

Защита древесины от разрушения с использованием антисептиков, получаемых из промышленных отходов (обзор)

© 2022. С. Г. Скугорева¹, к. б. н., н. с., Л. В. Трефилова², к. б. н., доцент, Л. И. Домрачева^{1, 2}, д. б. н., профессор, Г. Я. Кантор^{1, 3}, к. т. н., н. с., Т. Я. Ашихмина^{1, 3}, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,

¹Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28, ²Вятский государственный агротехнологический университет, 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133, ³Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36, e-mail: skugoreva@mail.ru

Древесина является ценным конструкционным материалом, широко применяется в жилищном и гражданском строительстве, производстве мебели и различных товаров народного потребления. Вместе с тем древесина подвержена биодеструкции под воздействием патогенных микроорганизмов (МО), что ведёт к уменьшению сроков эксплуатации изделий и сооружений из неё. В биодеструкции мёртвой древесины принимают участие МО-сапрофиты, живой – МО-паразиты. К таким МО относят некоторые виды бактерий, микро- и макромикетов. Особую группу представляют МО-оппортунисты, способные переходить от сапрофитного к паразитическому образу жизни, например, грибы р. *Fusarium*. Механизм микробиологической деструкции древесины основан на активности ферментативного аппарата и обусловлен объёмом выделяемых экзоферментов-гидролитиков. В статье приведена классификация и общая характеристика антисептиков, используемых для защиты древесины от микробиологической деструкции. Механизм действия антисептиков древесины обусловлен блокированием микробных ферментов, регулирующих жизненно важные функции клетки, связыванием функциональных групп биомолекул, денатурацией белков цитоплазматической мембраны. Среди антисептиков, способных защитить древесину от биодegradации, наибольший интерес представляют те, которые получают из промышленных отходов. В научной литературе описан опыт успешного получения мышьяк-, медь- и хромсодержащих антисептиков из отвалов мышьяксодержащих руд, отходов комбината «Уралэлектромедь», мышьяксодержащих растворов комбината «Тувакобальт», шламов газоочистки Средне-Уральского металлургического завода, из медно-мышьяковых кеков рафинирования меди. Описана технология получения антисептика из раствора хлорлигнина, из кубового остатка ректификации бензотрифторида, а также антисептиков на основе продуктов переработки нефтяного сырья, в том числе отработанного моторного масла.

Ключевые слова: древесина, микробиологическая деструкция, биодegradация, экзоферменты-гидролазы, антисептики, промышленные отходы.

Protection of wood from destruction using antiseptics obtained from industrial waste (review)

© 2022. S. G. Skugoreva¹ ORCID: 0000-0002-5902-5187

L. V. Trefilova² ORCID: 0000-0002-9932-5803, L. I. Domracheva^{1, 2} ORCID: 0000-0002-7104-3337, G. Ya. Kantor^{1, 3} ORCID: 0000-0002-6462-6702, T. Ya. Ashikhmina^{1, 3} ORCID: 0000-0003-4919-0047

¹Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982, ²Vyatka State Agrotechnological University, 133, Oktyabrskiy Prospekt, Kirov, Russia, 610017, ³Vyatka State University, 36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000, e-mail: skugoreva@mail.ru

take part in the biodegradation of dead wood, while MO-parasites take part in the biodegradation of living wood. These MOs include some types of bacteria, micro- and macromycetes. A special group is represented by MO-opportunists that are able to switch from a saprotrophic to a parasitic way of life, for example, fungi of g. *Fusarium*. The mechanism of microbiological destruction of wood is based on the activity of the enzymatic apparatus and is determined by the volume of hydrolytic exoenzymes released. The article provides a classification and general characteristics of antiseptics used to protect wood from microbiological destruction. The mechanism of action of wood antiseptics is due to the blocking of microbial enzymes that regulate the vital functions of the cell, the binding of functional groups of biomolecules, and the denaturation of cytoplasmic membrane proteins. Among the antiseptics that can protect wood from biodegradation, those that are obtained from industrial waste are of the greatest interest. The scientific literature describes the experience of successfully obtaining arsenic-, copper- and chromium-containing antiseptics from the dumps of arsenic-containing ores, waste from the JSC "Uralkhrom", arsenic-containing solutions from the Tuvakobalt plant, gas cleaning sludge from the Middle Ural metallurgical plant, from copper-arsenic cakes of copper refining. The technology for obtaining an antiseptic from a solution of chlorlignin, from the distillation residue of benzotrifluoride distillation, as well as antiseptics based on products of processing of petroleum feedstock, including used motor oil, is described.

Keywords: wood, microbiological destruction, biodegradation, hydrolytic exoenzymes, antiseptics, industrial waste.

Изделия из древесины широко используются в хозяйственной деятельности человека и в быту. При этом спектр возможных путей использования древесины постоянно расширяется. Например, в настоящее время, применяя определённые методики, получают целлюлозные наночастицы, которые в дальнейшем используются для производства филлеров, которые усиливают механические и фильтрационные свойства различных биокomпозитов [1].

Однако в период эксплуатации древесина постоянно подвергается воздействиям разнообразных факторов внешней среды, которые постепенно могут приводить к разрушению деревянных сооружений и конструкций. К таким неблагоприятным факторам относятся абиотические (вода, ветер, pH, солёность, химические соединения) и биотические (вредители, фитопатогены, сапрофиты-разрушители) [2, 3]. Поэтому поиск и испытание препаратов или альтернативных путей сохранения древесных изделий и конструкций – актуальная задача на сегодняшний день.

Цель работы – провести анализ химических методов защиты древесины от разрушения, выявить наиболее перспективные пути использования антисептиков, в частности, производимых из промышленных отходов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является обзор химических методов защиты древесины от разрушения и технологий получения антисептиков с использованием промышленных отходов. В составлении обзора по данной теме использовали литературные источники (1963–2022 гг.) из базы данных научной электронной библиотеки, включающей публикации ведущих отечественных и за-

рубежных учёных-исследователей по этой тематике. Поиск источников проводили на сайте eLIBRARY.RU, а также при помощи поисковых систем Яндекс и Google по следующим запросам: «биодеструкция древесины», «микробы-деструкторы древесины», «защита древесины», «антисептики древесины», «промышленные отходы».

Микроорганизмы – разрушители «живой» и «мёртвой» древесины

Существует большое количество микроорганизмов (МО), разрушающих полисахариды (целлюлозу, гемисахарозу, пектин). Данный процесс обусловлен способностью некоторых бактерий и грибов синтезировать экзоферменты, обладающие гидролитической активностью по отношению к полисахаридам. Известны сапрофиты, участвующие в распаде только мёртвой древесины. В частности, к их числу относятся бактерии [4], микро- и макромицеты [5, 6]. Так, среди разрушителей «мёртвой» целлюлозы выявлены плесневые грибы рр. *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*, дрожжей рр. *Candida*, *Lipomices* и бактерий р. *Pseudomonas* [7, 8]. Другая группа разрушителей – паразиты, нападающие на здоровые деревья. Это бактерии рр. *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Pseudomonas* [4], микро- и макромицеты [9, 10]. Третья группа гидролитиков – разрушителей древесины – это микробы-оппортунисты, способные переходить от сапрофитного к паразитическому образу жизни и наоборот, например, грибы р. *Fusarium* [11].

Процесс разрушения живой и мёртвой древесины стимулируется, если существуют механические повреждения на растениях или раны, обусловленные деятельностью насеко-

мых, нематод, клещей, грызунов. Особенно опасны патокомплексы нематоды-грибы. Совместное отрицательное действие подобной ассоциации на растение в 1,5–2 раза снижает репродуктивные способности растений [12].

Активизация микробов-гидролитиков ведёт к разрушению древесины. Скорость этого процесса зависит и от совокупности природных факторов [2]. Среди основных абиотических факторов, ведущих к разрушению древесины, отмечают колебания влажности и температуры воздуха, осадки, ветровые нагрузки, солнечное излучение. При этом большое значение имеют суточные, сезонные и годовые изменения этих показателей. Количество погибшей древесины порой особенно велико в лесопитомниках и может достигать 90–100% сеянцев и саженцев у хвойных [13].

Механизм микробиологической деструкции живой и мёртвой древесины базируется на активности ферментативного аппарата и обусловлен объёмом выделяемых экзоферментов-гидролаз. Микробную биодеградацию полимеров, включая древесину, принято разделять на 4 основных этапа: биодетериацию, биофрагментацию, ассимиляцию и минерализацию [14, 15]. При биодетериации происходит первичное микробное воздействие на биополимер, которое не приводит к существенным нарушениям его структуры. Но при этом свойства биополимера изменяются таким образом, что в последующем облегчается его модификация при действии внешней среды, а также микробная ферментативная фрагментация целлюлозы. На третьем этапе (ассимиляции) происходит включение фрагментов-метаболитов в микробную биомассу. И на последнем этапе происходит полное разложение.

Процесс сохранения древесины лучше останавливать непосредственно на первом этапе, чтобы не происходило коренных изменений в её структуре и свойствах. Среди многочисленных антисептиков, применяемых для этих целей, особый интерес представляют те, которые научились получать из промышленных отходов.

Антисептики: классификация, общая характеристика

Антисептики для древесины – это химические соединения, которые способны защитить древесину от биологического разрушения, вызванного фитопатогенными МО и личинками насекомых. Антисептики делятся на четыре основные группы: водорастворимые; орга-

норастворимые; маслянистые (пропиточные масла); антисептические пасты [16–21].

Группа **водорастворимых защитных средств** наиболее многочисленна, так как отличается сравнительной дешевизной. К ней относятся однородные вещества и их смеси, вводимые в древесину в виде водных растворов или наносимые на поверхность материалов в виде паст. Их недостаток – разбухание древесины, а при сушке – растрескивание, что особенно опасно для клеёной древесины. Водорастворимые антисептики делятся на вымываемые и трудновымываемые из древесины.

Фторсодержащие антисептики (фториды натрия и аммония, гексафторсиликаты натрия и аммония) высокотоксичны. Их растворы хорошо проникают в древесину, не снижая её прочности, способности к склеиванию и окрашиванию. Они не изменяют цвета древесины, не имеют запаха. Однако эти антисептики легко вымываются из древесины и вызывают коррозию чёрных металлов.

Хромсодержащие антисептики (дихроматы натрия и калия) относятся к трудновымываемым защитным средствам, которые представляют собой смеси различных водорастворимых компонентов. При введении растворов в древесину эти компоненты в результате химических реакций с веществами древесины образуют новые нерастворимые в воде соединения, которые токсичны по отношению к биоразрушителям. Механизм токсичности дихроматов основан на денатурации белков фитопатогенных МО [22]. Недостаток данных антисептиков – окрашивание древесины в серо-зелёный цвет.

Фенолсодержащие антисептики – это трудновымываемые препараты, обладающие хорошей защитной способностью, однако трудно проникающие в древесину. В низких концентрациях они блокируют дегидрогеназы, что нарушает обменные процессы в клетках, тормозит деление, рост и развитие МО. В высоких концентрациях за счёт денатурации белков увеличивается проницаемость мембран, что приводит к осмосзависимому лизису клеток и их гибели [23].

Мышьясодержащие препараты (гидроарсенаты натрия и калия, оксид мышьяка(V)) довольно широко применяются во многих странах мира. Однако в последнее время резко возросли требованиями к охране окружающей среды, которые сильно ограничивают содержание токсичных компонентов в рецептурах антисептиков. Механизм токсического действия соединений мышьяка, как и соеди-

нений тяжёлых металлов [24], связан с блокированием SH-групп ферментов, контролирующих тканевое дыхание, деление клеток, другие жизненно важные функции.

Органорастворимые антисептики включают антисептики на основе нафтената меди и пентахлорфенола. Их используют для защиты пролётных строений деревянных мостов, конструкций зданий с высокой влажностью внутри помещений.

Препараты на основе нафтената меди обладают высокой токсичностью ко всем биоразрушителям древесины. В воде такие антисептики практически не растворяются, но хорошо растворимы в маслах и многих органических растворителях (уайт-спирит, керосин). Химически инертны, устойчивы в древесине и не вызывают коррозии металлов. К недостаткам их применения относят высокую стоимость, пожароопасность, окрашивание древесины в ярко-зелёный цвет.

Антисептики на основе пентахлорфенола не изменяют электропроводности древесины и её цвета, не вызывают коррозии чёрных металлов, практически не вымываются из древесины, безопасны для человека. В качестве растворителей пентахлорфенола используют различные нефтепродукты.

Антисептические масла – это органические масла: каменноугольные полукоксовое и креозотовое, антраценовое и сланцевое. Антисептические масла негигроскопичны, не снижают механической прочности древесины, трудно вымываются из неё, не способствуют коррозии металлов. Они отлично защищают древесину в самых экстремальных условиях эксплуатации (шпалы, сваи, детали опор) на длительный срок. К их недостаткам относят: повышение горючести, окрашивание древесины в тёмно-бурый цвет, затруднение её последующей обработки, резкий запах. Масляные антисептики образуют на древесине непроницаемый для воды слой и затрудняют дальнейшее высыхание обработанных частей, в связи с чем их применяют только для обработки сухой древесины и изделий из неё. Кроме того, все антисептические масла – канцерогенные вещества, поэтому обращение с ними должно проводиться с соблюдением мер техники безопасности.

Антисептические пасты изготавливают на основе водорастворимого антисептика (фторида натрия или гексафторосиликата натрия) с добавкой связующего компонента (каменноугольный лак, битум, жидкое стекло) и наполнителя (каолин, торфяной порошок). Па-

сты используют для обработки опорных частей деревянных элементов, узловых соединений в конструкциях, где имеется опасность кратковременного периодического увлажнения.

В 1998 г. Европейским парламентом была принята директива 98/8/ЕС «О размещении на рынке биоцидных продуктов», в 2013 г. она была заменена Регламентом о биоцидных продуктах. Согласно данным документам резко ограничена область применения мышьяксодержащих средств, хром разрешён к использованию только в виде оксида хрома(III) и не может применяться в качестве самостоятельного фунгицида. Использование же других высокоэффективных консервантов – ртути, фтора, пентахлорфенола и его солей, а также антисептических масел, содержащих канцероген бенз[а]пирен, в европейских странах было приостановлено ввиду опасности, которую они представляют для окружающей среды и здоровья людей [25].

Использование промышленных отходов в создании антисептиков для защиты древесины

Одной из острейших экологических проблем современности является накопление отходов производства и потребления. Наиболее перспективное направление решения этой проблемы – использование отходов в качестве вторичного источника сырья для производства полезной продукции. При этом токсичность, которая является источником экологической опасности, может быть полезным свойством при адекватном использовании отхода.

В настоящее время в Российской Федерации ведётся работа по созданию системы обращения с промышленными отходами I–II классов опасности [26, 27], среди которых будут присутствовать такие отходы, которые могут служить перспективным сырьём для производства антисептиков (прежде всего, это отходы гальванического производства, содержащие соли меди и хрома).

Мышьяксодержащие антисептики. При переработке мышьяксодержащих руд образуются отходы, которые обычно выводятся в отвалы, поскольку потребность промышленности в As ничтожно мала и составляет 2,5% от добываемого сырья [28]. Отходы As вполне могут быть использованы для получения антисептиков с целью защиты древесины. В работе [29] впервые был рассмотрен вопрос об извлечении As из отходов цветной металлургии.

В лаборатории Центрального научно-исследовательского института механической обработки древесины в 50–60 гг. XX века разрабатывалась рецептура невымываемых антисептиков на базе соединений As, получаемых в виде отходов и побочных продуктов горно-заводской промышленности. В 1955–1961 гг. был предложен медно-хромово-мышьяковый антисептик МХМ-235 [17].

За рубежом были разработаны водорастворимые антисептики на основе соединений As(V) и Cr(VI) с небольшими добавками CuSO_4 или Cu_2O : Болиден (Швеция), Селькур (Великобритания), Оутокумпу (Финляндия), Криптогиль (Франция), Доналит (Германия), Хемонит (США), Аску (Индия), Лахонтухо (Финляндия) [30].

С середины 1970-х гг. в Уральском государственном лесотехническом институте проводились разработки антисептиков группы ССА (Cr–Cu–As) из промышленных отходов As комбината «Уралэлектромедь». Высокое содержание As в отходах и простые приёмы удаления из промывной воды примесей позволили использовать их для получения в 1989 г. препарата УЛТАН, состоящего из концентрата мышьяковой кислоты, бихроматов калия или натрия и сульфата меди. В пропитанной древесине образуются арсенаты меди и хрома, которые в нейтральной или близкой к нейтральной среде находятся в нерастворимом состоянии. Содержание антисептика УЛТАН в древесине существенно не влияет на её прочность и технологические свойства, он обладает хорошими антисептическими и отличными огнезащитными свойствами, что позволяет перевести его в разряд препаратов комплексного действия [31]. По своим свойствам антисептик УЛТАН практически не отличается от зарубежных аналогов Селькур и Оутокумпу [30]. Промышленные испытания препаратов показали, что мышьяковые антисептики обеспечивают надёжную защиту древесины и безопасны для биоты [28]. В работе [32] рассмотрены возможности использования мышьяксодержащих растворов комбината «Тувакобальт» для синтеза ряда антисептиков древесины.

В основе технологии утилизации отходов, содержащих сульфид мышьяка, авторы [33, 34] предлагают использовать реакцию окисления его перекисью водорода с получением мышьяковой кислоты: $\text{As}_2\text{S}_3 + 5\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}$.

В качестве исходного сырья использованы шламы газоочистки Средне-Уральского ме-

таллургического завода, содержащие сульфид мышьяка, которые обычно направляются на захоронение. Из 1 т шлама можно получить до 300 кг H_3AsO_4 (100%) и около 100–150 кг технической серы. Данный способ позволяет организовать производство отечественных антисептиков типа ССА с широким диапазоном составов, учитывающих особенности пропитываемых деревянных изделий и область их применения.

Разработан многоступенчатый процесс переработки, при котором из шлама хромированного арсената меди извлекается примерно 97% его компонентов. Этот процесс включает экстракцию гипохлоритом натрия для удаления и окисления Cr (более 90%) и извлечения большей части As (около 80%) с последующей экстракцией меди, оставшихся мышьяка и хрома фосфорной кислотой. Комбинированный окисленный экстракт, содержащий Cr(VI), Cu(II) и As(V), может быть повторно использован в коммерческих целях для обработки древесины. Экономия за счёт извлечения химикатов ССА и снижения затрат на захоронение превышает затраты на материалы и энергию для процесса [35].

Разработан способ получения антисептических составов типа ССА, предназначенных для защиты древесины и изделий из неё от разрушения грибами и термитами. В качестве сырья используют осадок в виде пульпы, оставшийся на дне ёмкости после пропитки древесины водными растворами хромо-медно-мышьяковыми антисептиками. Эффективность антисептика, полученного предложенным способом, аналогична эффективности антисептика УЛТАН и превосходит эффективность антисептиков Селькур и Оутокумпу [36].

Описан способ получения антисептического препарата для защиты древесины, включающий сернокислотное выщелачивание медно-мышьяковых кеков рафинирования меди при нагревании и выделении медьсодержащего продукта. Обработку медно-мышьяковых кеков серной кислотой ведут при соотношении меди к серной кислоте, равном 1 : (1,0–1,52), после фильтрации и упаривания выделяют избыток сульфата меди кристаллизацией при 5–30 °С, к маточному раствору с соотношением мышьяка к меди 1 : (0,001–0,2) добавляют соединения хрома(VI) и меди(II) до соотношения мышьяка к хрому и меди в продукте, равного 1 : (0,6–1,5) : (0,3–0,8), при этом ведут предварительное водное выщелачивание медно-мышьяковых кеков при соотношении 1 : (2–5) твёрдого к жидкому.

Технический результат – упрощение процесса, получение антисептика, который обеспечивает долговременную защиту древесины [37].

На ОАО «Уралэлектромедь» и ООО «УГМК-Холдинг» внедрена комбинированная ресурсо- и энергосберегающая, экологически безопасная технология с использованием разработанного аппарата колонного типа для переработки отработанного электролита, обеспечивающая извлечение солей меди и никеля, перевод мышьяка в мышьяковую кислоту для получения нового вида продукции – антисептика Элемсепт для обработки древесины. Разработанная технология успешно функционирует в производстве с 1999 г. (опытный участок до 100 т/год), промышленный участок до 400 т антисептика в год запущен в 2008 г. [38] и функционирует в настоящее время.

Особую группу покрытий для защиты древесины от биоповреждений могут составить мышьяксодержащие термопластичные составы, разрабатываемые совместно сотрудниками Института химии ДВО РАН, ИХХТМ СО РАН [39]. Наиболее перспективным материалом в роли биоцида оказался сульфид мышьяка.

Галогенорганические антисептики. Гидролизный лигнин – крупнотоннажный промышленный отход гидролизной промышленности. При электрохимическом хлорировании гидролизного лигнина на окисно-рутениевом титановом аноде получается хлористый лигнин с высокой реакционной способностью. В работе [40] был предложен краситель и антисептик для древесины на основе щелочного раствора хлорлигнина (8–12%). Данный раствор обладает антисептическими свойствами, благодаря наличию атомов хлора и фенольных структур, образующихся при щелочном гидролизе лигнина.

Для защиты древесины можно использовать галоидорганические отходы от производства бензотрифторида и/или хлорбензотрифторида, которые ранее уничтожались. При выделении бензотрифторида ректификацией образуется не утилизируемый кубовый остаток, содержащий бензотрифторид, дифторхлортолуол, фтордихлортолуол, бензотрихлорид и смолу. Кубовый остаток можно использовать для защиты древесины, так как он растворяется в большинстве органических растворителей и может применяться в виде раствора, что обеспечивает большую глубину проникновения в толщу древесины и облегчает процесс пропитки [41].

Антисептики на основе отходов нефтепереработки. Для пропитки древесины может быть использован нефтяной антисептик, образующийся при переработке нефтяного сырья: при пиролизе бензинового, газового сырья, в производстве каучука, отработанного дизельного топлива [42]. В работе [43] описано получение нефтяного антисептика для пропитки древесины. Для его получения предложено использовать различные дистилляторные и остаточные фракции переработки нефти, в том числе кубовый остаток и отработанное моторное масло. Предлагаемые технологии позволяют расширить сырьевую базу и улучшить технико-экономические показатели процесса за счёт вовлечения отходов производства и повышения гибкости процесса приготовления составов.

Заключение

Разрушение изделий из древесины происходит не только под действием абиотических факторов, но и, главным образом, в результате ферментативной активности грибов и бактерий, вызывающих процессы биодеструкции, которые приводят к существенным нарушениям её структуры и свойств. Поэтому основной задачей при защите древесины от биоповреждений является поиск антисептиков, блокирующих работу ферментативного аппарата микробов-деструкторов. К таким антисептикам, помимо традиционных, относят те, которые получают из промышленных отходов. В частности, наиболее широкий спектр блокаторов микробной деятельности обеспечивают антисептики на основе соединений мышьяка. В России имеется опыт успешного получения мышьяк-, медь- и хромсодержащих антисептиков из отвалов мышьяксодержащих руд, отходов комбината «Уралэлектромедь», мышьяксодержащих растворов комбината «Тувакобальт», шламов газоочистки Средне-Уральского металлургического завода, из медно-мышьяковых кеков рафинирования меди. Существенные перспективы для защиты древесины имеют антисептики на основе продуктов переработки нефтяного сырья. В гальваношламах, которые планируется перерабатывать в качестве отхода на объектах I–II классов опасности, безусловно, будут медь-, хром-, цинк-, никельсодержащие соединения, которые при соответствующей обработке и в определённом количественном соотношении могут стать сырьём для получения антисептиков по обработке древесины.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

References

1. Siqueira G., Bras J., Dufresne A. Cellulosic biocomposites: a review of preparation, properties and applications // *Polymers*. 2010. No. 2. P. 728–765. doi: 10.3390/polim2040728
2. Trutko V.V., Bozhelko I.K., Snopkov V.B. Abiotic and biological factors affecting the destruction of wood during operation // *Proceedings of BSTU*. 2015. No. 2. P. 152–157 (in Russian).
3. Stroganov V.F., Sagadeev E.V. Biodeterioration of building materials. Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2018. 61 p. (in Russian).
4. Gryazeva V.I. Forest phytopathology. Penza: Penza State Agrarian University, 2020. 203 p. (in Russian).
5. Leonovich O.K., Antonik A.Yu. Determination of the predominant cultures of wood-destroying and wood-coloring fungi, their impact on wood // *Proceedings of BSTU*. 2017. Series 1. No. 2. P. 399–304 (in Russian).
6. Shevchuk S.V. Identification of the most optimal process of rotting birch wood when used as a substrate for growing seedlings of *Japanese rhododendron* // *Nauchnyye trudy Cheboksarskogo filiala Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina RAN*. 2020. No. 15. P. 52–55 (in Russian).
7. Ogarkov B.N., Ogarkova G.G., Samusenok L.V. Mushrooms are protectors, healers and destroyers. Irkutsk: GUNTs RVH VSNTs SO RAMN, 2008. 248 p. (in Russian).
8. Pokrovskaya E.N., Poltaruha O.P. Biocorrosion of frescoes in the baptistry of the Church of St. Zosima and Savvaty of Solovetsky of the Holy Trinity St. Sergius Lavra // *Architecture and Construction*. 2022. No. 3. P. 125–131 (in Russian).
9. Arefiev S.P. Wood-destroying fungi in the reserves of the subtaiga zone of the Tyumen region // *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. 2005. No. 5. P. 28–40 (in Russian).
10. Arefiev S.P. System analysis of the biota of wood-destroying fungi. Novosibirsk: Nauka, 2010. 260 p. (in Russian).
11. Domracheva L., Trefilova A., Fokina A. Fusaria: biological control, sorption possibilities. Lap Lambert Academic Publishing, 2013. 182 p. (in Russian).
12. Romanenko N.D., Burev B.V., Kozyreva N.I., Starodubtsev V.V. Phytopathocomplexes in cenoses // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2000. No. 9. P. 27 (in Russian).
13. Vedernikov N.M. Development of infectious lodging of pine and spruce seedlings and the possibility of its forecast in nurseries // *Protection of the forest from pests and diseases: Sbornik nauchnykh trudov*. Moskva, 1986. P. 114–117 (in Russian).
14. Sharma S.R. Bioremediation of polythenes and plastics: a microbial approach // *Approaches in Bioremediation. Nanotechnology in the Life Sciences* / Eds. R. Prasad, E. Aranda. Springer Nature Switzerland., 2018. P. 97–114.
15. Plakunov V.K., Gannenes A.V., Mart'yanov S.V., Zhurina M.V. Biocorrosion of synthetic plastics: mechanisms of degradation and methods of protection // *Microbiology*. 2020. V. 89. No. 6. P. 631–645. doi: 10.31857/S0026365620060142
16. Vanin S.I. Wood science. Leningrad: Goslesbuzmizdat, 1949. 472 p. (in Russian).
17. Koperin F.I. Protection of wood from decay. Arkhangel'sk: Arkhangel'skoye knizhnoye izdatel'stvo, 1961. 191 p. (in Russian).
18. Gorshin S.N. Wood preservation. Moskva: Lennaya promyshlennost', 1977. 335 p. (in Russian).
19. Voitovich V.A., Mokeeva L.N. Biological corrosion. Moskva: Znaniye, 1980. 64 p. (New in life, science, technology. Ser. "Chemistry"; No. 10) (in Russian).
20. Stenina E.I., Levinsky Yu.B. Protection of wood and wooden structures. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2011. 223 p. (in Russian).
21. Stroganov V.F., Boychuk V.A., Sagadeev E.V. Biodamage of wood materials and structures // *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2014. No. 2 (28). P. 185–193 (in Russian).
22. Baizoldanov T. Toxicological chemistry: textbook. Almaty: Evero, 2021. 252 p. (in Russian).
23. Antiseptics of the nitrofur and phenol group (Resorcinol, nitrofur, phenol) [Internet resource] <https://infopedia.su/18xac37.html> (Accessed: 12.09.2022) (in Russian).
24. Skugoreva S.G., Ashihmina T.Ya., Fokina A.I., Lyalina E.I. Chemical groups of toxic effect of heavy metals (review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2016. No. 1. P. 4–13 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-014-019
25. Mazanik N.V. Modern bioprotective agents for wood // *Proceedings of BSTU*. 2011. No. 2. P. 181–184 (in Russian).
26. Korolkov M.V., Mazhuga A.G. Fundamentals of the state policy of the Russian Federation on the creation new branch of industrial waste processing // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 4. P. 6–12 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-006-012
27. Petrova A.S. New conditions for handling wastes of I–II classes. Prospects for business and government // *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. No. 4. P. 203–209 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-203-209
28. Moldurushku M.O. The arsenic-containing production waste issue // *Natural resources, environment and society*. 2020. No. 2 (6). P. 76–78 (in Russian). doi: 10.24411/2658-4441-2020-10019

29. Akhmetov K.T., Kubyshev N.N., Dashkov K.S. On the associated extraction of arsenic from metallurgical waste // *Tsvetnye metally*. 1963. No. 2. P. 42–45 (in Russian).
30. Frolova T.I. Wood preserving efficiency by antiseptics ULTAN, Selkur C and Outokumpu // *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal). 2005. No. 3. P. 102–106 (in Russian).
31. Belenkov D.A., Levinsky Yu.B., Stenina E.I. Study of the properties of wood impregnated with the antiseptic ULTAN // *Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: Proceedings of the International Eurasian Symposium* / Ed. I.T. Glebov. Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering University, 2006. P. 49–52 (in Russian).
32. Isaev I.D., Gidalevich A.V., Statsenko I.V., Matveev V.D., Troyanova V.G., Suprunov V.P., Pashkov G.L., Mironov V.E. Production of arsenates on the basis of the plant “Tuvakobalt” // *Prospects for the development of low-tonnage chemistry: Abstracts of the reports of the regional conference of Siberia and the Far East*. Krasnoyarsk, 1989. P. 17 (in Russian).
33. Vasilyev V.G., Zhuravlyov V.D., Vladimirova E.V. Arsenic acid synthesis technique development from copper waste production // *EcoInform*. 2009 [Internet resource] <https://waste.ua/eco/2009/industrial-waste/arsenic/> (Accessed: 12.09.2022) (in Russian).
34. Zhuravlev V.D., Belenkov D.A., Vasiliev V.G. A method for obtaining an antiseptic of the chromium-copper-arsenic type for wood impregnation // Patent RU 2278782. Application: 11.02.2004. Date of publication: 27.06.2006 (in Russian).
35. Kazi F.K., Cooper P.A. Rapid-extraction oxidation process to recover and reuse copper chromium and arsenic from industrial wood preservative sludge // *Waste Manag.* 2002. V. 22. No. 3. P. 293–301. doi: 10.1016/s0956-053x(01)00023-x
36. Belenkov D.A., Kanarsky D.I., Frolova T.I. Method for obtaining an antiseptic for wood impregnation // Patent RU 2409465. IPC B27K3/28. Application: 2009109330/05, 13.03.2009. Date of publication: 20.01.2011 (in Russian).
37. Plekhanov K.A., Mosyagin S.A., Ivonin V.P., Kaplun R.Ya., Romanova V.V. Method for obtaining an antiseptic preparation for wood protection // Patent RU 2 148 493 C1. Application: 99105189/04, 12.03.1999. Date of publication: 10.05.2000 (in Russian).
38. Romanova V.V. Utilization of arsenic from spent copper-containing electrolyte: abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Yekaterinburg, 2013. 24 p. (in Russian).
39. Kopylov N.I., Kaplin Yu.M., Litvinov V.P., Kaminskiy Yu.D. Large-tonnage use of arsenic in the production of antifouling coatings // *Khimicheskaya Tekhnologiya*. 2006. No. 9. P. 43–46 (in Russian).
40. Mikhalko I.K. Utilization of multi-tonnage lignin waste in order to obtain a dye with antiseptic properties for wood grain // *Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian Regions: Sbornik statey XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Penza: Penza State Agrarian University, 2020. P. 74–78 (in Russian).
41. Afanas'eva M.M., Berdichevskaya K.M., Reznichenko A.F., Center A.P. Antiseptic for wood // Patent SU 1057281A1. IPC B27K3/50. Application: 18.01.1982. Publication: 30.11.1983 (in Russian).
42. Lvov A.V., Trushkov A.V., Semenov D.G. Oil antiseptic for wood impregnation // Patent RU 2006129706A. Application: 2006129706/04, 08.08.2006. Date of publication: 20.02.2008. Bull. No. 23 (in Russian).
43. Dolmatov L.V., Khasan E.B., Aznabaev S.T. The use of waste oils as a component of oil antiseptic // *Oil refining – 2008: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ufa: Institute of Petrochemical Processing of the Republic of Bashkortostan, 2008. P. 96–97 (in Russian).