structure of lignin biopolymer from *Araucaria* relict plant. Questions and answers of evolution. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;159:896–903. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.150
18. Belyy VA, Karmanov AP, Kocheva LS, Nekrasova PS, Kaneva MV, Lobov AN, et al. Comparative study of chemical and topological structure of macromolecules of lignins of birch (*Betula verrucosa*) and apple (*Malus domestica*) wood. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019;128:40–48. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.095

Об авторах:

Дягилева Алла Борисовна — доктор химических наук, доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; e-mail: abdiag@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5983-4550 SPIN-код: 3808-0190

Михайлова Софья Борисовна — преподаватель, Пожарно-спасательный колледж «Санкт-Петербургский центр подготовки спасателей», Российская Федерация, 193315, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 52, к. 1, лит. К; e-mail: soniamihailova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7927-2081

Смирнова Анастасия Игоревна — кандидат химических наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; e-mail: smirnova_nasty87@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6429-1490 SPIN-код: 5820-0410

About the authors:

Dyagileva Alla Borisovna — Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources, Higher School of Technology and Power Engineering, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivana Chernykh st., Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: abdiag@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5983-4550 SPIN-code: 3808-0190

Mikhailova Sofya Borisovna — teacher, Fire and Rescue College “St. Petersburg Rescue Training Center”, 52/1 building K Bolshevnikov ave., Saint Petersburg, 193315, Russian Federation; e-mail: soniamihailova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7927-2081

Smirnova Anastasia Igorevna — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Physical and Colloidal Chemistry, Higher School of Technology and Power Engineering, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivana Chernykh st., Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: smirnova_nasty87@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6429-1490 SPIN-code: 5820-0410