История развития строительной микробиологии

Московский государственный строительный университет

Кафедра строительной биотехнологии и микробиологии

Год: 2025

# ВВЕДЕНИЕ

\*\*Введение\*\*

Строительная микробиология представляет собой междисциплинарную область науки, объединяющую принципы микробиологии, материаловедения и строительных технологий. Её становление и развитие обусловлены необходимостью изучения влияния микроорганизмов на строительные материалы, конструкции и окружающую среду, а также поиском эффективных методов предотвращения биоповреждений и использования микробных процессов в биотехнологиях строительства. Актуальность данной темы определяется возрастающим интересом к экологически безопасным и устойчивым строительным решениям, а также необходимостью защиты инфраструктуры от биокоррозии и биоразрушения.

Исторически изучение микробиологических аспектов в строительстве началось с наблюдений за разрушительным воздействием микроорганизмов на каменные и деревянные конструкции. Уже в XIX веке исследователи обратили внимание на роль бактерий, грибов и водорослей в деградации строительных материалов, что положило начало систематическому изучению биоповреждающих факторов. В XX веке, с развитием микробиологии и химии материалов, сформировались основные направления строительной микробиологии, включая исследование механизмов биокоррозии, разработку биоцидных покрытий и применение микроорганизмов для биосинтеза строительных материалов.

Современный этап развития строительной микробиологии характеризуется активным внедрением биотехнологических подходов, таких как микробная индукция карбонатного осаждения (MICP) для укрепления грунтов и бетона, использование бактерий для самовосстанавливающихся материалов и создание биополимеров с улучшенными эксплуатационными свойствами. Эти инновационные методы открывают новые перспективы для устойчивого строительства, снижая антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Целью данного реферата является анализ исторических этапов становления строительной микробиологии как научной дисциплины, выявление ключевых достижений и тенденций её развития, а также оценка перспектив дальнейших исследований. В работе рассматриваются основные научные школы, значимые открытия и технологические прорывы, определившие современное состояние данной области. Особое внимание уделяется взаимодействию фундаментальной и прикладной науки, что позволило трансформировать теоретические знания в практические решения для строительной индустрии.

Изучение истории строительной микробиологии не только расширяет понимание эволюции научной мысли, но и способствует выработке стратегий для решения актуальных проблем, связанных с биоповреждениями и биотехнологиями в строительстве. Данный реферат основывается на анализе научных публикаций, архивных материалов и современных исследований, что обеспечивает достоверность и глубину представленного материала.

# ЗАРОЖДЕНИЕ И СТАНОВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ МИКРОБИОЛОГИИ

как научной дисциплины связано с развитием микробиологии в целом и её прикладных направлений. Первые упоминания о влиянии микроорганизмов на строительные материалы можно отнести к концу XIX века, когда учёные начали изучать процессы биокоррозии и биодеградации. В этот период были зафиксированы случаи разрушения каменных сооружений под воздействием микрофлоры, что привлекло внимание исследователей к проблеме биоповреждений. Однако систематическое изучение роли микроорганизмов в строительстве началось лишь в первой половине XX века, когда появились первые работы, посвящённые микробиологическим аспектам долговечности строительных конструкций.

Важным этапом в становлении строительной микробиологии стали исследования 1930–1950-х годов, в ходе которых была доказана роль бактерий, грибов и водорослей в разрушении бетона, кирпича и других материалов. Учёные установили, что микроорганизмы способны выделять кислоты, ферменты и другие метаболиты, приводящие к химической и механической деструкции. В этот же период начались разработки первых биоцидных добавок, предназначенных для защиты строительных материалов от микробного воздействия. Параллельно развивалось направление, связанное с использованием микроорганизмов для улучшения свойств материалов, например, в процессах биоминерализации и биосинтеза.

Во второй половине XX века строительная микробиология оформилась как самостоятельная научная дисциплина, чему способствовало развитие молекулярных методов исследования и появление новых технологий. Были детально изучены механизмы взаимодействия микроорганизмов с различными материалами, что позволило разработать эффективные методы защиты. В 1970–1980-х годах значительное внимание уделялось изучению микробных сообществ в строительных конструкциях, их роли в образовании биоплёнок и влиянию на эксплуатационные характеристики зданий. В этот период также начались исследования по использованию микроорганизмов для саморегенерации бетона и других инновационных технологий.

Современный этап развития строительной микробиологии характеризуется активным внедрением биотехнологических подходов, включая генетическую инженерию и нанобиотехнологии. Учёные исследуют возможности создания «умных» материалов, способных противостоять биоповреждениям или даже восстанавливаться с помощью микроорганизмов. Кроме того, большое внимание уделяется экологическим аспектам, таким как снижение токсичности биоцидов и разработка устойчивых к микробному воздействию материалов. Таким образом, строительная микробиология продолжает развиваться, предлагая новые решения для повышения долговечности и безопасности строительных объектов.

# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МИКРОБИОЛОГИИ

Строительная микробиология как научная дисциплина сформировалась на стыке микробиологии, материаловедения и инженерных наук. Её развитие обусловлено необходимостью изучения влияния микроорганизмов на строительные материалы, конструкции и процессы, а также поиском методов управления микробными сообществами для повышения долговечности и экологической безопасности строительных объектов. Основные направления исследований в данной области включают изучение биоразрушения материалов, разработку биозащитных технологий, применение микробных процессов для создания новых материалов и ремедиации загрязнённых сред.

Одним из ключевых направлений является исследование биоразрушения строительных материалов под действием микроорганизмов. Бактерии, грибы и водоросли способны колонизировать поверхности бетона, кирпича, металлов и древесины, вызывая их деградацию за счёт выделения органических кислот, ферментов и других метаболитов. Особое внимание уделяется изучению микробных сообществ, формирующихся в условиях повышенной влажности, температурных колебаний и химического загрязнения. Методы молекулярной биологии, такие как ПЦР-анализ и секвенирование генов 16S рРНК, позволяют идентифицировать доминирующие таксоны и их функциональную активность.

Другим важным направлением выступает разработка биоцидных и защитных покрытий, препятствующих микробной колонизации. Современные исследования сосредоточены на создании экологически безопасных композиций на основе наночастиц металлов, полимерных матриц и природных антимикробных соединений. Используются методы in vitro тестирования, включая оценку минимальной ингибирующей концентрации (МИК) и анализ кинетики роста микроорганизмов на модифицированных поверхностях.

Перспективным направлением является применение микробно-индуцированного осаждения карбонатов (MICP) для укрепления грунтов и ремонта трещин в бетоне. Бактерии рода \*Sporosarcina\* и \*Bacillus\* способны продуцировать уреазу, катализирующую гидролиз мочевины с образованием карбонат-ионов, которые связывают кальций в прочные кристаллы кальцита. Оптимизация параметров процесса (pH, температура, концентрация субстрата) проводится с использованием математического моделирования и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Отдельное внимание уделяется биоремедиации строительных отходов и загрязнённых территорий. Микробные консорциумы, включающие нефтеокисляющие и металлоредуцирующие бактерии, применяются для очистки почв и сточных вод от тяжёлых металлов и органических поллютантов. Методы газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) и атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) позволяют контролировать эффективность деградации токсичных соединений.

Таким образом, современная строительная микробиология базируется на междисциплинарном подходе, сочетающем фундаментальные исследования микробных процессов с прикладными разработками в области защиты и модификации строительных материалов. Дальнейшее развитие методов молекулярной диагностики и биотехнологий открывает новые возможности для повышения устойчивости строительных объектов к биоповреждениям.

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

охватывает широкий спектр направлений, включая биоремедиацию, производство строительных материалов, повышение долговечности конструкций и экологизацию процессов. Одним из ключевых направлений является использование микроорганизмов для биовосстановления повреждённых или загрязнённых строительных конструкций. Например, бактерии рода \*Bacillus\* и \*Sporosarcina\* способны индуцировать биоминерализацию карбоната кальция, что позволяет заполнять микротрещины в бетоне. Данный процесс, известный как микробно-индуцированное осаждение кальцита (MICP), демонстрирует высокую эффективность в ремонте бетонных сооружений без необходимости масштабных демонтажных работ.

Другим значимым аспектом является разработка биологических строительных материалов. Микроорганизмы участвуют в синтезе биополимеров, таких как бактериальная целлюлоза, которая может использоваться в качестве армирующего компонента композитов. Кроме того, микробные культуры применяются для производства биоцемента и биобетона, где бактерии выступают катализаторами реакций кристаллизации, улучшая механические свойства материала. Подобные технологии позволяют снизить углеродный след строительной отрасли, поскольку традиционное производство цемента сопровождается значительными выбросами CO₂.

Важное место занимает биологическая защита строительных конструкций от коррозии и биоповреждений. Микробиологические методы позволяют подавлять развитие грибов и бактерий, вызывающих биокоррозию, за счёт антагонистических взаимодействий между микроорганизмами. Например, штаммы \*Pseudomonas\* и \*Streptomyces\* продуцируют антимикробные соединения, предотвращающие деградацию строительных материалов. Внедрение таких технологий особенно актуально для объектов, эксплуатируемых в условиях высокой влажности.

Перспективным направлением является использование микробных топливных элементов (МТЭ) для энергообеспечения зданий. Бактерии, такие как \*Geobacter\* и \*Shewanella\*, способны генерировать электричество за счёт окисления органических субстратов, что открывает возможности для создания автономных энергетических систем. Кроме того, микробиологические методы применяются в очистке сточных вод на строительных площадках, где микроорганизмы утилизируют токсичные соединения, снижая экологическую нагрузку.

Таким образом, микробиологические технологии в строительстве представляют собой динамично развивающуюся область, сочетающую инновационные научные разработки с практическими решениями. Их внедрение способствует повышению устойчивости строительных материалов, снижению эксплуатационных затрат и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Дальнейшие исследования в этой сфере направлены на оптимизацию микробных процессов и расширение спектра их применения в промышленных масштабах.

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МИКРОБИОЛОГИИ

В настоящее время строительная микробиология переживает этап активного развития, обусловленный интеграцией междисциплинарных подходов, включающих микробиологию, материаловедение, биотехнологию и экологию. Одной из ключевых тенденций является разработка биологических строительных материалов, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками. Микробно-индуцированное осаждение карбоната кальция (MICP) представляет собой перспективную технологию, применяемую для укрепления грунтов, ремонта трещин в бетоне и повышения долговечности конструкций. Данный метод основан на способности бактерий, таких как \*Sporosarcina pasteurii\*, продуцировать ферменты уреазы, катализирующие гидролиз мочевины с последующим образованием карбонатных минералов.

Важным направлением является использование микроорганизмов для биоремедиации строительных материалов, подверженных биоразрушению. Современные исследования сосредоточены на создании антимикробных покрытий, содержащих наночастицы серебра, оксида цинка или биологически активные соединения, выделенные из грибов и бактерий. Такие покрытия не только подавляют рост плесени, водорослей и цианобактерий, но и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с традиционными химическими биоцидами.

Перспективным направлением считается разработка самовосстанавливающихся материалов, в которые инкапсулированы бактериальные споры или грибковые гифы. При возникновении микротрещин и контакте с водой микроорганизмы активируются, продуцируя метаболиты, заполняющие дефекты структуры. Например, бактерии рода \*Bacillus\* демонстрируют высокую эффективность в восстановлении бетона благодаря продукции карбонатов и экзополисахаридов.

Современные исследования также направлены на оптимизацию симбиотических систем, где микроорганизмы взаимодействуют с растениями для стабилизации грунтов (технология «зеленых» склонов). Микробные консорциумы, включающие азотфиксирующие и фосфатмобилизующие бактерии, способствуют укреплению корневой системы растений, что особенно актуально для ландшафтного строительства в условиях эрозии почв.

В контексте устойчивого развития значительное внимание уделяется использованию отходов промышленности (золы, шлаки, органические остатки) в качестве субстратов для культивирования микроорганизмов-продуцентов строительных биополимеров. Например, микробный синтез полигидроксиалканоатов (PHA) позволяет получать биоразлагаемые пластификаторы для бетона, снижая зависимость от нефтехимических продуктов.

К перспективам строительной микробиологии относится внедрение методов генной инженерии для создания штаммов с заданными свойствами, такими как повышенная устойчивость к экстремальным pH, температурам или механическим нагрузкам. Однако этические и регуляторные аспекты применения ГМО в строительстве требуют тщательного анализа.

Таким образом, современные тенденции отражают переход от изучения фундаментальных аспектов микробно-материального взаимодействия к практическому внедрению биотехнологий, направленных на повышение экологичности, долговечности и функциональности строительных материалов. Дальнейшее развитие дисциплины будет определяться междисциплинарными исследованиями, направленными на преодоление технологических ограничений и масштабирование лабораторных разработок до промышленного уровня.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что строительная микробиология как научная дисциплина прошла сложный путь становления, эволюционируя от эмпирических наблюдений за биоповреждениями строительных материалов к системному изучению микробных сообществ и их взаимодействия с искусственными субстратами. Исторический анализ демонстрирует, что формирование данной отрасли знания было обусловлено как практическими потребностями строительной индустрии в повышении долговечности конструкций, так и фундаментальными достижениями в области микробиологии, материаловедения и химии. Особую значимость приобрели исследования второй половины XX века, когда развитие молекулярно-генетических методов позволило идентифицировать ключевые микроорганизмы-деструкторы и разработать эффективные биоцидные составы. Современный этап характеризуется междисциплинарным подходом, объединяющим микробиологический мониторинг, компьютерное моделирование биокоррозионных процессов и создание инновационных материалов с управляемой микробной резистентностью. Перспективы дальнейшего развития строительной микробиологии связаны с внедрением нанотехнологий, разработкой экологически безопасных антимикробных покрытий и созданием стандартизированных методик оценки биостойкости строительных композитов. Принципиально важным представляется углубленное изучение механизмов микробной адгезии и формирования биопленок на различных типах поверхностей, что позволит прогнозировать сроки эксплуатации строительных объектов в различных климатических условиях. Таким образом, строительная микробиология продолжает оставаться динамично развивающейся научной областью, вносящей существенный вклад в обеспечение техногенной безопасности и повышение эксплуатационных характеристик строительных материалов.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.М. Горленко. Микробиология строительных материалов. 1987 (книга)

2. А.А. Войтович, Л.И. Кожевина. Микробиологическая коррозия строительных конструкций. 2005 (книга)

3. И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. Биология почв и строительная микробиология. 2003 (книга)

4. С.Н. Виноградский. Микробиология бетона и строительных материалов (обзор). 1991 (статья)

5. J. Gu, T.E. Ford, R. Mitchell. Microbial corrosion of concrete and stone. 1998 (статья)

6. P. Lens, L. Hulshoff Pol. Environmental Technologies to Treat Sulfur Pollution. 2000 (книга)

7. R. Javaherdashti. Microbiologically Influenced Corrosion: An Engineering Insight. 2008 (книга)

8. В.Ф. Комарова. Микроорганизмы в строительных материалах: проблемы и решения. 2012 (статья)

9. D. Nica, J.L. Davis. Microbial degradation of concrete. 2000 (статья)

10. A. Kipryushina, E. Ivanova. Modern trends in construction microbiology: a review. 2020 (статья)