

Irina A. Latyshevich, Alena I. Hapankova, Nikolay G. Kozlov,
Tatiana A. Hliavitskaya

Латышевич И.А., Гапанькова Е.И., Козлов Н.Г., Глевицкая
Т.А.

BIOCIDE ADDITIVES (REVIEW)

Institute of Physical-Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus
irinalatyshevitch@gmail.com

БИОЦИДНЫЕ ДОБАВКИ (ОБЗОР)

Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
irinalatyshevitch@gmail.com

In the modern world, the problem of studying the biodamage of various materials and structures is extremely relevant, because these processes progress actively every year. Biocorrosion is caused by various living organisms - from bacteria and fungi to plants and animals. However, microorganisms cause the main damage. The degree of their destructive impact is determined by physical, chemical, biological and other factors. The damage is most intense at high humidity, relatively high temperatures, and an abundance of dust and organic pollutants. Under favorable conditions for the development of microorganisms, destructive processes begin with their transfer to the surface of products, adsorption, formation and growth of microcolonies due to the proliferation of hyphae and spores, accompanied by the release of metabolic products, their accumulation and corrosive effects. Considering the significant damage caused by biological destruction to various materials, the threat to human health and life, there is a major problem of finding ways to increase their biological resistance and durability. One of the options for preventing the negative impact of microorganisms on various materials is the use of biocidal additives. Despite the large volume of scientific research and publications on the topic in question, this problem remains unresolved until now. The paper shows the results of research in the development and application of biocidal additives for various materials over the past five years by analyzing scientific, technical and patent information.

Key words: biocide, fungicide, microorganisms, biodamage.

В современном мире проблема исследования биоповреждения различных материалов и конструкций является исключительно актуальной, т.к. данные процессы активно прогрессируют с каждым годом. Биокоррозию вызывают различные живые организмы – от бактерий и грибов до растений и животных. Однако основной вред наносят именно микроорганизмы. Степень их разрушительного воздействия определяется физическими, химическими, биологическими и другими факторами. Поражение наиболее интенсивно идет при повышенной влажности, относительно высоких температурах, обилии пыли и загрязнений органической природы. При благоприятных для развития микроорганизмов условиях разрушительные процессы начинаются с переноса их на поверхность изделий, адсорбции, образования и роста микроколоний за счет разрастания гифов и спор, сопровождающегося выделением продуктов метаболизма, их накоплением и коррозионным воздействием. Учитывая значительный ущерб, наносимый биологическими разрушениями различным материалам, угрозу здоровью и жизни людей, налицо важнейшая проблема изыскания путей повышения их биологического сопротивления и долговечности. Одним из вариантов предотвращения негативного воздействия микроорганизмов на различные материалы является использование биоцидных добавок. Несмотря на большой объем научных исследований и публикаций по данной теме, эта проблема до сих пор остается до конца не решенной. В настоящей работе показаны результаты исследований в области разработки и применения биоцидных добавок для различных материалов за последние пять лет путем анализа научно-технической и патентной литературы.

Ключевые слова: биоцид, фунгицид, микроорганизмы, биоповреждение

Дата поступления – 20 марта 2024 года
Дата принятия – 1 апреля 2024 года

DOI 10.36807/1998-9849-2024-69-95-59-68

Введение

Проблема повреждения материалов микроорганизмами (биоповреждение) в современном мире актуальна для различных отраслей промышленности. Она охватывает широкий круг фундаментальных и прикладных задач, связанных с защитой от воздействия бактерий и грибов, как в условиях длительного хранения, так и в процессе производства, транспортировки и эксплуатации.

Биоповреждение приводит к снижению экономической ценности товаров и, как следствие, к изменению сроков эксплуатации изделий, что напрямую зависит от свойств, состояния и особенностей использования материала, агрессивности микроорганизмов и продолжительности их воздействия, а также условий взаимодействия в системе материал – микроорганизм.

Для борьбы с различными типами бактерий, грибами и другими микроорганизмами используют универсальные реагенты – биоциды, основным компонентом которых являются соединения, способные подавлять жизнеспособность микроорганизмов или препятствовать их размножению, чтобы не допустить деградацию свойств как внутри материала, так и на его поверхности.

В настоящее время на рынке Беларуси преобладают традиционные хлорсодержащие антисептические средства (хлорамин, гипохлорит и др.), нафтенат меди, препараты, содержащие α -пирен, а также фенольные препараты, которым характерен ряд существенных недостатков: высокая токсичность, относительно невысокая активность в отношении большинства патогенных микроорганизмов и грибов. Кроме того, их рабочие растворы малостабильны, коррозионноактивны, имеют выраженный запах, раздражают кожу и слизистые оболочки, повреждают защищаемые материалы.

В современных реалиях на мировом рынке остро востребованы биоциды нового поколения – препараты, относящиеся к «зеленой» науке, создание которых является актуальной задачей современности.

Несмотря на большой объем научных исследований и публикаций по данной теме, эта проблема до сих пор остается до конца не решенной.

В настоящей работе нами показаны результаты исследований в области разработки и применения биоцидных добавок для различных материалов за последние пять лет путем анализа научно-технической и патентной информации.

Биоциды для защиты полимеров

Проблема биоповреждения (биодеструкция) полимерных материалов является одной из важнейших проблем современного материаловедения. Наиболее агрессивными биодеструкторами являются бактерии и грибы. На их долю приходится более 40% всех биоповреждений. Ущерб, вызываемый микроорганизмами, исчисляется десятками миллиардов долларов ежегодно [1]. Создание полимерных материалов (полиолефинов, полиэтилена, полипропилена, эпоксидных смол, лакокрасочных материалов и др.), обладающих биоцидной активностью, является одной из основных задач в области переработки полимеров.

Коллектив ученых под руководством Лысова А.А. [2] активно работал над созданием отвердителей на основе низкомолекулярного полиамида ПО-300 в смеси растворителей и целевых добавок. Они позволяют улучшить грибоустойчивость получаемых антикоррозионных полимерных покрытий на основе эпоксидных смол для специальной защиты оборудования, металлических и бетонных поверхностей и конструкций, резины, пластмассы и композиционных материалов, эксплуатирующихся в условиях воздействия биоповреждающих агентов внешней среды.

Авторами [1] предложен биоцид, представляющий собой внутриклеточное соединение трис(2-гидроксиэтил)амин, а именно трис(2-гидроксиэтил)аммониевую соль коричной, салициловой или бензойной кислоты. Данные соединения могут быть использованы в составе защитных покрытий, в частности для защиты материалов от биоповреждения. Введение разработанного биоцида в количестве 3,0 мас. % в рецептуру органосилоксанового покрытия на основе полиметилфенилсилоксановой смолы повышает его биостойкость и увеличивает срок службы. Также следует отметить, что данные соединения являются экологически безопасными.

Шуклиной Н.Н. и Кабановой Л.В. [3] разработана полимерная биоразлагаемая упаковка путем введения антимикробных добавок, таких как цинк пиритион, хелатные соединения цинка, в количестве 2,0 мас. % в полиэтилен методом экструзии. Установлено, что применение модифицированных пленок предотвращает порчу пищевых продуктов, подавляя развитие патогенных микроорганизмов, и увеличивает их срок хранения в 2 и более раза.

С целью получения противообрастающих покрытий для гидротехнического оборудования, морских и речных судов, авторами [4] синтезирована модифицированная смола на основе оловоорганического галогенида, в качестве которого использован дибромид дибутилолова, и промышленная эпоксидная смола марки ЭД-16. Показано, что разработанные эпоксидные композиты отличаются повышенной стойкостью к развитию грибов и плесени, а также лучшей огнестойкостью.

Решение проблемы противообрастающих покрытий для плавучих средств, гидротехнических сооружений и нефтегазопроводов продолжил коллектив авторов под руководством Сухановой Т.Е. [5]. На основе промышленных лакокрасочных материалов (эмаль ХС-720 – сополимер винилхлорида и винилацетата; эмаль ХС-436 – сополимер виниловой и эпоксидной смол), содержащие в качестве биоцида иод- и бромсодержащие соединения (нитроксинил – 3-иод-4-гидрокси-5-нитробензонитрил; и оксинил – 3,5-дйод-4-гидроксибензонитрил; 2,5-дибром-4-нитрофенол). Установлено, что наибольшую биоактивность проявляют композиции на основе эмалей и нитроксинила в концентрации от 1 до 5 мас. %, при этом не наблюдалось снижения прочностных характеристик покрытия.

Разработку активных упаковочных материалов с биоцидными свойствами активно осуществляли сотрудники Белорусского национального технического университета с привлечением ученых Национальной академии

наук Беларуси [6]. Ими был сделан упор на получение биоцидов нового поколения на основе растительного возобновляемого сырья. Упаковочные пленки, изготовленные на их основе, обладают высокой фунгицидной активностью и могут быть использованы для упаковки медицинских материалов.

Миролюбова Т.В. [7] предложила вводить квазикристаллы металлов (Al-Cu-Fe, Al-Cu-Fe-B), обладающих антимикробными свойствами, в полимерные композиционные материалы с помощью мастербатчей – гранулированных суперконцентратов активного агента или смесей компонентов, заключенных в полимерную матрицу (линейный полиэтилен низкой плотности).

Авторами [8] подробно изучена актуальная научно-техническая литература в области биоцидов, применение которых возможно в качестве защиты полимерных материалов от биодеструкции при эксплуатации изделий авиационной техники. Рассмотрены общие понятия биоцидов, их характеристики, механизмы действия, сферы применения. Приведены примеры комплексных реагентов для предотвращения роста бактерий, перечислены химические вещества, усиливающие основное действие биоцидов.

Коллективом авторов [9] синтезирован органорастворимый биоцид (1-додецилпиридиния додецилбензолсульфонат) для промышленных алкидных красок (ПП-115), который при введении в количестве 8-16 мас. % предотвращает обрастание судов в пресных водоемах.

Авторами [10-12] проведены научные исследования в области применения эфирных масел в качестве биоцидных агентов в полимерных материалах для пищевой промышленности (упаковочные материалы). Установлено, что они обладают широким спектром действия против бактерий и грибов, однако отмечена их низкая устойчивость во времени.

Биоциды для защиты металлических поверхностей

Биоповреждение металлов происходит различными путями: за счет непосредственного воздействия продуктов метаболизма микроорганизмов на металл; через образование органических продуктов, которые могут действовать как деполаризаторы или катализаторы коррозионных реакций; за счет коррозионных реакций, отдельной частью которых являются процессы метаболического цикла микроорганизмов.

В основе биокоррозионного действия находятся ферментативные процессы. Биологическая коррозия в зависимости от вида микроорганизмов делится на бактериальную и микологическую, а также может быть смешанной. Колонии микроорганизмов рода *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma* могут создавать на поверхности металлов наросты и пленки мицелия или слизи, под которыми может развиваться коррозия в результате разности электрических потенциалов на различных участках поверхности металла и ассимиляции ионов металлов самими микроорганизмами [13].

В современном мире защита от коррозии металлических конструкций и оборудования является одной из важнейших научно-технических и экономических задач. Ежегодно коррозия наносит огромный ущерб промышленности. В промышленно развитых странах убытки за год от коррозии составляют в среднем около 3-5% от внутреннего валового продукта. А потери металла достигают 20%. Ущерб от коррозии складывается не только из стоимости материалов, но и из затрат на изготовление пришедших в негодность конструкций, оборудования, различных изделий. Подводя итоги вышесказанному, можно сделать неутешительный вывод, что коррозия оборудования – процесс неизбежный. Однако человек, вооруженный знанием механизма коррозии, может затормозить его таким образом, чтобы обеспечить сохранение

работоспособности трубопроводов в течение достаточно длительного времени [14].

Авторами [15] установлено, что введение формальдегида в концентрации 10-20 мг/л в воду, нагнетаемую в скважины нефтяных месторождений, приводит к значительному снижению биокоррозии. Для защиты наружной поверхности, по мнению авторов, битумные покрытия необходимо заменить на эпоксидно-каменноугольные. Это позволит значительно снизить воздействие сульфатредуцирующих бактерий.

Коллективом авторов [16] изучена биоцидная активность производных фенотиазина и бензотриазола в отношении культивированной накопительной культуры *Desulfovibrio*. Установлено, что данные соединения являются перспективными биоцидами, и их использование в количестве 5,0 ммоль/л позволит снизить скорость биокоррозии стали в 30 раз по сравнению с контрольной пробой.

Авторами [17] доказана биоцидная эффективность катионных ПАВ против тионовых и сульфатредуцирующих бактерий.

Коллективом авторов [18] подробно описаны биоцидные свойства по отношению к металлическим поверхностям таких природных соединений как бетулиновая и таниновая кислоты, хитозан, флавоноиды и др.

Авторами [19] установлено, что использование d-лимонена, получаемого из кожуры цитрусовых, усиливает биоцидную активность тетракси(гидрокси)метил фосфоний сульфата. 100 мас. частей d-лимонена эффективно снижают количество гетеротрофных и кислотообразующих бактерий в сравнении с чистым тетракси(гидрокси)метил фосфоний сульфатом.

Коллективом авторов [20] проведено комплексное определение токсикологических характеристик четырех бактерицидов (биопаг, глутаровый альдегид, катамин АБ, формальдегид) по их влиянию на сульфатредуцирующие бактерии и эукариотические организмы. Наиболее эффективным бактерицидом является катамин АБ. Несмотря на меньшую активность проявляют глутаровый альдегид и формальдегид. У биопага отмечена минимальная бактерицидная активность. Также установлено, что катамин АБ обладает наибольшей фитотоксичностью. Глутаровый альдегид и формальдегид проявляют сопоставимую фитотоксичность, но несколько меньшую, чем катамин АБ. Биопаг также угнетает развитие *Triticum aestivum L.* и *Pisum sativum L.* Только катамин АБ обладает высокой токсичностью как для прокариотических, так и для эукариотических организмов. По совокупности представленных данных глутаровый альдегид, катамин АБ и формальдегид можно рекомендовать для создания композиций, препятствующих биокоррозии оборудования в нефтедобывающей промышленности.

Авторами [21, 22] установлено, что использование пептида А, синтетического циклического пептида, имитирующего природный со способностью диспергировать биопленку, усиливает биоцидную активность тетракси(гидрокси)метил фосфоний сульфата и обладает нулевой токсичностью по отношению к живым организмам.

Коллективом автором [23] создано гибридное эпоксидно-биоцидное покрытие на основе силана с антибактериальными соединениями на углеродистых сталях и доказана его биоцидная активность. Определены оптимальные концентрации биоцидов и разработан надежный протокол приготовления покрытия на основе эпоксидной смолы, пропитанной тремя биоцидами – хлоридом бензалкония, бронополом и изотиазолином.

Защита строительных материалов от биокоррозии

Проблема биологического повреждения различных строительных материалов является весьма многогранной и охватывает все виды промышленности, в том числе и

строительную отрасль. Своевременная защита бетонных и железобетонных объектов от биообращения позволит значительно сократить экономический ущерб от последствий коррозионных разрушений, повысить надежность конструкций, эксплуатирующихся в условиях повышенной влажности, снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций. Продление срока эксплуатации конструкций на 5 лет дает возможность экономии порядка 20 млрд. руб. ежегодно. Несмотря на обилие способов защиты от обрастания, до сих пор радикальных методов борьбы не существует [24].

Цементные композиты – самые применяемые строительные материалы. Со временем их значимость в строительном производстве не уменьшается, а напротив растет. С целью повышения их сопротивления воздействию агрессивных сред используют различные активные добавки [25], в частности, диатомит и маршалит, которые улучшают прочностные характеристики.

В работе [26] авторами доказано, что добавки на основе соединений гуанидина значительно повышают биологическую стойкость гипсовых, цементных, гипсоцементно-пуццолановых, стеклощелочных и полимерных строительных композиционных материалов. Исследован механизм взаимодействия биоцида с мембранами микроорганизмов, показано, что эффективность процесса определяется наличием на поверхности клеток отрицательных, а в биоциде – положительно заряженных групп.

Авторами [27] изучены покрытия для строительных материалов с целью защиты от биоповреждения. Согласно данной работе воздействие микроорганизмов можно предотвратить путем нанесения на поверхность краски на основе акриловой смолы со специальными полимерными добавками. Еще одним способом является нанесение на поверхность мастики на масляной битумной основе, при этом покрытие подвергается микробиологической деградации и тем самым изолирует защищаемый материал. Следует отметить, что с течением времени снижение адгезионных характеристик, эластичности и прочности приводит к разрушению защитного покрытия. Эпоксидные полимерные покрытия обладают биоцидными свойствами и являются универсальным способом защиты строительных материалов.

Авторами в работах подробно описаны активные неорганические [27-30] и органические [31] добавки, обладающие биоцидными свойствами, для материалов на основе портландцементного клинкера, который занимает одну из ведущих позиций в строительной индустрии.

Коллективом авторов [32] предложен способ переработки отходов гальванического производства, который состоит из ряда последовательных операций: смешение гальванического шлама с добавками, содержащими хлор-ионы; механохимическая активация полученной смеси путем измельчения в шаровой мельнице сухого помола с последующей термической обработкой; выщелачивание полученного спека сточной водой собственного гальванического производства; отделение раствора от осадка фильтрацией; извлечение металлов из полученного раствора методом электрофлотации. Полученный металлический порошок возможно использовать в производстве пигментов и строительных материалов в качестве биоцидной добавки.

Авторы в работе [33] подробно характеризуют современное состояние исследований в области защиты бетонных и железобетонных конструкций от биоповреждений, предлагают основные принципы и методические подходы к решению данной задачи с учетом мирового опыта, обсуждают требования к защитным составам (биоцидам), которые могут быть рекомендованы для применения на гидротехнических сооружениях с учетом экологической безопасности. В числе наиболее важных характеристик для биоцидов выделяют следующие: широкий спектр действия, проникающий эффект, продолжительность биоцидного действия, а также слабая ток-

сичность в отношении человека и объектов природной среды. Особое внимание уделено проблеме подавления роста микробных биопленок, которые покрывают значительные площади бетонных конструкций.

Особую актуальность приобретает создание новых материалов, устойчивых к биокоррозионным процессам, что позволит не только увеличивать безаварийный срок службы зданий и сооружений, находящихся под воздействием биологических деструкторов, но и обеспечит безопасность среды обитания человека. Авторами [34] разработан биогбридный композиционный материал, состоящий из магнитного носителя с иммобилизованными микроорганизмами, обеспечивающий целенаправленный трансфер к донным отложениям за счет высокой объемной массы и интенсификацию процессов биодеградации органических отложений в условиях минимальных концентраций кислорода в водной среде или нефтезагрязненных группах при воздействии магнитного поля носителя.

Коллективом авторов [35] разработана методика синтеза производных фурана из пентозансодержащей фракции нейтральных лигносульфонатов, которые могут быть использованы для получения целого ряда биоактивных препаратов, фунгицидов и пестицидов, так как практически все производные тетрагидрофуранов обладают антимикробными свойствами.

Защита древесины от биоповреждений

Использование изделий из древесины насчитывает несколько тысячелетий. Древесина незаменима при строительстве жилых и производственных зданий, изготовлении мебели, плавающих конструкций, спортивного инвентаря, детских игрушек и т.д. Однако по-прежнему человечество сталкивается с проблемой порчи деревянных изделий из-за совокупности действующих на неё абиотических и биотических факторов: влажности, кислотности среды, солевых и температурных воздействий, микробов-деструкторов и т.п. Проблема биоповреждения древесины, которая уже не является растущим деревом, а включена в производство, связана с тем, что целлюлоза – прекрасный органический субстрат, пища для различных групп микроорганизмов, в первую очередь, грибов. Воздействие микроорганизмов провоцирует появление различных разноцветных пятен, покрытие поверхности плесенью, что приводит к снижению прочности древесины [36]. Микробные популяции в биоматериале могут быть очень разнообразными, что зависит от факторов внешней среды, возраста древесины, условий хранения, температуры, влажности, состава эпифитов живого дерева и т. д. Поэтому необходима разработка комплекса мероприятий, основанных как на изучении механизма воздействия на древесину её разрушителей, так и на подборе биопрепаратов и соединений, способных остановить активность разрушителей древесины.

Среди защитных биоцидов в последние годы активное распространение получили препараты, синтезируемые из промышленных отходов различных производств [37].

Авторами в работе [38] описано, что долговечность древесины увеличена путем ее модифицирования фенолформальдегидным олигомером с пластифицирующими добавками в 5 раз, при этом увеличились прочностные показатели в 2 раза, такие как прочность при сжатии поперек волокон и прочность при статическом изгибе.

Авторами статей [39-46] проведено обширное исследование о применении биоцидов в защите древесины от действия микроорганизмов-деструкторов. Установлено, что важную роль в защите древесины от деструкции играют такие микробы-антагонисты, как цианобактерии, бациллы и микромицеты *p. Trichoderma*. Их антагонистическая активность против микробов-биоразрушителей связана с синтезом летучих и нелетучих антибиотиков,

липопротеидов и ферментов-гидролаз, разрушающих те или иные компоненты клеток микробов-деструкторов или нарушающих процессы их метаболизма. Многие природные соединения растительного (эфирные масла, танины, экстрактивные вещества древесины) и животного происхождения (прополис, хитозан) обладают большим потенциалом в биозащите древесины от биоповреждений благодаря своему уникальному природному составу, который приводит к нарушению жизнедеятельности микробов-деструкторов. Преимуществами природных соединений перед синтетическими биоцидами является их возобновляемость, рентабельность получения из отходов, нетоксичность и безвредность для окружающей среды. Недостатки, ограничивающие использование природных биоцидов: высокая гетерогенность в зависимости от источника, из которого они получены, лёгкое выщелачивание, неравномерная активность против отдельных видов грибов, высокая восприимчивость к биоразложению. Некоторые из этих недостатков можно преодолеть, сочетая органические биоциды с другими консервантами древесины. Наряду с химическими методами защиты древесины от биоповреждений целесообразно использовать и биологические методы, которые хотя и уступают по эффективности первым, однако не оказывают вредного воздействия на окружающую среду. Особенно эффективным может оказаться совместное использование синтетических и природных антисептиков.

В статьях [47-49] описываются проблемы, ограничивающие область применения древесины, а также причины, их вызывающие. Опираясь на то, что главным методом борьбы с гниением природного материала является пропитка, повышающая биостойкость древесины, рассматриваются альтернативные используемым композиции, отличающиеся высокой экологичностью, малой токсичностью, доступностью исходных компонентов, более низкой себестоимостью, а также позволяющие заменить импортные аналоги. Республика Беларусь и страны ЕАЭС богаты запасами терпеноидного сырья, на основе которого авторы предлагают создание биоцидных составов с доказанной биологической активностью. Составы на основе масел обеспечивают защиту древесины не только от воздействия биофакторов, но и непосредственно от воды, которая разрушает сама и одновременно является средой для благоприятного развития вредоносных микроорганизмов. Приводятся новые рецептуры биоцидов, где в качестве активных компонентов используются соли органических кислот металлов, сосновое масло с добавлением абиетиновой кислоты, амид дегидроабиетиновой кислоты, модифицированная малеиновой ангидридом канифоль, амид канифоли. Все эти вещества являются продуктами переработки живицы сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.). В данных работах выполнен анализ рассмотренных разработок и предложен обобщенный групповой состав биоцидной композиции.

Грибы ксилофаги способны процветать внутри древесины, поскольку они производят ферменты, которые могут разлагать ее и наносить значительный ущерб, а также нарушают целостность и долговечность древесины. Коллективом авторов в работе [50] установлено, что древесные экстракты *Cedrela fissilis* в концентрации 1-5 г/л являются перспективными природными биоцидами против ксилофаговых грибов для изделий из древесины.

Защита нефтепродуктов и смазочно-охлаждающих жидкостей от биоповреждений

Среди всех видов биоповреждений наибольшую опасность представляют микробиологические повреждения углеводородного топлива и различных видов нефтепродуктов, среди которых масла, смазки, смазочно-охлаждающие жидкости и др. Развиваться за счет

производных нефти способны бактерии, мицелиальные грибы (микромикеты), дрожжи, но наибольшую опасность представляют именно микромикеты. Развитие грибов в углеводородном топливе и других нефтепродуктах может приводить к поломке техники и даже аварийным ситуациям, поскольку грибы быстро наращивают биомассу, мешающую нормальной эксплуатации техники. Кроме того, микромикеты выделяют в окружающую среду различные агрессивные вещества – метаболиты, которые могут разрушать поверхность неметаллических материалов, усиливать коррозию металлических деталей, нарушать герметичность баков, что затем также приводит к негативным последствиям [51].

Авторами в работе [52] установлено, что трегалола является перспективным усилителем зеленого биоцида – тетракси(гидроксиметил)фосфоний сульфата, который останавливает биоповреждение нефти в процессе ее добычи.

В своих работах [53-55] Бабаев Э.Р. подробно описывает, играющие важную роль в нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности, биоцидные добавки, позволяющие остановить микробиологическое воздействие на нефтепродукты, такие как нефть, топливо, масла.

В работе [56] рассмотрено использование фурановых производных, полученных из продуктов переработки растительного пентозансодержащего сырья в ценные химические соединения, и экспериментально доказано, что разработанные реагенты подавляют бактериальную деструкцию в процессе добычи нефти.

Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) представляет собой тип охлаждающей жидкости и смазки, специально разработанный для процессов металлообработки, таких как механическая обработка и штамповка. Смазывающие свойства СОЖ способствуют снижению температуры разогрева инструмента во время обработки до приемлемого уровня за счет теплообмена и большего образования пара. Применение СОЖ играет важную роль в повышении интенсивности технологических процессов, производительности оборудования и получении качественных изделий [57].

В работах [58, 59] установлено, что неорганический комплекс имидазолина, синтезированного на основе норборненкарбонной кислоты и диэтилентриамина при концентрации 0,5% обладает ярко выраженной биоцидной активностью и может быть использован на практике в качестве фунгицидной присадки к СОЖ.

Биоцидные добавки для легкой промышленности

Введение антимикробных добавок в различные материалы не только предохраняет их от воздействия микроорганизмов в критических условиях эксплуатации, но и дает возможность придавать товарам антимикробные свойства, например, устойчивость к воздействию болезнетворных организмов. Существуют различные способы создания текстильных материалов с биоцидными свойствами с применением антибактериальных препаратов: введение антибактериальных препаратов в полимеробразующее вещество; придание антимикробных свойств текстильным материалам на заключительных стадиях крашения и отделки; применение биоцидных веществ при стирке или чистке текстильных полотен и изделий.

Работа [60] посвящена изучению целесообразности использования биоцидов ИСД1 и ИСД2 на основе четвертичных аммонийных соединений для консервирования кожевенного сырья с уменьшением количества хлорида натрия в 2 раза, а также поиск наиболее оптимального и технологичного варианта консервирования.

Авторами в работе [61] доказано, что нетканый материал, пропитанный салициловой кислотой и сульфатом меди, обладает выраженной противогрибковой

активностью в отношении исследуемых *A. brasiliensis* ATCC16404, *C. albicans* ATCC 2091 и *C. albicans* ATCC 10231 тест-штаммов. Также испытания на токсическое и кожнораздражающее действия нетканого материала, обработанного салициловой кислотой и сульфатом меди, показали его безопасность для здоровья человека. Таким образом, предлагаемый нетканый материал с биоцидными свойствами можно использовать в строительстве в качестве утеплительных материалов.

Коллективом авторов в проведенном исследовании [62] изложены результаты, которые свидетельствуют об интенсифицирующем воздействии четвертичных аммониевых солей с длинными углеводородными радикалами на процесс крашения натуральных растительных волокон и вискозы активными красителями и сохранении прочностных характеристик волокон при одновременном придании этим волокнам бактерицидных свойств.

Заключение

Таким образом, нами в работе отображены результаты исследований в области разработки и применения биоцидных добавок для различных материалов, таких как полимеры, металлы, строительные материалы, древесина, нефтепродукты и др., за последние пять лет путем анализа научно-технической и патентной литературы.

Литература

1. Пат. 2741653 Рос. Федерация. № 2020120623; Кондратенко Ю.А., Кочина Т.А., Власов Д.Ю. Экологически безопасный биоцид для защиты биостойких органосиликатных покрытий: заявл. 16.06.2020; опубл. 28.01.2021. Б.И. 2021. № 4.
2. Пат. 2718680 Рос. Федерация. № 2019130406; Лысов А.А., Мещеряков Ю.Я., Карпов В.А., Ковальчук Ю.Л., Комарова К.А. Отвердитель для грибостойких эпоксидных покрытий: заявл. 26.09.2019; опубл. 13.04.2020. Б.И. 2020. № 11.
3. Шуклина Н.Н., Кабанова Л.В. Антимикробная биоразлагаемая упаковка для увеличения сроков сохранения продуктов питания // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 38. С. 309-314. DOI <https://doi.org/10/21323/2618-9771-2021-4-3S-309-314>
4. Кочергин Ю.С., Золотарева В.В. Свойства композитов на основе эпоксидной смолы, модифицированной оловоорганическим галогенидом // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. № 1(153). С. 63-72.
5. Суханова Т.Е., Косовский А.И., Вылегжанина М.Э., Белов Ю.П., Лебедев Н.В. Наноструктурированные композиции на основе полимерных лакокрасочных материалов и экологически безопасных биоцидов // Журн. техн. физики. 2022. Т.92, вып. 7. С. 913-923. DOI 10.21883/JTF.2022.07.52644.10-22
6. Кузьмич В.В., Карпунин В.И., Карпунин И.И., Козлов Н.Г. Применение активных упаковочных материалов с бактерицидными свойствами // Евразийский научный журнал. 2022. № 2. С. 55-65.
7. Миролюбова Т.В., Бенеманская Е.А., Редина Л.В., Неяглов О.С. Антимикробные свойства мастербатчей на основе полиолефинов и квазикристаллов // Всерос. науч. конф. молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологии в промышленности (Интекс-2023)». Сб. мат.-лов. Москва; 17-20 апреля, 2023 г. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. С. 53-58.
8. Кравченко Н.Г., Щекин В.К., Лаптев А.Б., Кривушина А.А. Биоциды. Примеры, механизмы действия и применения // Труды ВИАМ. 2023. № 7(125). С. 125-137. DOI 10.18577/2307-6046-2023-0-7-125-137
9. Rogalsky S., Moshynets O., Dzhuzha O. et al. Preparation and characterization of new antifouling coating based on alkyd paint modified with hydrophobic

cationic biocide // *Journal of Coatings Technology and Research*. 2024. V. 21, No. 1. Pp. 1-15. DOI 10.1007/s11998-023-00862-8

10. *Fernandes S., Gomes I., Simoes M., Simoes L.* Novel chemical-based approaches for biofilm cleaning and disinfection // *Current Opinion in Food Science*. 2024. Vol. 55. Pp. 1-14.

11. *Shi C., Ma Y., Tian L., Li J., Qiao G., Liu C., Cao W., Liang C.* Verbascoside: an efficient and safe natural antibacterial adjuvant for preventing bacterial contamination of fresh meat // *Molecules*. 2022. No. 27. Article No. 4943.

12. *Purwasena I.A., Astuti D.I., Taufik I., Putri F.Z.* The potential of clove essential oil microemulsion as an alternative biocide against *Pseudomonas aeruginosa* biofilm // *J Pure Appl Microbiol*. 2020. No. 14. Pp. 261-269.

13. *Медведева Н. А., Баландина С.Ю., Бортник А.Г., Плотникова М.Д., Лисовенко Н.Ю.* О возможности влияния микромицетов на коррозионное поведение углеродистой стали // *Вестник Пермского университета. Серия: Химия*. 2020. Т. 10. №. 1. С. 84-93. DOI 10.17072/2223-1838-2020-1-84-93

14. *Сторожева М.Е., Денисова Я.В.* Биокоррозия подземных сооружений: основные причины и защита конструкций // *Ученые записки СахГУ*. 2020. №. 15-16. С. 109-113.

15. *Поварова Л.В., Мунтян В.С., Скиба А.С.* Коррозия трубопроводов и нефтегазового оборудования // *Булатовские чтения*. 2020. Т. 4. С. 130-135.

16. *Грибанькова А.А., Фарутина С.А., Евтуховская О.А., Агиевич М.А.* Влияние производных феноксиамина и бензотриазола на микробиологическую коррозию стали // *Наука и бизнес: пути развития*. 2020. №. 4. С. 10-12.

17. *Шишокин М.В., Грибанькова А.А.* Биологическая коррозия металлических конструкций и способы ее подавления // *Форум молодых исследователей, посвященный 125-летию со дня рождения лауреата Нобелевской премии академика Н.Н. Семенова «ХимБиоSeasons»*. Сб. тез. Калининград; 23 апреля, 2021 г. Калининград: БФУ, 2021. С. 27-28.

18. *Pawłowska A., Stepczyńska M.* Natural biocidal compounds of plant origin as biodegradable materials modifiers // *Journal of Polymers and the Environment*. 2022. Vol. 30. No. 5. Pp. 1683-1708. DOI 10.1007/s10924-021-02315-y

19. *Unsal T., Wang D., Kijikla P., Kumseranee S., Punpruk S., Mohamed M. E., Saleh M.A., Gu T.* Food-grade D-limonene enhanced a green biocide in the mitigation of carbon steel biocorrosion by a mixed-culture biofilm consortium // *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2022. Vol. 45. No. 4. Pp. 669-678.

20. *Дегтярева И.А., Давлетбаев А.М., Миникаев Д.Т.* Перспективные бактерициды для предотвращения биокоррозии нефтепромыслового оборудования // *Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология*. 2022. №. 1. С. 121-134. DOI 10.15593/2224-9400/2022.1.09

21. *Xu L., Kijikla P., Kumseranee S., Punpruk S., Gu T.* Electrochemical Assessment of Mitigation of Desulfovibrio ferrophilus IS5 Corrosion against N80 Carbon Steel and 26Cr3Mo Steel Using a Green Biocide Enhanced by a Nature-Mimicking Biofilm-Dispersing Peptide // *Antibiotics*. 2023. Vol. 12. No. 7. Pp. 1194. DOI 10.3390/antibiotics12071194

22. *Li Z., Yang J., Lu S., Dou W., Gu, T.* Mitigation of Desulfovibrio ferrophilus IS5 degradation of X80 carbon steel mechanical properties using a green biocide // *Biodegradation*. 2024. Pp. 1-11. DOI 10.1007/s10532-023-10063-0

23. *Balakrishnan A., Govindaraj S., Dhaipule N.G.K., Thirumalaisamy N., Anne R.S., Sublime N., Philip J.* Enhancing microbiologically influenced corrosion protection of carbon steels with silanized epoxy-biocide hybrid

coatings // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Pp. 1-25. DOI 10.1007/s11356-024-32014-9

24. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А., Гоглев И.Н.* Исследование стойкости цементного камня к биокоррозии. Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2019 году: сб. науч. тр. РААСН. М.: Издательство АСВ, 2020. Т. 2. С. 472-476.

25. *Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Федорцов В.А.* Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками // *Строительство и реконструкция*. 2020. №. 2. С. 51-60. DOI 10.33979/2073-7416-2020-88-2-51-60

26. *Светлов Д.А., Ерофеева И.В., Долганов А.В.* Новое поколение биостойких композиционных материалов на основе соединений гуанидина с механизмом действия на наноразмерном уровне // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2020. №. 3. С. 44-51.

27. *Чуриков А.С., Охрименко С.А., Курбоналиев А.А.* Покрытия для защиты строительных материалов от биокоррозии // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию РАН*. Сб. науч. тр. Белгород; 18-20 мая, 2022 г. Белгород: БГТУ, 2022. С. 728-731.

28. *Sharafutdinov K.B., Saraykina K.A., Kashevarova G.G., Erofeev V.T.* The Use of Copper Nanomodified Calcium Carbonate as a Bactericidal Additive for Concrete // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022. No. 18(2). Pp. 143-155. DOI 10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-155

29. *Mohsen A., Ramadan M., Gharieb M., Yahya A., Soltan A., Hazem M.M.* Rheological Behaviour, Mechanical Performance, and Anti-fungal Activity of OPC-granite Waste Composite Modified with Zinc Oxide Dust // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol 341 (2). Article No. 130877. DOI 10.1016/j.jclepro.2022.130877.

30. *Klapiszewska I., Parus A., Ławniczak L., Jesionowski T., Klapiszewski L., Ślosarczyk A.* Production of Antibacterial Cement Composites Containing ZnO/Lignin and ZnO-SiO₂/Lignin Hybrid Admixtures // *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 124. Article No. 104250. DOI 10.1016/j.cemconcomp.2021.104250.

31. *Strokova V.V., Le Saoutb G., Nelubova V.V., Ogurtsova Y.N.* Composition and Properties of Cement System with Glutaraldehyde // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. 103(3). Article No. 10307. DOI: 10.34910/MCE.103.7.

32. *Сапронова Ж.А., Святченко А.В., Ладюк В.В.* Способ переработки гальванических шламов для получения биоцидных добавок в строительные материалы // *Всерос. науч. конф. «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования»*. Сб. докл. Белгород; 4-8 октября, 2022 г. Белгород: БГТУ, 2022. С. 728-731.

33. *Царовцева И.М., Власов Д.Ю., Майорова М.А., Беляева И.Д.* Современные подходы к защите гидротехнических сооружений от биообрастаний // *Гидротехническое строительство*. 2023. №. 2. С. 19-23. DOI 10.34831/EP.2023.32.64.003

34. *Балахонов А.В., Миннев В.И., Ладюк В.В., Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К.* Разработка способа получения биоцидного композитного покрытия из отходов производства // *Междунар. науч. конф. «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология»*. Сб. докл. Алушта-Белгород; 5-9 июня, 2023 г. Белгород: БГТУ, 2023. С. 182-188.

35. *Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Колчина Г.Ю., Мовсумзаде Э.М., Тивас Н.С.* Синтез и свойства производных фурана из пентозансодержащей фракции

- нейтральных лигносульфонатов // Известия вузов. Серия Химия и химическая технология. 2024. № 67(3). С. 94-102. DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6908
36. Куницкая О.А. Биотехнологический способ защиты древесины от грибных поражений // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 4(3). С. 440-444. DOI 10.12737/6197
37. Молдурушку М.О. Проблема отходов мышьяксодержащих производств // Природные ресурсы, среда и общество. 2020. № 2(6). С. 76-78. DOI 10.24411/2658-4441-2020-10019
38. Шведов В.Н., Крутасов Б.В., Машкин Н.А. Долговечность модифицированной древесины в конструкциях вентиляторных градирен и очистных сооружений // Известия вузов. Строительство. 2020. № 3. С. 126-134. DOI 10.32683/0536-1052-2020-735-3-126-134
39. EL-Hefny M., Salem M.Z.M., Behiry S.I., Aii H.M. The potential antibacterial and antifungal activities of wood treated with Withania somnifera fruit extract, and the phenolic, caffeine, and flavonoid composition of the extract according to HPLC // Processes. 2020. Vol. 8. No. 1. Article No. 113. DOI 10.3390/pr8010113
40. Yildiz Ü.C., Kiliç C., Gürgen A., Yildiz S. Possibility of using lichen and mistletoe extracts as potential natural wood preservative // Maderas-Cienc. Tecnol. 2020. Vol. 22. No. 2. Pp. 179-188. DOI 10.4067/S0718-221X2020005000204
41. Barbero-López A., Monzó-Beltrán J., Virjamo V., Akkanen J., Naapala A. Revalorization of coffee silverskin as a potential feedstock for antifungal chemicals in wood preservation // Int. Biodeter. Biodegr. 2020. Vol. 152. Article No. 105011. DOI 10.1016/j.ibiod.2020.105011
42. Füchtner S., Brock-Nannestad T., Smeds A., Fredriksson M., Pilgård A., Thygesen L.G. Hydrophobic and hydrophilic extractives in norway spruce and kurile larch and their role in brown-rot degradation // Front. Plant Sci. 2020. Vol. 11. Article No. 855. DOI 10.3389/fpls.2020.00855
43. Broda M. Natural compounds for wood protection against fungi – a review // Molecules. 2020. Vol. 25. No. 15. Article No. 3538. DOI 10.3390/molecules25153538.
44. Скугорева С.Г., Трефилова Л.В., Домрачева Л.И., Кантор Г.Я., Ашихмина Т.Я. Защита древесины от разрушения с использованием антисептиков, получаемых из промышленных отходов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 6-13. DOI 10.25750/1995-4301-2022-4-006-013
45. Скугорева С.Г., Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Стариков П.А., Ашихмина Т.Я. Биозащита древесины от микробных повреждений (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 6-15. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-1-006-015
46. Скугорева С.Г. Вещества растительного происхождения в защите древесины от действия микроорганизмов-деструкторов // XVIII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием «Экология родного края: проблемы и пути их решения». Мат-лы конф. Киров; 24-25 апреля, 2023 г. Киров: ВятГУ. 2023. Книга 2. С. 298-302.
47. Клюев А.Ю., Прокопчук Н.Р., Мазало Н.А. Биоцидные составы на основе производных канифоли (сообщение 1) // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 2 (271). С. 50-56. DOI 10.52065/2520-2669-2023-271-2-7
48. Клюев А.Ю., Прокопчук Н.Р., Мазало Н.А. Биоцидные составы на основе производных канифоли (сообщение 2) // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 5-11. DOI 10.52065/2520-2669-2024-277-1
49. Клюев А.Ю., Прокопчук Н.Р., Мазало Н.А., Николайчик И.В. Биоцидные составы на основе скипидара и его производных (сообщение 3) // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 12-20. DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-2
50. Vovchuk C.S., González Garelló T., Careaga V.P., Fazio A.T. Promising Antifungal Activity of Cedrela fissilis Wood Extractives as Natural Biocides against Xylophagous Fungi for Wood Artwork of Cultural Heritage // Coatings. 2024. No. 14(2). Article No. 237. DOI 10.3390/coatings14020237
51. Кривушина А.А., Бобырева Т.В., Николаев Е.В., Славин А.В. Механизмы микробиологической деструкции углеводородного топлива и других нефтепродуктов микромицетами (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 3 (60). С. 66-71. DOI 10.18577/2071-9140-2020-0-3-66-71
52. Wang D., Ivanova S.A., Hahn R., Gu T. Evaluation of trehalase as an enhancer for a green biocide in the mitigation of Desulfovibrio vulgaris biocorrosion of carbon steel // Bioprocess and Biosystems Engineering. 2022. Vol. 45. No. 4. Pp. 659-667.
53. Бабаев Э.Р. Биоцидные добавки к топливам и маслам // НефтеГазоХимия. 2022. № 4. С. 25-30. DOI 10.24412/2310-8266-2022-4-25-30
54. Бабаев Э.Р. Биоцидные присадки к топливам и маслам // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2022. Вып. 4. С. 12-23. DOI 10.24412/2071-6176-2022-4-12-23
55. Бабаев Э.Р. Биоцидные добавки против сульфатредуцирующих бактерий // Башкирский химический журнал. 2023. Т. 30. № 1. С. 13-22. DOI 10.17122/bcj-2023-1-13-22
56. Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Колчина Г.Ю., Мовсумзаде Э.М., Тивас Н.С. Синтез и свойства производных фурана из пентозансодержащей фракции нейтральных лигносульфонатов // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2024. Т. 67. № 3. С. 94-102. DOI 10.6060/ivkkt.20246703.6908
57. Kapoor R., Selvaraju S.B., Subramanian V., Yadav, J.S. Microbial Community Establishment, Succession, and Temporal Dynamics in an Industrial Semi-Synthetic Metalworking Fluid Operation: A 50-Week Real-Time Tracking // Microorganisms. 2024. Vol. 12. No. 2. P. 267. DOI 10.3390/microorganisms12020267/
58. Бабаева В.Г. Имидазолиновые комплексы в качестве биоцидной добавки к смазочно-охлаждающим жидкостям // Вестник КНИИ РАН. Серия «Естественные и технические науки». 2022. № 3(11). С. 109-115.
59. Бабаева В.Г. Применение имидазолиновых комплексов в качестве фунгицидов для смазочно-охлаждающих жидкостей // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2022. Вып. 4. С. 3-11. DOI 10.24412/2071-6176-2022-4-3-11
60. Васильева А.Ю., Гордиенко И.М. Применение биоцидов ИСД1 И ИСД2 при консервировании кожевенного сырья // Новые технологии и материалы легкой промышленности. 2020. С. 279-283.
61. Ертас А.М., Буркитбай А., Ниязбеков Б.Ж., Таусарова Б.Р. Придание биоцидных свойств утеплительным материалам из льняных волокон // Вестник Алматинского технологического университета. 2021. № 2. С. 32-37. DOI 10.48184/2304-568X-2021-2-32-37
62. Михайловская А.П., Калугина М.С., Гришук А.С. О влиянии солей тетраалкиламмония на процесс крашения и биоцидные свойства натуральных волокон и вискозы. // Междунар. научно-практ. конф. «Наука в современном мире: актуальные тенденции и инновации». Сб. науч. тр. Москва; 31 марта, 2022 г. М.: ИП Туголуков А.В., 2022. С. 202-204.

References

1. Pat. 2741653 Ros. Federacija. № 2020120623; *Kondratenko Ju.A., Kochina T.A., Vlasov D.Ju.* Jekologicheski bezopasnyj biocid dlja zashhity biostojkih organosilikatnyh pokrytij: zajavl. 16.06.2020; opubl. 28.01.2021. B.I. 2021. № 4.
2. Pat. 2718680 Ros. Federacija. № 2019130406; *Lysov A.A., Meshherjakov Ju.Ja., Karpov V.A., Koval'chuk Ju.L., Komarova K.A.* Otverditel' dlja gribostojkih jepoksidnyh pokrytij: zajavl. 26.09.2019; opubl. 13.04.2020. B.I. 2020. № 11.
3. *Shuklina N.N., Kabanova L.V.* Antimikrobnaja biorazlagaemaja upakovka dlja uvelichenija srokov sohraneniya produktov pitaniya. Pishhevye sistemy. 2021. Vol. 4. N. 38. Pp. 309-314. DOI 10/21323/2618-9771-2021-4-3S-309-314
4. *Kochergin Ju.S., Zolotareva V.V.* Svoystva kompozitov na osnove jepoksidnoj smoly, modificirovannoj olovoorganicheskim galogenidom Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. 2022. N. 1(153). Pp. 63-72.
5. *Suhanova T.E., Kosovskij A.I., Vylegzhantina M.Je., Belov Ju.P., Lebedev N.V.* Nanostructured Compositions Based on Polymeric Paintwork Materials and Environmentally Safe Biocides. Technical Physics. 2022. Vol. 92, vyp. 7. Pp. 771-780.
6. *Kuz'mich V.V., Karpunin V.I., Karpunin I.I., Kozlov N.G.* Primenenie aktivnyh upakovochnyh materialov s baktericidnymi svojstvami. Evrazijskij nauchnyj zhurnal. 2022. N. 2. Pp. 55-65.
7. *Miroljubova T.V., Benemanskaja E.A., Redina L.V., Nejavlov O.S.* Antimikrobnnye svojstva masterbatchej na osnove poliolefinov i kvazikristallov. Vseros. nauch. konf. molodyh issledovatelej s mezhdunarodnym uchastiem «Innovacionnoe razvitie tehniki i tehnologii v promyshlennosti (Inteks-2023)». Sb. mat-lov. Moscow; 17–20 aprelja, 2023 g. M.: FGBOUVO «Rossijskij gosudarstvennyj universitet im. A.N. Kosygina». 2023, pp. 53-58.
8. *Kravchenko N.G., Shhekin V.K., Laptov A.B., Krivushina A.A.* Biocidy. Primery, mehanizmy dejstvija i primeneniya. Trudy VIAM. 2023. N. 7(125). Pp. 125–137. DOI 10.18577/2307-6046-2023-0-7-125-137
9. *Rogalsky S., Moshynets O., Dzhuzha O. et al.* Preparation and characterization of new antifouling coating based on alkyd paint modified with hydrophobic cationicbiocide. Journal of Coatings Technology and Research. 2024. V. 21, No. 1. Pp. 1-15. DOI 10.1007/s11998-023-00862-8
10. *Fernandes S., Gomes I., Simoes M., Simoes L.* Novel chemical-based approaches for biofilm cleaning and disinfection. Current Opinion in Food Science. 2024. Vol. 55. Pp. 1–14.
11. *Shi C., Ma Y., Tian L., Li J., Qiao G., Liu C., Cao W., Liang C.* Verbascoside: an efficient and safe natural antibacterial adjuvant for preventing bacterial contamination of fresh meat. Molecules. 2022. No. 27. Article No. 4943.
12. *Purwasena I.A., Astuti D.I., Taufik I., Putri F.Z.* The potential of clove essential oil microemulsion as an alternative biocide against *Pseudomonas aeruginosa* biofilm. J Pure Appl Microbiol. 2020. No. 14. Pp. 261-269.
13. *Medvedeva N. A., Balandina S.Ju., Bortnik A.G., Plotnikova M.D., Lisovenko N.Ju.* O vozmozhnosti vlijaniya mikromicetov na korrozionnoe povedenie uglerodistoj stali. Vestnik Permskogo universiteta. Serija: Himija. 2020. Vol. 10. N. 1. Pp. 84-93. DOI 10.17072/2223-1838-2020-1-84-93
14. *Storozheva M.E., Denisova Ja.V.* Biokorrozija podzemnyh sooruzhenij: osnovnye prichiny i zashhita konstrukcij. Uchenye zapiski Sahalinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2020. N. 15-16. Pp. 109-113.
15. *Povarova L.V., Muntjan V.S., Skiba A.S.* Korrozija truboprovodov i neftegazovogo oborudovanija. Bulatovskie chteniya. 2020. Vol. 4. Pp. 130-135.
16. *Griban'kova A.A., Farutina S.A., Evtuhovskaja O.A., Agievich M.A.* Vlijanie proizvodnyh fenotiazina i benzotriazola na mikrobiologicheskiju korroziju stali // Nauka i biznes: puti razvitija. 2020. N. 4. Pp. 10-12.
17. *Shishokin M.V., Griban'kova A.A.* Biologicheskaja korrozija metallicheskih konstrukcij i sposoby ee podavlenija // Forum molodyh issledovatelej, posvjashhennyj 125-letiju so dnja rozhdenija laureata Nobelevskoj premii akademika N.N. Semenova «HimBioSeasons». Sb. tez. Kaliningrad; 23 aprelja, 2021 g. Kaliningrad: Baltijskij federal'nyj universitet imeni Immanuila Kanta. 2021, pp. 27-28.
18. *Pawłowska A., Stepczyńska M.* Natural biocidal compounds of plant origin as biodegradable materials modifiers. Journal of Polymers and the Environment. 2022. Vol. 30. N. 5. Pp. 1683-1708. DOI 10.1007/s10924-021-02315-y
19. *Unsal T., Wang D., Kijikla P., Kumseranee S., Punpruk S., Mohamed M. E., Saleh M.A., Gu T.* Food-grade D-limonene enhanced a green biocide in the mitigation of carbon steel biocorrosion by a mixed-culture biofilm consortium. Bioprocess and Biosystems Engineering. 2022. Vol. 45. No. 4. Pp. 669-678.
20. *Degtjareva I.A., Davletbaev A.M., Minikaev D.T.* Perspektivnye baktericidy dlja predotvrashhenija biokorrozii neftepromyslovogo oborudovanija. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Himicheskaja tehnologija i biotehnologija. 2022. N. 1. Pp. 121-134. DOI 10.15593/2224-9400/2022.1.09
21. *Xu L., Kijikla P., Kumseranee S., Punpruk S., Gu T.* Electrochemical Assessment of Mitigation of *Desulfovibrio ferrophilus* IS5 Corrosion against N80 Carbon Steel and 26Cr3Mo Steel Using a Green Biocide Enhanced by a Nature-Mimicking Biofilm-Dispersing Peptide. Antibiotics. 2023. Vol. 12. No. 7. Pp. 1194. DOI 10.3390/antibiotics12071194
22. *Li Z., Yang J., Lu S., Dou W., Gu, T.* Mitigation of *Desulfovibrio ferrophilus* IS5 degradation of X80 carbon steel mechanical properties using a green biocide. Biodegradation. 2024. Pp. 1-11. DOI 10.1007/s10532-023-10063-0
23. *Balakrishnan A., Govindaraj S., Dhaipule N.G.K., Thirumalaisamy N., Anne R.S., Sublime N., Philip J.* Enhancing microbiologically influenced corrosion protection of carbon steels with silanized epoxy-biocide hybrid coatings. Environmental Science and Pollution Research. 2024. Pp. 1-25. DOI 10.1007/s11356-024-32014-9
24. *Fedosov S.V., Rumjanceva V.E., Loginova S.A., Goglev I.N.* Issledovanie stojkosti cementnogo kamnja k biokorrozii. Fundamental'nye, poiskovyje i prikladnyje issledovanija Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk po nauchnomu obespecheniju razvitija arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2019 godu: sb. nauch. tr. RAASN. M.: Izdatel'stvo ASV, 2020. Vol. 2. Pp. 472-476.
25. *Erofeev V.T., Fedorcov A.P., Fedorcov V.A.* Povyshenie korrozionnoj stojkosticementnyh kompozitov aktivnymi dobavkami. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2020. N. 2. Pp. 51-60. DOI 10.33979/2073-7416-2020-88-2-51-60
26. *Svetlov D.A., Erofeeva I.V., Dolganov A.V.* Novoe pokolenie biostojkih kompozicionnyh materialov na osnove soedinenij guanidina s mehanizmom dejstvija na nanorazmernom urovne. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. 2020. N. 3. Pp. 44-51.
27. *Churikov A.S., Ohrimenko S.A., Kurbonaliev A.A.* Pokrytija dlja zashhity stroitel'nyh materialov ot biokorrozii // Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija molodyh uchenykh BGTU im. V.G. Shuhova, posvjashhennaja 300-letiju Rossijskoj akademii nauk. Sb. tr.

Belgorod; 18-20 maja, 2022 g. Belgorod: BGTU. 2022, pp. 728-731.

28. *Sharafutdinov K.B., Saraykina K.A., Kashevarova G.G., Erofeev V.T.* The Use of Copper Nanomodified Calcium Carbonate as a Bactericidal Additive for Concrete. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022. No. 18(2). Pp. 143–155. DOI 10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-155

29. *Mohsen A., Ramadan M., Gharieb M., Yahya A., Soltan A., Hazem M.M.* Rheological Behaviour, Mechanical Performance, and Anti-fungal Activity of OPC-granite Waste Composite Modified with Zinc Oxide Dust. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol 341 (2). Article No. 130877. DOI 10.1016/j.jclepro.2022.130877

30. *Klapiszewska I., Parus A., Ławniczak L., Jesionowski T., Klapiszewski L., Ślosarczyk A.* Production of Antibacterial Cement Composites Containing ZnO/Lignin and ZnO–SiO₂/Lignin Hybrid Admixtures. *Cement and Concrete Composites*. 2021. Vol. 124. Article No. 104250. DOI 10.1016/j.cemconcomp.2021.104250

31. *Strokova V.V., Le Saoutb G., Nelubova V.V., Ogurtsova Y.N.* Composition and Properties of Cement System with Glutaraldehyde. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. 103(3). Article No. 10307. DOI: 10.34910/MCE.103.7

32. *Sapronova Zh.A., Svjatchenko A.V., Ladjuk V.V.* Sposob pererabotki gal'vanicheskikh shlamov dlja poluchenija biocidnyh dobavok v stroitel'nye materialy. Vserossijskaja nauchnaja konferencija «Bezopasnost', zashhita i ohrana okruzhajushhej prirodnoj sredy: fundamental'nye i prikladnye issledovanija». Sb. dokl. Belgorod; 4-8 oktjabrja, 2022 g. Belgorod: BGTU. 2022, pp. 728-731.

33. *Carovceva I.M., Vlasov D.Ju., Majorova M.A., Beljaeva I.D.* Sovremennye podhody k zashhite gidrotehnicheskikh sooruzhenij ot bioobrastanij. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. 2023. N. 2. Pp. 19-23. DOI 10.34831/EP.2023.32.64.003

34. *Balahonov A.V., Minnev V.I., Ladjuk V.V., Tokach Ju.E., Rubanov Ju.K.* Razrabotka sposoba poluchenija biocidnogo kompozitnogo pokrytija iz othodov proizvodstva. Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Racional'noe ispol'zovanie prirodnyh resursov i pererabotka tehnogennoho syr'ja: fundamental'nye problemy nauki, materialovedenie, himija i biotehnologija». Sb. dokl. Alushta-Belgorod; 5-9 ijunja, 2023 g. Belgorod: BGTU. 2023, pp. 182-188.

35. *Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Kolchina G.Ju., Movsumzade Je.M., Tivas N.S.* Sintez i svojstva proizvodnyh furana iz pentozansoderzhashhej frakcii nejtral'nyh lignosul'fonatov. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija «Himija i himicheskaja tehnologija»*. 2024. N. 67(3). Pp. 94-102. DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6908

36. *Kunickaja O.A.* Biotehnologicheskij sposob zashhity drevesiny ot gribnyh porazhenij. Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2014. Vol. 2. N. 4(3). Pp. 440-444. DOI 10.12737/6197

37. *Moldurushku M.O.* Problema othodov mysh'jaksoderzhashhih proizvodstv. Prirodnye resursy, sreda i obshhestvo. 2020. N. 2(6). Pp. 76-78. DOI 10.24411/2658-4441-2020-10019

38. *Shvedov V.N., Krutasov B.V., Mashkin N.A.* Dolgovechnost' modifirovannoj drevesiny v konstrukcijah ventiljatornyh gradiren i ochistnyh sooruzhenij. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2020. N. 3. Pp. 126-134. DOI 10.32683/0536-1052-2020-735-3-126-134

39. *EL-Hefny M., Salem M.Z.M., Behiry S.I., Ali H.M.* The potential antibacterial and antifungal activities of wood treated with *Withania somnifera* fruit extract, and the phenolic, caffeine, and flavonoid composition of the extract according to HPLC. *Processes*. 2020. Vol. 8. No. 1. Article No. 113. DOI 10.3390/pr8010113

40. *Yildiz Ü.C., Kiliç C., Gürgen A., Yildiz S.* Possibility of using lichen and mistletoe extracts as

potential natural wood preservative. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 2020. Vol. 22. No. 2. Pp. 179-188. DOI 10.4067/S0718-221X2020005000204

41. *Barbero-López A., Monzó-Beltrán J., Virjamo V., Akkanen J., Haapala A.* Revalorization of coffee silverskin as a potential feedstock for antifungal chemicals in wood preservation. *Int. Biodeter. Biodegr.* 2020. Vol. 152. Article No. 105011. DOI 10.1016/j.ibiod.2020.105011

42. *Füchtner S., Brock-Nannestad T., Smeds A., Fredriksson M., Pilgård A., Thygesen L.G.* Hydrophobic and hydrophilic extractives in norway spruce and kurile larch and their role in brown-rot degradation. *Front. Plant Sci.* 2020. Vol. 11. Article No. 855. DOI 10.3389/fpls.2020.00855

43. *Broda M.* Natural compounds for wood protection against fungi – a review. *Molecules*. 2020. Vol. 25. No. 15. Article No. 3538. DOI 10.3390/molecules25153538

44. *Skugoreva S.G., Treflova L.V., Domracheva L.I., Kantor G.Ja., Ashihmina T.Ja.* Zashhita drevesiny ot razrushenija s ispol'zovaniem antiseptikov, poluchaemyh iz promyshlennyh othodov (obzor). *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*. 2022. N. 4. Pp. 6-13. DOI 10.25750/1995-4301-2022-4-006-013

45. *Skugoreva S.G., Domracheva L.I., Treflova L.V., Starikov P.A., Ashihmina T.Ja.* Biozashhita drevesiny ot mikrobnnyh povrezhdenij (obzor). *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*. 2023. N. 1. Pp. 6-15. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-1-006-015

46. *Skugoreva S.G.* Veshhestva rastitel'nogo proishozhdenija v zashhite drevesiny ot dejstvija mikroorganizmov-destruktorov. XVIII Vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem «Jekologija rodnogo kraja: problemy i puti ih reshenija». Mat-ly konf. Kirov; 24-25 aprelja, 2023 g. Kirov: Vjatskij gosudarstvennyj universitet. 2023. Book 2, pp. 298-302.

47. *Kljuev A.Ju., Prokopchuk N.R., Mazalo N.A.* Biocidnye sostavy na osnove proizvodnyh kanifoli (soobshhenie 1). *Trudy BGTU. Ser. 2, Himicheskie tehnologii, biotehnologii, geojekologija*. 2023. N. 2 (271). Pp. 50-56. DOI 10.52065/2520-2669-2023-271-2-7

48. *Kljuev A.Ju., Prokopchuk N.R., Mazalo N.A.* Biocidnye sostavy na osnove proizvodnyh kanifoli (soobshhenie 2). *Trudy BGTU. Ser. 2, Himicheskie tehnologii, biotehnologii, geojekologija*. 2024. N. 1 (277). Pp. 5-11. DOI 10.52065/2520-2669-2024-277-1

49. *Kljuev A.Ju., Prokopchuk N.R., Mazalo N.A., Nikolajchik I.V.* Biocidnye sostavy na osnove skipidara i ego proizvodnyh (soobshhenie 3). *Trudy BGTU. Ser. 2, Himicheskie tehnologii, biotehnologii, geojekologija*. 2024. N. 1 (277). Pp. 12-20. DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-2

50. *Vovchuk C.S., González Garelló T., Careaga V.P., Fazio A.T.* Promising Antifungal Activity of *Cedrela fissilis* Wood Extractives as Natural Biocides against Xylophagous Fungi for Wood Artwork of Cultural Heritage. *Coatings*. 2024. No. 14(2). Article No. 237. DOI 10.3390/coatings14020237

51. *Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Nikolaev E.V., Slavín A.V.* Mehanizmy mikrobiologicheskoy destrukcii uglevodorodnogo topliva i drugih nefteproduktov mikromicetami (obzor). *Aviacionnye materialy i tehnologii*. 2020. N. 3 (60). Pp. 66-71. DOI 10.18577/2071-9140-2020-0-3-66-71

52. *Wang D., Ivanova S.A., Hahn R., Gu T.* Evaluation of trehalase as an enhancer for a green biocide in the mitigation of *Desulfotribium vulgare* biocorrosion of carbon steel // *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2022. Vol. 45. No. 4. Pp. 659-667.

53. *Babaev Je.R.* Biocidnye dobavki k toplivam i maslam. *NefteGazoHimija*. 2022. N. 4. Pp. 25-30. DOI 10.24412/2310-8266-2022-4-25-30

54. *Babaev Je.R.* Biocidnye prisadki k toplivam i

maslam. Izvestija TulGU. Estestvennye nauki. 2022. Vyp. 4. Pp. 12-23. DOI 10.24412/2071-6176-2022-4-12-23

55. *Babaev Je.R.* Biocidnye dobavki protiv sul'fatreducirujushhij bakterij. Bashkirskij himicheskij zhurnal. 2023. Vol. 30. N. 1. Pp. 13-22. DOI 10.17122/bcj-2023-1-13-22

56. *Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Kolchina G.Ju., Movsumzade Je.M., Tivas N.S.* Sintez i svojstva proizvodnyh furana iz pentozansoderzhashhej frakcii nejtral'nyh lignosulfonatov. Izvestija vysshijh uchebnyh zavedenij. Serija «Himija i himicheskaja tehnologija». 2024. Vol. 67. N. 3. Pp. 94-102. DOI 10.6060/ivkkt.20246703.6908

57. *Kapoor R. Selvaraju S.B. Subramanian V., Yadav, J.S* Microbial Community Establishment, Succession, and Temporal Dynamics in an Industrial Semi-Synthetic Metalworking Fluid Operation: A 50-Week Real-Time Tracking. *Microorganisms*. 2024. Vol. 12. No. 2. P. 267. DOI 10.3390/microorganisms12020267/

58. *Babaeva V.G.* Imidazolinovye komplekсы v kachestve biocidnoj dobavki k smazочно-ohlazhdajushhim zhidkostjam. Vestnik KNII RAN. Serija «Estestvennye i tehicheskie nauki». 2022. N. 3(11). Pp. 109-115.

59. *Babaeva V.G.* Primenenie imidazolinovyh kompleksov v kachestve fungicidov dlja smazочно-ohlazhdajushhijh zhidkostej. Izvestija TulGU. Estestvennye nauki. 2022. Vyp. 4. Pp. 3-11. DOI 10.24412/2071-6176-2022-4-3-11

60. *Vasil'eva A.Ju., Gordienko I.M.* Primenenie biocidov ISD1 I ISD2 pri konservirovanii kozhevennogo syr'ja. Novye tehnologii i materialy legkoj promyshlennosti. 2020. Pp. 279-283.

61. *Ertas A.M., Burkitbaj A., Nijazbekov B.Zh., Tausarova B.R.* Pridanie biocidnyh svojstv uteplitel'nym materialam iz l'njanyh volokon. Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. 2021. N. 2. Pp. 32-37. DOI 10.48184/2304-568X-2021-2-32-37

62. *Mihajlovskaja A.P., Kalugina M.S., Grishhuk A.S.* O vlijanii solej tetraalkilammonija na process krashenija i biocidnye svojstva natural'nyh volokon i viskozy. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Nauka v sovremennom mire: aktual'nye tendencii i innovacii». Sb. nauch. tr. Moscow; 31 marta, 2022 g. M.: IP Tugolukov A.V. 2022, pp. 202-204.

Сведения об авторах

Латышев Ири́на Алекса́ндровна, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории мембранных процессов ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ; *Irina A. Latyshevich*, PhD (Eng.), researcher of The Laboratory of Membrane Processes, Institute of Physical-Organic Chemistry, irinalatyshevitch@gmail.com.

Гапанькова Елена Игоревна, науч. сотр. лаборатории мембранных процессов ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ; *Alena I. Napankova*, researcher of The Laboratory of Membrane Processes, Institute of Physical-Organic Chemistry, elenagapankova@gmail.com.

Козлов Николай Гельевич, д-р. хим. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаборатории мембранных процессов ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ; *Nikolay G. Kozlov*, DSc (Chemistry), Leading Researcher of the Laboratory of Membrane Processes, Institute of Physical-Organic Chemistry, loc@ifoch.bas-net.by.

Глевицкая Татьяна Александровна, канд. хим. наук, ст. науч. сотр. лаборатории мембранных процессов ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ; *Tatiana A. Hliavitskaya*, PhD (Chem.), researcher of The Laboratory of Membrane Processes, Institute of Physical-Organic Chemistry, barricade@yandex.by.