

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-125-137

**БИОЦИДЫ. ПРИМЕРЫ, МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ***Н.Г. Кравченко<sup>1</sup>, В.К. Щекин<sup>1</sup>, А.Б. Лаптев<sup>1</sup>, А.А. Кривушина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** Проведен анализ актуальных литературных научно-технических данных в области биоцидов, применение которых возможно в качестве защиты полимерных материалов от биодеструкции при эксплуатации изделий авиационной техники. Рассмотрены общие определения биоцидов, их характеристики, механизмы действия, сферы применения. Приведены примеры комплексных реагентов для предотвращения роста бактерий и микрогрибов, перечислены химические вещества, усиливающие основное действие биоцидов. В статье уделяется внимание проблеме приобретения устойчивости микроорганизмов к действию биоцидов.

**Ключевые слова:** биодеструкция, полимерный материал, биоцид, фунгицид, микробиологическая стойкость, приобретенная устойчивость

**Для цитирования:** Кравченко Н.Г., Щекин В.К., Лаптев А.Б., Кривушина А.А. Биоциды. Примеры, механизмы действия и применение // Труды ВИАМ. 2023. № 7 (125). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-125-137.

Scientific article

**BIOCIDES. EXAMPLES, MECHANISMS AND APPLICATIONS***N.G. Kravchenko<sup>1</sup>, V.K. Shchekin<sup>1</sup>, A.B. Laptev<sup>1</sup>, A.A. Krivushina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** The literature data analysis in the field of biocides for protection the polymeric materials aircraft products from biodegradation has been carried out. General definitions of biocides, their characteristics, mechanisms of action, scopes are considered. Examples of complex reagents to prevent the growth of bacteria and microfungi are given, chemicals that enhance the main action of biocides are listed. The article focuses on the problem of acquiring the resistance of microorganisms to the biocides action.

**Keywords:** biodegradation, polymer material, biocide, fungicide, microbiological resistance, acquired resistance

**For citation:** Kravchenko N.G., Shchekin V.K., Laptev A.B., Krivushina A.A. Biocides. Examples, mechanisms and applications. *Trudy VIAM*, 2023, no. 7 (125), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-125-137.

**Введение**

Начальное прикрепление и заселение поверхности материалов и изделий происходит, как правило, бактериями, образующими биопленки и создающими основу для прикрепления других видов микроорганизмов [1]. Образование биопленки, микро- и макрообрастание могут происходить в течение нескольких дней или месяцев. В действительности такая последовательность соблюдается лишь для некоторых организмов.

Образование биопленки не всегда обязательно предшествует последующему обрастанию. Некоторые морские организмы могут заселяться в одно и то же время и на поверхностях без биопленок.

Для борьбы с различными типами бактерий, грибами и другими микроорганизмами применяют универсальные реагенты – биоциды и фунгициды [2, 3].

Защита полимерных материалов от биодеструкции связана с целым рядом противоречий [4, 5]. В частности, при применении биоцидов окисляющего действия наблюдается следующая зависимость: чем сильнее окислитель, тем эффективнее реагент, однако при увеличении степени его окисляющего действия также происходит ускорение процессов старения полимера. Кроме того, чем более токсично вещество, используемое для подавления жизнедеятельности какого-либо организма, тем оно эффективнее, но тем сложнее его использовать с точки зрения защиты окружающей среды и соблюдения норм охраны труда и техники безопасности для человека.

В предыдущих работах на основании исследований образцов материалов в различных водных средах (морской, пресной и промышленной воде) методами секвенирования определены потенциальные штаммы-деструкторы полиэтилентерефталата (ПЭТ) и полистирола (ПС) [6–8]. Наиболее опасные для данных материалов бактерио-биодеструкторы обнаружены среди представителей родов *Pseudomonas*, *Acidovorax* и *Arenimonas* в промышленной воде. Показано, что количество биодеструкторов в значительной мере может быть снижено при использовании окисляющих биоцидов – например, гипохлорита натрия. Применение биоцида на основе хлорида гексаметиленгуанидина замедляет процесс развития бактерий, но их количество уменьшается незначительно.

Таким образом, проведение анализа существующих данных по применению биоцидов и фунгицидов в различных сферах существования и деятельности человека является актуальной задачей. Полученная информация в дальнейшем расширит область выбора эффективных средств защиты полимерных материалов от повреждения бактериями как в водной, так и в воздушной среде, что необходимо для обеспечения надежной длительной эксплуатации изделий из полимерных конструкционных и функциональных материалов.

### Общая характеристика биоцидных препаратов

Известно большое количество специализированных химических и природных средств для защиты материалов от биоповреждения [9]. Существует целый ряд окислителей для борьбы с биообрастанием и биоповреждением. Это хлорсодержащие органические и неорганические соединения, такие как бром, йод, перекись водорода, озон, гипохлорит натрия, газообразный хлор, хлорамины различного строения и др.

Окисляющие препараты могут вводиться как в сам материал, так и в окружающую среду. Однако следует иметь в виду, что их токсичность по отношению к другим видам организмов и человеку значительно ограничивает их применение. Такие препараты достаточно эффективно подавляют рост организмов, но также хорошо окисляют и сами материалы, что зачастую приводит к преждевременному химическому разрушению (старению) полимерного материала. Например, йод и хлор чрезвычайно эффективны против бактерий и грибов, в том числе грамотрицательных организмов, которые могут расти при низких температурах. Высокая проникающая способность галогенов приводит к быстрой и мощной их биоцидной активности.

Кислотные условия в целом неблагоприятны для выживания и размножения бактерий и грибов, так что органические кислоты, используемые при обработке мяса или морепродуктов, скорее всего, влияют на грамотрицательные бактерии. Создаваемые кислотные условия предотвращают рост и задерживают спорообразование бактерий и грибов. При низких значениях рН слабые кислоты диссоциируют и это, как правило, повышает их

ингибирующую эффективность. Поскольку многие из используемых кислотных средств являются естественными продуктами метаболизма во всех клетках, включая клетки млекопитающих, то считаются безопасными при применении в пищевых продуктах. Однако существуют данные о том, что некоторые патогены, ответственные за вспышки болезней пищевого происхождения, такие как сальмонелла и кишечная палочка O157: H7, гораздо более устойчивы к кислоте, чем предполагалось ранее, возможно – в результате приобретения усовершенствованных механизмов протонной помпы [10].

Очевидно, что необходимо учитывать способность микроорганизмов адаптироваться и противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды. Ослабление контроля за эффективностью применяемых биоцидов может привести к тому, что использование химических биоцидов потеряет смысл.

На протяжении десятилетий биоциды [11] широко используются для борьбы с бактериями и обычно входят в состав различных продуктов, включая дезинфицирующие составы, косметику, консерванты, пестициды и антисептики. Положение № 528/2012/ЕС от 22 мая 2012 г., касающееся реализации применения биоцидных средств, содержит определение биоцидов, которые классифицируются как активные вещества и препараты, содержащие одно или несколько активных веществ, предназначенные для уничтожения, обезвреживания, предотвращения воздействия или оказания контролирующего воздействия на любой вредный организм. Однако термин «биоцид» обычно используется как синоним противомикробного или дезинфицирующего средства. Выделяют три независимых определения:

– биоциды – это активные вещества, которые при превышении определенных концентраций и в определенных условиях убивают клетки в течение определенного времени;

– противомикробные агенты – это активные вещества, которые оказывают неблагоприятное воздействие на рост или выживание микроорганизмов;

– дезинфицирующие средства – это составы, содержащие активные вещества, которые безопасны для нанесения на неодушевленные поверхности и уничтожают некоторые группы болезнетворных микроорганизмов в течение определенного времени).

Кроме того, в Положении № 528/2012/ЕС говорится о необходимости соответствия биоцидного продукта следующим характеристикам:

(I) должен быть эффективным (отсутствие у бактерий приобретенной устойчивости к биоцидам);

(II) сам по себе или продукты его действия не должны оказывать опасного воздействия на здоровье человека либо животных (например, через питьевую воду, продукты питания или корма, воздух в помещении или на рабочем месте) или на поверхностные и подземные воды;

(III) должно отсутствовать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду (например, продукты его разложения, в частности, могут загрязнять поверхностные или грунтовые воды или питьевую воду);

(IV) при соответствующем применении, хранении и транспортировке продукта необходимо учитывать его физические и химические свойства.

Информация о разнообразии биоцидов, химическая классификация и возможные области применения в полном объеме представлены в работах [12–14] и в книге «Принципы и практика дезинфекции, консервации и стерилизации» [15].

### **Биоциды и усилители биоцидного эффекта**

По мнению авторов работы [16], биоциды являются единственным эффективным средством для предотвращения роста микроорганизмов в промышленных масштабах. Биоциды делятся на окисляющие и неокисляющие. Окисляющие биоциды вступают в реакцию с белками и липидами, разрушая целостность клеточной стенки [17–19]. Они быстро расходуются в реакциях окисления, ограничивая долгосрочную эффективность.

Кроме того, например, хлор может вызывать коррозию, а его выброс в атмосферу создает экологические проблемы [20].

Неокисляющие биоциды широко используют в промышленности [21, 22]. К ним относят соли четвертичного аммония, хлорфенолы, изотиазолин, бром- и хлорорганические соединения, оксазолидиноны, триазины, а также постоянно разрабатываются новые составы неокисляющих биоцидов как на основе новых соединений, так и с использованием известных композиций. Они повреждают клеточные мембраны или взаимодействуют с другими клеточными компонентами [23, 24]. Неокисляющие биоциды обладают более длительным биоцидным действием, чем окисляющие биоциды. Наиболее популярными неокисляющими биоцидами являются сульфат тетра-кис(гидроксиметил)фосфония (THPS) и глутаровый альдегид, которые обладают эффективностью широкого спектра действия и являются биоразлагаемыми [25]. Соединение THPS может вызывать образование отложений в средах, содержащих ионы цинка и свинца [26]. Соединения четвертичного аммония (амин) адсорбируются на поверхности металла с образованием прочной и плотной молекулярной пленки с биоцидными свойствами, которые, кроме того, препятствуют коррозии [27].

Соединения, которые ограничивают образование биопленки, могут усиливать активность биоцидов, тем самым снижая затраты на биоциды. К «усилителям биоцидов» относятся d-аминокислоты, норспермидин и хелаторы. Такие d-аминокислоты, как d-тирозин, d-лейцин, d-метионин и d-триптофан, диспергируют биопленки [28] или замедляют образование биопленок [29], возможно, путем изменения структуры пептидогликана в клеточной стенке [30, 31] или путем влияния на синтез белка.

Различные биопленки могут потребовать обработки различными d-аминокислотами в зависимости от того, какие микробы преобладают [32]. Добавление одних только d-аминокислот не может полностью удалить сформировавшиеся биопленки. Однако сочетания d-аминокислот и биоцидов могут успешно предотвращать образование биопленки [33–37]. Комбинация d-аминокислот и антибиотиков может быть эффективной за счет синергетического эффекта [38, 39].

Полиаминнорспермидин также может ингибировать образование биопленки [40–42]. Комбинация норспермидина и d-тирозина разрушает биопленки в морских условиях, изменив структуру полисахаридной матрицы биопленки [43]. Норспермидин усиливает биоцидную эффективность ионов серебра и меди относительно биопленки [23]. Хелатирующий компонент этилендиаминдисульфат (EDDS) усиливает воздействие глутарового альдегида на биопленки сульфатредуцирующей бактерии *Desulfovibrio desulfuricans* [23].

### **Комплексные реагенты для предотвращения роста бактерий и микрогрибов**

В патентной научно-технической литературе присутствует информация о применении в качестве биоцидного препарата различных производных гуанидина [44, 45], сочетающих хорошие биоцидные свойства с относительно низкой токсичностью для животных и человека. Среди указанных производных наиболее известны полигексаметиленгуанидин (ПГМГ) и его соли с кислотами, в частности гидрохлорид (ПГМГ-Х) или глюконат (ПГМГ-Г) [46], предложенные для борьбы с бактериальными загрязнениями.

Препараты на основе ПГМГ в основном применяются в гальванотехнике при цинковании или кадминировании, в качестве стабилизаторов буровых растворов, в составе смазочно-охлаждающих жидкостей [47]. Из других производных ПГМГ известно применение его фосфорной соли (ПГМГ-ф) в качестве антимикробного препарата [48].

Следует отметить, что использование биоцидов на основе ПГМГ требует относительно высоких концентраций препарата. Так, биоцидное действие отмечается для ПГМГ-Х при концентрации 1–7 % [49].

Известна биоцидная композиция и метод ее производства [50]. Изобретение относится к биоцидной композиции, состоящей из одного или смеси компонентов, содержащих 3-йод-2-пропинилбутилкарбомат (IPBC), октилизотиозолинон (ОИТ), дийодометил-р-толилсульфон (DIMTS); биоцидов на основе триазина, таких как тербутрин, цибутрин и прометрин; азолов, или таких как пропиконазол, дифеноконазол, ципроконазол и тебуконазол; 2,2-дибромо-3-нитрилопропионамид (DBNPA) и 2-бromo-2-нитропропан-1,3-диол (бронопол), где соединение DBNPA подается в виде раствора в пропиленгликоле. Композицию получают путем смешивания ингредиентов. Состав добавляется в водный раствор и используется для подавления роста микроорганизмов.

В патенте [51] предлагается биоцидная двухкомпонентная смесь с усиленным фунгицидным действием, имеющая состав: двухкомпонентная смесь на основе триазола-ингибитора биосинтеза эргостерина (например, 1-[2-(2,4-дихлорфенил)-4-пропил-1,3-диоксолан-2-ил-метил]-1Н-1,2,4-триазола (пропиконазол)) и 4,6-диметил-N-фенил-2-пиримидинамина (в качестве второго компонента) и растворитель. Разработана биоцидная композиция в виде концентрата-суспензии, которая содержит активное соединение тебуконазол, поверхностно-активные вещества, биоцид, стабилизаторы, пеногаситель и воду. Поверхностно-активное вещество представляет собой композицию из полиоксиэтилена эфира жирных спиртов, лигносульфонатов кальция, этиленгликоля и катионоактивного полимера.

Для защиты древесины [52] ее обрабатывают составом, содержащим измельченные частицы металла. В одном варианте композиция содержит дисперсии порошкообразного металла или соединения металла, в другом – неорганический компонент, содержащий металл или соединение металла, а также органические биоциды. В частности, водный состав для защиты древесины включает:

– биоцид и эффективное количество дисперсии в воде из порошкообразных частиц основного карбоната меди, карбоната меди или гидроксида меди с размером частиц от 0,001 до 25 мкм;

– один или более органических биоцидов, выбранных из группы, включающей тебуконазол, хлориды алкилдиметилбензиламмония и диметилдодециламмония, карбонат диметилдодециламмония и бикарбонат диметилдодециламмония.

Применение реагента на основе тебуконазола и ПГМГ при дозировании в жидкие среды, распылении по поверхностям и/или окунании материалов в реагент позволяет обеспечить защиту от биокоррозии и биоразрушения на длительный срок.

Пример реагента из смеси биоцида и фунгицида описан в патенте [53]. Композиция содержит растворитель 4,4-диметил-1,3-диоксан, в качестве основы биоцида добавлены: по 5–30 % (по массе) тебуконазола и хлорида полигексаметиленгуанидина, а также 1–7 % (по массе) неионогенного поверхностно-активного вещества для диспергирования биологических отложений в воде и лучшей адсорбции на поверхности металлов и неметаллических материалов. Данный реагент отвечает основным технологическим требованиям, предъявляемым для реагентов, дозируемых в водонефтяные среды, – диспергирование в объеме воды, высокая адсорбционная способность к металлической и неметаллической поверхностям, длительный срок хранения, низкая температура застывания и другие.

### **Приобретение устойчивости бактерий к биоцидам**

Приобретенная устойчивость к биоцидам известна для бактерий, хотя аналогичные механизмы характерны и для других прокариот и эукариот, таких как грибы и простейшие. Кроме того, предполагается, что приобретенные механизмы влияют на устойчивость вирусов к дезинфицирующим средствам. Например, изменения в структуре белков, связанных со структурами вирусных капсидов, могут приводить к образованию более устойчивых к нагреванию или химическим веществам структур [23]. Приобретенная

устойчивость может быть определена как генетическое изменение, при котором микроорганизм приобретает способность противостоять действию биоцида из-за мутации или генетического приобретения нуклеиновых кислот. Мутации определяются как специфические, стабильные изменения в генетическом материале микроорганизма, которые приводят к изменению заданной последовательности нуклеотидов, тогда как при приобретении устойчивости последовательность нуклеиновых кислот, определяющая этот механизм, внедряется в организм хозяина через плазмиды или транспозоны.

Примеры приобретенной устойчивости к биоцидам у бактерий приведены в таблице.

**Примеры механизмов приобретенной устойчивости к биоцидам и биоцидным процессам**

Тип	Механизм	Примеры
Мутация	Метаболизм липидов	Изменения жирнокислотного профиля клеточной стенки/мембраны у <i>Escherichiacoli</i> и золотистого <i>стафилококка</i> , приводящие к увеличению ингибирующей концентрации триклозана
	Экспрессия белка клеточной стенки	Снижение регуляции или мутации в различных белках порина, связанных со структурой внешней мембраны у <i>Escherichiacoli</i> (переносимость триклозана)
	Отток	Перепроизводство или усиление регуляции систем оттока у грамотрицательных бактерий, таких как <i>Escherichiacoli</i> и <i>Pseudomonas</i> , что приводит к повышенной переносимости биоцидов (например, триклозана, четвертичных аммониевых соединений и красителей) и антибиотиков ( $\beta$ -лактамов, тетрациклинов и фторхинолонов)
	Мутации активного сайта в еноилредуктазах, участвующих в биосинтезе жирных кислот	Устойчивость к триклозану (повышенные ингибирующие концентрации) и перекрестная устойчивость к изониазиду (антимикобактериальному антибиотику)
	Другие структурные изменения клеточной стенки	Устойчивость к хлоргексидину и четвертичным аммониевым соединениям у устойчивых к глутаральдегиду микобактерий <i>Pseudomonas stutzeri</i> (предположительно – из-за изменений углеводного обмена)
Получение через плазмиды или транспозоны	Отток	Экспрессия плазмид-ассоциированных генов у <i>стафилококка</i> с повышенным профилем толерантности к катионным биоцидам (четвертичным аммониевым соединениям и хлоргексидину), а также к некоторым антибиотикам (например, $\beta$ -лактамам)
	Снижение накопления, включая отток и секвестрацию	Множественные механизмы толерантности к серебру и меди у грамотрицательных бактерий
	Изменение структуры клеточной стенки	Экспрессия гена в <i>Escherichiacoli</i> приводит к изменениям внешней мембраны и повышению толерантности к четвертичному аммониевому соединению
	Ферментативная деградация	Деградация толуола и фенола плазмидами при устойчивости <i>Pseudomonas</i> к ртути у грамотрицательных бактерий (ртутьредуктаза). Плазмиды, экспрессирующие формальдегиддегидрогеназу в бактериях <i>Serratia</i> и <i>Escherichiacoli</i>

В большинстве случаев микроорганизм остается чувствительным к биоциду при более высоких концентрациях, поэтому правильнее говорить о повышенной «толерантности» к биоциду. Они включают в себя усиление механизмов оттока и деградации ферментов, но в определенных ситуациях могут позволить микроорганизму выжить и расти в присутствии биоцида – например, при низких уровнях реагента. Однако в некоторых случаях один или несколько механизмов приобретенной устойчивости приводят к функциональной неэффективности биоцида при нормальных условиях применения и, следовательно, аналогичны устойчивости к антибиотикам или противомикробным препаратам. Примером может служить выделение устойчивых к глутаровому альдегиду микробактерий (например, *Mycobacterium chelonae*), которые могут выдерживать длительную инкубацию при концентрациях биоцида и времени воздействия, обычно используемых для дезинфекции, хотя точные механизмы действия требуют дальнейшего исследования.

### Заключения

Таким образом, неправильное применение биоцидов и их повышенных доз (как способ преодоления феномена резистентности), а также их чрезмерное использование может иметь значительные экологические и экономические последствия. Эти меры могут привести к эволюционному отбору патогенов, невосприимчивых к основным доступным противомикробным препаратам [54], что в дальнейшем может отразиться и на процессах защиты от биодеструкции полимерных материалов, применяемых в авиационных изделиях. Соответственно, несмотря на существующее разнообразие биоцидных препаратов, для решения проблемы, связанной со способностью микроорганизмов адаптироваться, необходимо разрабатывать новые биоциды, а также методы их разумного подбора и способов применения.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

### Список источников

1. Каблов Е.Н., Ерофеев В.Т., Светлов Д.А., Смирнов В.Ф., Богатов А.Д. Биоповреждения в космических аппаратах // Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Композиционные материалы. Теория и практика». Пенза, 2015. С. 40–46.
2. Кривушина А.А., Бобырева Т.В., Яковенко Т.В., Николаев Е.В. Методы хранения микроорганизмов-деструкторов в коллекции ФГУП «ВИАМ» (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. №3 (56). С. 89–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-89-94.
3. 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.
4. Лаптев А.Б., Николаев Е.В., Колпачков Е.Д. Термодинамические характеристики старения полимерных композиционных материалов в условиях реальной эксплуатации // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 3 (52). С. 80–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-80-88.
5. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
6. Лаптев А.Б., Николаев Е.В., Куршев Е.В., Горяшник Ю.С. Особенности биодеструкции термопластов на основе полиэфиров в различных климатических зонах // Труды ВИАМ. 2019. №7 (79). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 19.03.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-84-91.

7. Турова Т.П., Соколова Д.Ш., Назина Т.Н., Груздев Д.С., Лаптев А.Б. Филогенетическое разнообразие микробных сообществ с поверхности полиэтилентерефталатных материалов при экспозиции в водных средах // *Микробиология*. 2020. Т. 89. С. 99–110. DOI: 0.31857/S0026365620010152.
8. Аверина А.Е., Лаптев А.Б., Нестеров А.С., Сарваева Г.А., Николаев Е.В. Применение квантово-химических расчетов для оценки процессов старения полиэтилентерефталата при воздействии климата // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 3 (60). С. 47–56. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-47-56.
9. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 5 т. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. Т. 1. С. 25–26.
10. Williams J.F., Worley S.D. Process Hygiene. Types of Biocides // *Encyclopedia of Food Microbiology*. 1999. P. 1794–1801.
11. Ribeiro M., Simões L.C. Simões, M. Biocides // *Encyclopedia of Microbiology*. Fourth Edition. 2019. P. 478–490.
12. Wypych A., Wypych G. Databook of UV Stabilizers. 2nd Ed. Elsevier, 2020. 644 p.
13. Rossmore H.W. Biocides for metalworking lubricants and hydraulic fluids // *Handbook of Biocide and Preservative Use* / Ed. H.W Rossmore. Dordrecht: Springer, 1995. 52 p. DOI: 10.1007/978-94-011-1354-0\_5.
14. Johannes T., Paulus M. Market Structure Scenarios in International Steam Coal Trade // *The Energy Journal*. 2012. Vol. 33. No. 3. P. 91–123. URL: <http://www.jstor.org/stable/23268095>. (дата обращения: 03.04.2023).
15. Fraise A.P., Maillard J.Y., Sattar S.A. Principles and practice of disinfection, preservation and sterilization. 5th Ed. Heidelberg: John Wiley & Sons, 2013. 606 p.
16. Keasler V.V., Paula R.D., Tidwell T. et al. Biocides overview and applications in petroleum microbiology // *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies. Production and Transmission*. Woodhead Publishing Series in Energy, 2017. P. 539–562. DOI: 10.1016/B978-0-08-101105-8.00023-1.
17. Finnegan E.J., Kovac K.A., Jaligot E. et al. The down-regulation of FLOWERING LOCUS C (FLC) expression in plants with low levels of DNA methylation and by vernalization occurs by distinct mechanisms // *The Plant Journal*. 2005. Vol. 44. Is. 3. P. 420–432. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2005.02541.x.
18. Kahrilas G.A., Blotevogel J., Corrin E.R., Borch T. Downhole transformation of the hydraulic fracturing fluid biocide glutaraldehyde: implications for flowback and produced water quality // *Environmental Science & Technology*. 2016. Vol. 50. P. 11414–11423. DOI: 10.1021/acs.est.6b02881.
19. Oliveira G.F., Rohde C., Garcia A.C. et al. Contributions of Dryland Forest (Caatinga) to Species Composition, Richness and Diversity of Drosophilidae // *Neotropical Entomology*. 2016. Vol. 45. P. 537–547. DOI: 10.1007/s13744-016-0406-x.
20. Rubio D., López-Galindo C., Casanuevab J.F., Nebota E. Monitoring and assessment of an industrial antifouling treatment. Seasonal effects and influence of water velocity in an open once-through seawater cooling system // *Applied Thermal Engineering*. 2014. Vol. 67. Is. 1–2. P. 378–387. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.03.057.
21. Elumalai S.D., Shaw A.M., Pattillo D.A., Currey C.J., Rosentrater K.A., Xie K. Influence of UV treatment on the food safety status of a model aquaponics system // *Water*. 2017. Vol. 9. No. 1. P. 27. DOI: 10.3390/w9010027.
22. Jia R., Yang D., Al-Mahamedh H.H., Gu T. Electrochemical testing of biocide enhancement by a mixture of D-amino acids for the prevention of a corrosive biofilm consortium on carbon steel // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2017. Vol. 56. No. 27. P. 7640–7649. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b01534.
23. Lenz R.W. Biodegradable Polymers // *Advances in polymer science*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1993. Vol. 107. P. 1–40.

24. Liu X. A Lightweight Database of Human Nonsynonymous SNPs and Their Functional Predictions // *Human Mutation*. 2011. Vol. 32. No. 8. P. 894–899. DOI: 10.1002/humu.21517.
25. Wu W., Pang X., Lin J. et al. Discovery of a new subgroup of sulfur dioxygenases and characterization of sulfur dioxygenases in the sulfur metabolic network of *Acidithiobacillus caldus* // *Public Library of Science*. 2017. Vol. 12. Is. 9. P. 1–23. DOI: 10.1371/journal.pone.0183668.
26. Farina R., Ehrhardt F., Bellocchi G., Chenu C. et al. C-MIP: An international model inter-comparison simulating organic carbon dynamics in bare fallow soils // *Abstracts of 6th International Symposium on Soil Organic Materials*. Harpenden. 2017. P. 24.
27. Kahrilas P.J., Bredenoord A.J., Fox M., Gyawali C.P., Roman S., Smout A.J.P.M. et al. The Chicago Classification of Esophageal Motility Disorders, v3.0. // *Journal of Neurogastroenterology and Motility*. 2015. Vol. 27. No. 2. P. 160–174. DOI: 10.1111/nmo.12477.
28. Kolodkin-Gal I., Romero D., Cao S. et al. D-amino acids trigger biofilm disassembly // *Science*. 2010. Vol. 328. P. 627–629. DOI: 10.1126/science.1188628.
29. Kao W.K., Frye M., Gagnon P. et al. D-amino acids do not inhibit biofilm formation // *Laryngoscope Investigative Otolaryngol.* 2017. Vol. 2. No. 2. P. 4–9. DOI: 10.1002/lio2.34.
30. Cava F., Lam H., De Pedro M.A., Waldor M.K. Emerging knowledge of regulatory roles of d-amino acids in bacteria // *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2011. Vol. 68. P. 817–831. DOI: 10.1007/s00018-010-0571-8.
31. Lam A. J., St-Pierre F., Gong Y. et al. Improving FRET dynamic range with bright green and red fluorescent proteins // *Nature Methods*. 2012. Vol. 9. P. 1005–1012. DOI: 10.1038/nmeth.2171.
32. Yang D., Jia R., Rahman H.B.A., Gu T. Preliminary Investigation of Utilization of a Cellulose-Based Polymer in Enhanced Oil Recovery by Oilfield Anaerobic Microbes and its Impact on Carbon Steel Corrosion // *Corrosion Journal*. 2020. Vol. 76. Is. 8. P. 766–772. DOI: 10.5006/3476.
33. Jia R., Li Y., Al-Mahamedh H.H., Gu T. Enhanced Biocide Treatments with D-amino Acid Mixtures against a Biofilm Consortium from a Water Cooling Tower // *Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol. 8. Art. 1538. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01538.
34. Jia R., Yang D., Xu D., Gu T. Mitigation of a nitrate reducing *Pseudomonas aeruginosa* biofilm and anaerobic biocorrosion using ciprofloxacin enhanced by D-tyrosine // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Art. 6946. DOI: 10.1038/s41598-017-07312-7.
35. Li Z., Yang J., Guo H. et al. Carbon Source Starvation of a Sulfate-Reducing Bacterium—Elevated MIC Deterioration of Tensile Strength and Strain of X80 Pipeline Steel // *Frontiers in Materials*. 2021. Vol. 8. Art. 794051. DOI: 10.3389/fmats.2021.794051.
36. Xu Z.P., Jin Y., Liu S. et al. Surface charging of layered double hydroxides during dynamic interactions of anions at the interfaces // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008. Vol. 326. Is. 2. P. 522–529. DOI: 10.1016/j.jcis.2008.06.062.
37. Xu W., Molino B.Z., Cheng F. et al. On Low-Concentration Inks Formulated by Nanocellulose Assisted with Gelatin Methacrylate (GelMA) for 3D Printing toward Wound Healing Application // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2019. Vol. 11. P. 8838–8848. DOI: 10.1021/acsami.8b21268.
38. Sánchez-Higueras C., Sotillos S., Castelli-GairHombria J. Common origin of insect trachea and endocrine organs from a segmentally repeated precursor // *Current Biology*. 2014. Vol. 24. Is. 1. P. 76–81. DOI: 10.1016/j.cub.2013.11.010.
39. Zilm P.S., Butnejski V., Rossi-Fedele G., Kidd S.P. et al. D-amino acids reduce *Enterococcus faecalis* biofilms in vitro and in the presence of antimicrobials used for root canal treatment // *Public Library of Science*. 2017. Vol. 12. Is. 2. Art. e0170670. DOI: 10.1371/journal.pone.0170670.
40. Ou M., Ling J. Norspermidine changes the basic structure of *S. mutans* biofilm // *Molecular Medicine Reports*. 2016. Vol. 5. P. 210–220. DOI: 10.3892/mmr.2016.5979.
41. Qu S.X., Li H.P., Ma L., Song J.D. Insights into the evolution of chemoreceptor genes superfamily in *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae) // *Journal of Medical Entomology*. 2016. Vol. 53. Is. 4. P. 753–759. DOI: 10.1093/jme/tjv257.

42. Ortega A., Farah S., Tranque P. et al. Antimicrobial evaluation of quaternary ammonium polyethyleneimine nanoparticles against clinical isolates of pathogenic bacteria // IET Nanobiotechnology. 2015. Vol. 9. Is. 6. P. 342–348. DOI: 10.1049/iet-nbt.2014.0078.
43. Shi J., Long C., Li A. Selective reduction of nitrate into nitrogen using Fe–Pd bimetallic nanoparticle supported on chelating resin at near-neutral pH // Chemical Engineering Journal. 2016. Vol. 286. P. 408–415. DOI: 10.1016/j.cej.2015.10.054.
44. Гоник А.А. Сероводородная коррозия и меры ее предупреждения. М.: Недра, 1966. 178 с.
45. Кузнецов С.И. Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах. М.: АН СССР, 1952. 300 с.
46. Поляков А. Анализ состава антисептика. URL: <https://nobel-group.by/tag/disinfection/> (дата обращения: 15.03.2023).
47. Бицидный препарат и способ бицидной обработки поверхности: пат. 2 287348 С2 Рос. Федерация; заявл. 23.12.04; опубл. 20.11.06.
48. Фосфат полигексаметиленгуанидина, обладающий противоопухолевой активностью: а. с. SU 944290; заявл. 16.01.81; опубл. 23.03.86.
49. Средство для защиты древесины: а. с. SU 1698061, заявл. 31.01.90; опубл. 15.12.91.
50. Stable, Low Voc, Low Viscous Biocidal Formulations and Method Of Making Such Formulations: пат. US 2010/286217 (A1); appl. 02.12.08; publ. 11.11.10.
51. Fungicidal mixtures based on triazole fungicides and 4,6-dimethyl-N-phenyl-2-pyrimidinamine: пат. EP 0556157 A1; appl. 04.02.93; publ. 18.08.93.
52. Micronized wood preservative formulations: пат. US 7674481 B2; appl. 09.04.04; publ. 09.03.10.
53. Biocidal Compound Containing 4,5-Dichloro-2-Cyclohexyl-3-Isothiazolone and Certain Kind of Commercially Available Biocide: пат. JPH 0558817 (A); appl. 10.12.91; publ. 09.03.93.
54. Taylor C.J., Bain L.A., Richardson D.J. et al. Construction of a whole-cell genereporter for the Xuroescent bioassay of nitrate // Analytical Biochemistry. 2014. Vol. 328. Is. 1. P. 60–66. DOI: 10.1016/j.ab.2004.01.013.

#### References

1. Kablov E.N., Erofeev V.T., Svetlov D.A., Smirnov V.F., Bogatov A.D. Biodamages in spacecraft. *Reports of Int. Sci.-tech. Conf. «Composite materials. Theory and practice»*. Penza, 2015, pp. 40–46.
2. Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Yakovenko T.V., Nikolaev E.V. Methods of microorganisms- destructors storage in FSUE «VIAM» collection (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, No. 3 (56), pp. 89–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-89-94.
3. Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Nikolaev E.V., Slavin A.V. Mechanisms of hydrocarbon fuel and other petroleum products destruction by micromycetes (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 3 (60), pp. 66–71. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-66-71.
4. Laptev A.B., Nikolayev E.V., Kolpachkov E.D. Thermodynamic characteristics of aging of polymeric composite materials under conditions of real exploitation. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 3, pp. 80–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-80-88.
5. Kablov E.N., Startsev V.O. Systematical analysis of the climatics influence on mechanical properties of the polymer composite materials based on domestic and foreign sources (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 2 (51), pp. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
6. Laptev A.B., Nikolaev E.V., Kurshev E.V., Goryashnik Yu.S. Features of biodegradation of thermoplastics based on polyesters in different climatic zones. *Trudy VIAM*, 2019, no. 7 (79), paper no. 10. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 19, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-84-91.
7. Turova T.P., Sokolova D.Sh., Nazina T.N., Gruzdev D.S., Laptev A.B. Phylogenetic diversity of microbial communities from the surface of polyethylene terephthalate materials during exposure to aquatic environments. *Mikrobiologiya*, 2020, vol. 89, pp. 99–110. DOI: 0.31857/S0026365620010152

8. Averina A.E., Laptev A.B., Nesterov A.S., Sarvaeva G.A., Nikolaev E.V. Application of quantum-chemical calculations to evaluate the aging processes of polyethylene terephthalate under the influence of climate. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 3 (60), pp. 47–56. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-47-56.
9. Kablov E.N. The role of chemistry in the creation of new generation materials for complex technical systems. *XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 5 vols. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016, vol. 1, pp. 25–26.
10. Williams J.F., Worley S.D. Process Hygiene. Types of Biocides. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 1999, pp. 1794–1801.
11. Ribeiro M., Simões L.C. Simões, M. Biocides. *Encyclopedia of Microbiology*. Fourth Edition. 2019, pp. 478–490.
12. Wypych A., Wypych G. *Databook of UV Stabilizers*. 2nd ed. Elsevier, 2020, 644 p.
13. Rossmoore H.W. Biocides for metalworking lubricants and hydraulic fluids. *Handbook of Biocide and Preservative Use*. Ed. H.W Rossmoore. Dordrecht: Springer, 1995, 52 p. DOI: 10.1007/978-94-011-1354-0\_5.
14. Johannes T., Paulus M. Market Structure Scenarios in International Steam Coal Trade. *The Energy Journal*, 2012, vol. 33, no. 3, pp. 91–123. Available at: <http://www.jstor.org/stable/23268095> (accessed: April 03, 2023).
15. Fraise A.P., Maillard J.Y., Sattar S.A. *Principles and practice of disinfection, preservation and sterilization*. 5th Ed. Heidelberg: John Wiley & Sons, 2013, 606 p.
16. Keasler V.V., Paula R.D., Tidwell T. et al. Biocides overview and applications in petroleum microbiology. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies. Production and Transmission*. Woodhead Publishing Series in Energy, 2017, pp. 539–562. DOI: 10.1016/B978-0-08-101105-8.00023-1.
17. Finnegan E.J., Kovac K.A., Jaligot E. et al. The down-regulation of FLOWERING LOCUS C (FLC) expression in plants with low levels of DNA methylation and by vernalization occurs by distinct mechanisms. *The Plant Journal*. 2005, vol. 44, is. 3, pp. 420–432. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02541.x.
18. Kahrilas G.A., Blotvogel J., Corrin E.R., Borch T. Downhole transformation of the hydraulic fracturing fluid biocide glutaraldehyde: implications for flowback and produced water quality. *Environmental Science & Technology*, 2016, vol. 50, pp. 11414–11423. DOI: 10.1021/acs.est.6b02881.
19. Oliveira G.F., Rohde C., Garcia A.C. et al. Contributions of Dryland Forest (Caatinga) to Species Composition, Richness and Diversity of Drosophilidae. *Neotropical Entomology*, 2016, vol. 45, pp. 537–547. DOI: 10.1007/s13744-016-0406-x.
20. Rubio D., López-Galindo C., Casanueva J.F., Nebota E. Monitoring and assessment of an industrial antifouling treatment. Seasonal effects and influence of water velocity in an open once-through seawater cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 2014, vol. 67, is. 1–2, pp. 378–387. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.03.057.
21. Elumalai S.D., Shaw A.M., Pattillo D.A., Currey C.J., Rosentrater K.A., Xie K. Influence of UV treatment on the food safety status of a model aquaponics system. *Water*, 2017, vol. 9, no. 1, p. 27. DOI: 10.3390/w9010027.
22. Jia R., Yang D., Al-Mahamedh H.H., Gu T. Electrochemical testing of biocide enhancement by a mixture of D-amino acids for the prevention of a corrosive biofilm consortium on carbon steel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2017, vol. 56, no. 27, pp. 7640–7649. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b01534.
23. Lenz R.W. Biodegradable Polymers. *Advances in polymer science*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1993, vol. 107, pp. 1–40.
24. Liu X. A Lightweight Database of Human Nonsynonymous SNPs and Their Functional Predictions. *Human Mutation*, 2011, vol. 32, no. 8, pp. 894–899. DOI: 10.1002/humu.21517.
25. Wu W., Pang X., Lin J. et al. Discovery of a new subgroup of sulfur dioxygenases and characterization of sulfur dioxygenases in the sulfur metabolic network of *Acidithiobacillus caldus*. *Public Library of Science*, 2017, vol. 12, is. 9, pp. 1–23. DOI: 10.1371/journal.pone.0183668.

26. Farina R., Ehrhardt F., Bellocchi G., Chenu C. et al. C-MIP: An international model inter-comparison simulating organic carbon dynamics in bare fallow soils. *Abstracts of 6th International Symposium on Soil Organic Materials*. Harpenden, 2017, p. 24.
27. Kahrilas P.J., Bredenoord A.J., Fox M., Gyawali C.P., Roman S., Smout A.J.P.M. et al. The Chicago Classification of Esophageal Motility Disorders, v3.0. *Journal of Neurogastroenterology and Motility*. 2015, vol. 27, no. 2, pp. 160–174. DOI: 10.1111/nmo.12477.
28. Kolodkin-Gal I., Romero D., Cao S. et al. D-amino acids trigger biofilm disassembly. *Science*, 2010, vol. 328, pp. 627–629. DOI: 10.1126/science.1188628.
29. Kao W.K., Frye M., Gagnon P. et al. D-amino acids do not inhibit biofilm formation. *Laryngoscope Investigative Otolaryngol*, 2017, vol. 2, no. 2, pp. 4–9. DOI: 10.1002/lio2.34.
30. Cava F., Lam H., De Pedro M.A., Waldor M.K. Emerging knowledge of regulatory roles of d-amino acids in bacteria. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2011, vol. 68, pp. 817–831. DOI: 10.1007/s00018-010-0571-8.
31. Lam A. J., St-Pierre F., Gong Y. et al. Improving FRET dynamic range with bright green and red fluorescent proteins. *Nature Methods*, 2012, vol. 9, pp. 1005–1012. DOI: 10.1038/nmeth.2171.
32. Yang D., Jia R, Rahman H.B.A., Gu T. Preliminary Investigation of Utilization of a Cellulose-Based Polymer in Enhanced Oil Recovery by Oilfield Anaerobic Microbes and its Impact on Carbon Steel Corrosion. *Corrosion Journal*, 2020, vol. 76, is. 8, pp. 766–772. DOI: 10.5006/3476.
33. Jia R., Li Y., Al-Mahamedh H.H., Gu T. Enhanced Biocide Treatments with D-amino Acid Mixtures against a Biofilm Consortium from a Water Cooling Tower. *Frontiers in Microbiology*, 2017, vol. 8, art. 1538. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01538.
34. Jia R., Yang D., Xu D., Gu T. Mitigation of a nitrate reducing *Pseudomonas aeruginosa* biofilm and anaerobic biocorrosion using ciprofloxacin enhanced by D-tyrosine. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, art. 6946. DOI: 10.1038/s41598-017-07312-7.
35. Li Z., Yang J., Guo H. et al. Carbon Source Starvation of a Sulfate-Reducing Bacterium–Elevated MIC Deterioration of Tensile Strength and Strain of X80 Pipeline Steel. *Frontiers in Materials*, 2021, vol. 8, art. 794051. DOI: 10.3389/fmats.2021.794051.
36. Xu Z.P., Jin Y., Liu S. et al. Surface charging of layered double hydroxides during dynamic interactions of anions at the interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2008, vol. 326, is. 2, pp. 522–529. DOI: 10.1016/j.jcis.2008.06.062.
37. Xu W., Molino B.Z., Cheng F. et al. On Low-Concentration Inks Formulated by Nanocellulose Assisted with Gelatin Methacrylate (GelMA) for 3D Printing toward Wound Healing Application // *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2019, vol. 11, pp. 8838–8848. DOI: 10.1021/acsami.8b21268.
38. Sánchez-Higueras C., Sotillos S., Castelli-GairHombria J. Common origin of insect trachea and endocrine organs from a segmentally repeated precursor. *Current Biology*, 2014, vol. 24, is. 1, pp. 76–81. DOI: 10.1016/j.cub.2013.11.010.
39. Zilm P.S., Butnejski V., Rossi-Fedele G., Kidd S.P. et al. D-amino acids reduce *Enterococcus faecalis* biofilms in vitro and in the presence of antimicrobials used for root canal treatment. *Public Library of Science*, 2017, vol. 12, is. 2, art. e0170670. DOI: 10.1371/journal.pone.0170670.
40. Ou M., Ling J. Norspermidine changes the basic structure of *S. mutans* biofilm. *Molecular Medicine Reports*, 2016, vol. 5, pp. 210–220. DOI: 10.3892/mmr.2016.5979.
41. Qu S.X., Li H.P., Ma L., Song J.D. Insights into the evolution of chemoreceptor genes superfamily in *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). *Journal of Medical Entomology*, 2016, vol. 53, is. 4, pp. 753–759. DOI: 10.1093/jme/tjv257.
42. Ortega A., Farah S., Tranque P. et al. Antimicrobial evaluation of quaternary ammonium polyethyleneimine nanoparticles against clinical isolates of pathogenic bacteria. *IET Nanobiotechnology*, 2015, vol. 9, is. 6, pp. 342–348. DOI: 10.1049/iet-nbt.2014.0078.
43. Shi J., Long C., Li A. Selective reduction of nitrate into nitrogen using Fe–Pd bimetallic nanoparticle supported on chelating resin at near-neutral pH. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 286, pp. 408–415. DOI: 10.1016/j.cej.2015.10.054.
44. Gonik A.A. *Hydrogen sulfide corrosion and measures to prevent it*. Moscow: Nedra, 1966, 178 p.

45. Kuznetsov S.I. *The role of microorganisms in the cycle of substances in lakes*. Moscow: AN SSSR, 1952, 300 p.
46. Polyakov A. *Analysis of the composition of the antiseptic*. Available at: <https://nobel-group.by/tag/disinfection/> (accessed: March 15, 2023).
47. Biocidal preparation and method of biocidal surface treatment: pat. 2 287348 C2 Rus. Federation; appl. 23.12.04; publ. 20.11.06.
48. *Polyhexamethyleneguanidine phosphate with antitumor activity*: certificate of authorship SU 944290; appl. 16.01.81; publ. 23.03.86.
49. *Wood preservative*: certificate of authorship SU 1698061, appl. 31.01.90; publ. 15.12.91.
50. *Stable, Low Voc, Low Viscous Biocidal Formulations and Method Of Making Such Formulations*: pat. US 2010/286217 (A1); appl. 02.12.08; publ. 11.11.10.
51. *Fungicidal mixtures based on triazole fungicides and 4,6-dimethyl-N-phenyl-2-pyrimidinamine*: pat. EP 0556157 A1; appl. 04.02.93; publ. 18.08.93.
52. *Micronized wood preservative formulations*: pat. US 7674481 B2; appl. 09.04.04; publ. 09.03.10.
53. *Biocidal Compound Containing 4,5-Dichloro-2-Cyclohexyl-3-Isothiazolone and Certain Kind of Commercially Available Biocide*: pat. JPH 0558817 (A); appl. 10.12.91; publ. 09.03.93.
54. Taylor C.J., Bain L.A., Richardson D.J. et al. Construction of a whole-cell genereporter for the Xuroescent bioassay of nitrate. *Analytical Biochemistry*, 2014, vol. 328, is. 1, pp. 60–66. DOI: 10.1016/j.ab.2004.01.013.

#### Информация об авторах

**Кравченко Наталья Геннадьевна**, ведущий инженер, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Шекин Виталий Константинович**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Лаптев Анатолий Борисович**, главный научный сотрудник, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Кривушина Анастасия Александровна**, старший научный сотрудник, к.б.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

#### Information about the authors

**Natalya G. Kravchenko**, Leading Engineer, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Vitaly K. Shchekin**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Anatoly B. Laptev**, Chief Researcher, Doctor of Sciences(Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Anastasia A. Krivushina**, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Bio.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 12.05.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 16.05.2023.  
The article was submitted 12.05.2023; approved and accepted for publication after reviewing 16.05.2023.