

Оригинальное исследование

УДК 620.193.83

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_03_341

EDN: JNZLVU

Исследование активности ингибиторов атмосферной коррозии против плесневых грибов

Е.И. Карзина, М.А. Гайдым

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки эффективных методов защиты судового оборудования от биохимического воздействия. Поскольку в процессе жизнедеятельности патогенных грибов вырабатываются метаболиты и ферменты, разрушающие металлические конструкции. Для успешного применения такие материалы должны соответствовать следующим ключевым требованиям: надёжная защита от коррозии; доступность сырья для производства; простота технологического процесса получения; совместимость с различными консервационными основами (масло, топливо, вода); способность подавлять развитие плесневых грибов; низкая токсичность и отсутствие резкого запаха; возможность контроля концентрации в растворе; безопасные методы утилизации отработанных растворов; приемлемая стоимость.

Цель работы — оценка антигрибковой эффективности ингибирующих составов, применяемых для защиты металлических конструкций.

Методы. Исследование было выполнено с использованием распространённых в судоремонтной практике контактных и летучих ингибиторов коррозии. В работе используется диско-диффузионный метод анализа, позволяющий наглядно увидеть фунгистатический эффект.

Результаты. Экспериментальные исследования позволили установить превосходство летучих ингибиторов над контактными. На основании чего построена объективная иерархия ингибиторов по практической применимости, эффективности в борьбе с биохимической коррозией и уровню токсической нагрузки.

Заключение. Проведенные исследования демонстрируют необходимость дальнейшего совершенствования методов защиты судового оборудования от биохимической коррозии с акцентом на применение летучих ингибиторов как более эффективного средства защиты.

Ключевые слова: патогенные грибы; ингибитор коррозии; фунгистатический эффект; консервация оборудования.

Как цитировать

Карзина Е.И., Гайдым М.А. Исследование активности ингибиторов атмосферной коррозии против плесневых грибов // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 3. С. 341–346. DOI: 10.52899/24141437_2025_03_341 EDN: JNZLVU

Original Study Article

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_03_341

EDN: JNZLVU

Investigation of Atmospheric Corrosion Inhibitors' Activity Against Mold Fungi

Ekaterina I. Karzina, Marina A. Gaidym

Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: There is a need to develop effective methods for protecting marine equipment from biochemical corrosion. In addition, pathogenic fungi produce metabolites and enzymes that destroy metal structures. For successful use, such materials must meet the following key requirements: reliable corrosion protection; availability of raw materials for production; user-friendly processes; compatibility with various preservative bases (oil, fuel, and water); the ability to suppress the development of mold fungi; low toxicity and no pungent odor; the ability to control the concentration in the solution; safe disposal methods of used solutions, and affordable cost.

AIM: To evaluate the antifungal efficacy of inhibitory compounds used to protect metal structures.

METHODS: The study used contact and volatile corrosion inhibitors common in ship repair practice. The study involves the disk diffusion test, which allows to clearly see the fungistatic effect.

RESULTS: Experimental studies have shown that volatile inhibitors surpass contact ones. In the premises, an objective hierarchy of inhibitors has been built based on their applicability, biochemical corrosion efficacy, and toxic load.

CONCLUSION: The studies show the need for further improvement of methods for protecting ship equipment from biochemical corrosion with an emphasis on the use of volatile inhibitors as a more effective means of protection.

Keywords: pathogenic fungi; corrosion inhibitor; fungistatic effect; equipment preservation.

To cite this article

Karzina EI, Gaidym MA. Investigation of Atmospheric Corrosion Inhibitors' Activity Against Mold Fungi. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University*. 2025;4(3):341–346. DOI: [10.52899/24141437_2025_03_341](https://doi.org/10.52899/24141437_2025_03_341) EDN: JNZLVU

ВВЕДЕНИЕ

Судовое металлическое оборудование под действием агрессивной среды выходит из строя раньше времени. Для защиты металла применяются различные средства борьбы с коррозией. В том числе ингибиторы, которые позволяют предотвратить развитие химической, электрохимической и биохимической коррозии. Биохимическая коррозия возникает в результате продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. В процессе роста патогенные грибы образуют, разрушающие металл, метаболиты и ферменты. В условиях повышенной влажности морской атмосферы и теплого климата на металлической поверхности создается благоприятная среда для развития плесневых грибов. Ингибиторы атмосферной коррозии должны эффективно подавлять их рост и развитие. Принцип работы заключается в образовании защитной пленки, которая препятствует проникновению влаги и кислорода, необходимых для жизнедеятельности грибов. Также фунгистатическим эффектом обладают активные компоненты ингибитора, которые подавляют метаболические процессы в клетках грибов, препятствуя их размножению и росту [1].

Цель исследования — изучение эффективности ингибиторов коррозии в подавлении роста и развития патогенных грибов на поверхности металлических конструкций судового оборудования.

МЕТОДЫ

1. Фунгистатическая активность ингибиторов атмосферной коррозии

Плесневые грибы — это сложные организмы, отличающиеся высокой адаптивностью и устойчивостью к разнообразным химическим веществам. Благодаря уникальным ферментативным системам они способны эффективно перерабатывать как органические, так и неорганические соединения, что обеспечивает их резистентность к множеству химических воздействий. Это усложняет задачу разработки эффективных методов защиты металлических конструкций от биокоррозии. В работе исследуются свойства ингибиторов на фунгистатическую активность, способных предотвращать развитие как химической, так и микробиологической коррозии [2].

Для проведения исследований использовались следующие ингибиторы.

ФМТ — ингибитор атмосферной коррозии. Жидкая смесь активных компонентов на основе модифицированных жирных кислот талового масла с добавлением производных хлорофилла. Относится к 4 классу опасности веществ для здоровья человека и окружающей среды. Используется для временной защиты или консервации стальных изделий и конструкций во время их хранения и транспортировки в условиях умеренного климата. Угнетает развитие микроорганизмов ограничивая доступ

кислорода и влаги, создавая пленку на поверхности металла.

Н-М-1 — контактный ингибитор коррозии. Представляет собой прозрачную жидкость, которая при нанесении на металл образует защитную пленку на поверхности. Образующийся слой также ограничивает доступ кислорода и влаги, взаимодействуя с клеточными структурами грибов. Относится к веществам 3 класса опасности для здоровья человека и окружающей среды [3].

ВНХ-Л-20 — летучий ингибитор атмосферной коррозии. Производится в виде белого кристаллического порошка, который легко растворяется в воде и других растворителях. Обладает широким спектром действия. Принцип работы заключается в экранировании металла от окружающей среды. Относится к веществам 1 класса опасности для здоровья человека и окружающей среды — чрезвычайно опасные. Требуется обязательное соблюдение техники безопасности при его использовании и хранении.

ВНХ-Л-49 — комбинированный ингибитор, сочетающий летучие и контактные свойства. Представляет собой светло-желтую жидкость. Имеет обширную область применения. Механизм действия основан на создании защитного барьера, который изолирует металл от воздействия окружающей среды. Также, как и ВНХ-Л-20 является веществом первого класса опасности, что представляет серьезный риск для здоровья людей и экосистемы [2].

ЦГА (Циклический галактозаминовый агент) — контактный ингибитор с высокой фунгистатической активностью. Бесцветная жидкость, взаимодействует с клеточными стенками грибов, нарушая их жизнедеятельность и препятствуя размножению. ЦГА относится ко второму классу опасности [4].

При выборе ингибитора стоит учитывать класс опасности и применять наименее опасный состав.

2. Применение и исследование

Для оценки эффективности выбранных ингибиторов требуется подобрать рабочий интервал концентрации, в пределах которой обеспечивается фунгистатический эффект, определить время защитного действия ингибитора и провести визуальную оценку скорости роста грибов на обработанных и необработанных поверхностях.

Для определения фунгистатической эффективности исследуемых материалов были выбраны широко распространенные и активные патогенные грибы, вызывающие биоповреждения: *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride*, *Clostridium resinae* и *Aspergillus oryzae*. Выделенные грибы имеют возможность получать энергию как из органических, так и из неорганических материалов. Эти микроорганизмы представляют серьезную угрозу для различных материалов и были выбраны для тестирования ввиду их способности активно разрушать поверхности [5].

3. Методика проведения исследований

1. Стерилизация

Стеклянная посуда стерилизовалась. Для исследования были использованы чашки Петри, которые предварительно заполняли питательной средой. Питательная среда Чапека (состав: сахара — 30 г/дм³, NaNO₃ — 3 г/дм³, KH₂PO₄ — 1 г/дм³, MgSO₄·7H₂O — 0,5 г/дм³, KCl — 0,5 г/дм³, FeSO₄·7H₂O — 0,01 г/дм³, агар — 15 г/дм³) автоклавировалась насыщенным водяным паром при повышенном давлении. В эту среду были добавлены специальные составы, включающие диски из фильтровальной бумаги. Эти диски пропитывали исследуемыми растворами, что позволяло впоследствии оценить их влияние на рост микроорганизмов.

При визуальной оценке наблюдалось наличие или отсутствие зоны задержки роста микроорганизмов вокруг дисков.

При необходимости измерялись диаметры зон отсутствия роста для оценки эффективности исследуемых растворов.

Таким образом, данная методика позволяла оценить влияние различных растворов на рост микроорганизмов и определить их фунгистатическую или фунгицидную активность.

Сосуды закрывались ватными пробками для предотвращения загрязнения.

2. Посев микроорганизмов

На поверхность среды с дисками наносили суспензию тест-объектов 0,5 мл с концентрацией 10⁶ КОЕ/мл — микроорганизмов, которые использовались для исследования. Шпателем Дригальского равномерно распределяли микроорганизмы по поверхности агара. Это делалось для того, чтобы оценить влияние исследуемых растворов на их рост и развитие.

3. Испытание ингибиторов

Чашки Петри помещали в термостат, где поддерживалась постоянная температура 24°C в течение 5 суток. Это оптимальная температура для роста большинства микроорганизмов. Такой период позволял микроорганизмам

полностью проявить свои свойства и реакцию на воздействие исследуемых растворов.

4. Анализ результатов после инкубации

По завершении периода инкубации проводили измерение линейного роста колоний грибов. Оценивался диаметр каждой колонии. Полученные данные сравнивались между контрольными образцами, в которых не использовались фунгициды (среда без препаратов), и образцами, в которые были добавлены исследуемые препараты. Проведение сравнительного анализа позволяло определить эффективность исследуемых препаратов в подавлении роста грибов. Оценивалось, насколько успешно препараты препятствовали развитию колоний по сравнению с контрольной средой, где фунгициды отсутствовали. Это давало возможность сделать выводы о фунгистатической активности тестируемых веществ. Оценку активности ингибиторов против патогенных грибов осуществляли по критерию присутствия или отсутствия зоны с задержкой роста.

Эффективность подавления роста грибов (тормозной эффект) определяли с использованием формулы Эббота:

$$\Xi = \left(\frac{D_k - D_o}{D_k} \right) \cdot 100\%,$$

где Ξ — процент торможения роста в сравнении с контрольной группой; D_k — диаметр колоний в контрольной группе (без добавления препаратов); D_o — диаметр колоний в опытной группе (с добавлением исследуемых препаратов).

Формула позволяет вычислить относительное снижение диаметра колоний грибов в присутствии исследуемых веществ по сравнению с контрольными образцами. Полученное значение в процентах отражает эффективность ингибирования роста грибов. Чем ближе значение Ξ к 100%, тем сильнее подавляющее действие исследуемого препарата на развитие грибковых колоний.

5. Интерпретация результатов

Значение Ξ близкое к 0% указывает на отсутствие эффекта препарата; значения в диапазоне 0–100% показывают степень подавления роста грибов; 100%

Таблица 1. Оценка активности ингибиторов против патогенных грибов

Table 1. Evaluation of inhibitor activity against pathogenic fungi

Ингибиторы коррозии	Патогенные грибы					
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Trichoderma viride</i>	<i>Clostridium resinae</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>
ФМТ	—	+	—	—	—	—
Н-М-1	—	—	+	+	—	—
ВНХ-Л-20	—	—	—	—	—	—
ВНХ-Л-49	—	—	—	—	—	—
ЦГА	—	—	+	—	—	—

означает полное ингибирование роста колоний в присутствии препарата.

В ходе проведённых экспериментов были получены данные о том, насколько эффективно различные ингибиторы справляются с подавлением роста этих грибов. Основные результаты исследований систематизированы в таблице [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ

При сравнении двух типов ингибиторов с разным принципом защиты, наиболее высокую степень фунгистатической активности проявили летучие ингибиторы. Циклический галактозаминовый агент демонстрирует мощное ингибирующее действие на рост грибов по всей площади чашки Петри. Расчет по формуле Эббота позволил оценить активность контактных ингибиторов и его способность сдерживать рост около — 4–6% грибов. Ингибитор ФМТ относится к малоопасным веществам, однако продемонстрировал высокую результативность в борьбе с грибковой деградацией материалов. Примечательно, что ФМТ демонстрирует высокую эффективность даже при минимальной концентрации в один процент в дизельном топливе. Особенность его действия обусловлена наличием в составе медных соединений хлорофилла и смоляных кислот. Минеральные масла и топливо, которые нередко выступают в качестве питательной среды для сапрофитных грибов, не оказывают влияния на эффективность действия ингибитора. Это подтверждает его практическую ценность в реальных условиях эксплуатации.

Проведенный эксперимент позволит выявить эффективные материалы для защиты поверхностей от патогенных грибов и определить их оптимальные условия применения в различных эксплуатационных сценариях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для защиты судового оборудования от коррозии применяются как водные, так и масляные консерванты. Предпочтительно использовать водные растворы ингибиторов, т.к. при удалении консервации стоки не обладают токсическим действием на экосистему. Однако у водных растворов есть существенный недостаток — в них часто происходит размножение микроорганизмов, что может привести к развитию биохимической коррозии. Значит, при выборе антикоррозионной защиты необходимо учитывать баланс между эффективностью защиты от коррозии и необходимостью предотвращения роста микроорганизмов в водной фазе консерванта.

Для снижения токсической нагрузки на экосистему лучше использовать ингибиторы коррозии, обладающие низкой токсичностью, такие как ФМТ. Биоцидное действие обусловлено спецификой его химического состава.

Который состоит из малоопасных соединений меди в форме медных производных хлорофилла и смоляных кислот.

Наибольшую сопротивляемость ингибиторам проявил пеницилл распротёртый. Однако в морской среде этот гриб не встречается. Он распространен только в почве.

Ингибитор Н-М-1 в концентрации один процент на водной основе подавляет рост всех патогенных микроорганизмов, кроме рода Аспергилл.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.И. Карзина — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; М.А. Гайдим — редактирование текста рукописи; Е.И. Карзина, М.А. Гайдим — экспертная оценка, утверждение финальной версии. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, данные).

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали один рецензент, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: Ekaterina I. Karzina: investigation, writing—original draft; M.A. Gaidym: writing—review & editing; Ekaterina I. Karzina, M.A. Gaidym: expert review, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agree to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text or data) was used in this study or article.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved one reviewer, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крымская Р.С. Совершенствование методов консервации продуктов судостроения. дисс. канд. техн. наук. М., 2013. EDN: SUYXDL
2. Крымская Р.С., Гармашова И.В., Ананьева Е.Н., Трусов В.И. Особенности фунгистатической активности ингибиторов атмосферной коррозии по отношению к плесневым грибам // Естественные и технические науки. № 6(56). 2011. С. 323–328. EDN: OPBZYZ
3. Пласкеева Е.И. Совершенствование методов восстановления защитных покрытий при ремонте морской техники. дисс. канд. техн. наук. М., 2021. EDN: VFEOVS

4. Пласкеева Е.И., Богданова С.Е., Крымская Р.С. Биологическое тестирование технологий водной консервации металлоизделий // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60, № 12. С. 70–74. EDN: MZOMZP
5. Пласкеева Е.И., Трусов В.И. Защита от коррозии труднодоступных конструкций отсеков судов // Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т. 2, № 3(45) С. 107–110. EDN: TNLBVK
6. Ананьева Е.Н., Соколова М.А. Исследование биостойкости защитных покрытий судовых конструкций // Защита металлов. 2018. Т. 54, № 3. С. 278–284.

REFERENCES

1. Krymskaya RS. *Improving the methods of preserving shipbuilding products* [dissertation] Moscow; 2013. (In Russ.) EDN: SUYXDL
2. Krymskaya RS, Garmashova IV, Ananyeva EN, Trusov VI. Features of fungistatic activity of atmospheric corrosion inhibitors in relation to mold fungi. *Natural and technical sciences*. 2011;6(56):323–328. (In Russ.) EDN: OPBZYZ
3. Plaskeyeva EI. *Improving the methods of restoring protective coatings during the repair of marine equipment* [dissertation] Moscow; 2021. (In Russ.) EDN: VFEOVS

4. Plaskeyeva EI, Bogdanova SE, Krymskaya RS. Biological testing of water preservation technologies for metal products. *Butlerov communications*. 2019;60(12):70–74. (In Russ.) EDN: MZOMZP
5. Plaskeyeva EI, Trusov VI. Corrosion protection of hard-to-reach ship compartment structures. *Marine intellectual technologies*. 2019;2(3(45)):107–110. (In Russ.) EDN: TNLBVK
6. Ananyeva EN, Sokolova MA. Study of bioresistance of protective coatings of ship structures. *Protection of metals*. 2018;54(3):278–284. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Карзина Екатерина Ивановна,

канд. техн. наук, доцент, кафедра химии; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;
адрес: Россия, 190121, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, д. 3;
eLibrary SPIN: 7638-3213;
e-mail: ekaterina.plaskeeva@list.ru

Гайдим Марина Андреевна,

ассистент, кафедра химии; аспирант, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;
eLibrary SPIN: 5395-5509;
e-mail: marina.zhdanova.1998@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Ekaterina I. Karzina,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, Department of Chemistry Saint Petersburg State Marine Technical University;
address: 3 Lotsmanskaya st, Saint Petersburg, 190121, Russia;
eLibrary SPIN: 7638-3213;
e-mail: ekaterina.plaskeeva@list.ru

Marina A. Gaidym,

Assistant, Department of Chemistry; Postgraduate Student, Saint Petersburg State Marine Technical University;
eLibrary SPIN: 5395-5509;
e-mail: marina.zhdanova.1998@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author