Применение искусственных биопленок для борьбы с биокоррозией и биообрастанием

Ярослав Рыбкин[1], Абдулмохсен Хумам[2], Манар Алахмари[2], Максим Орлов[1]

1. Арамко Инновейшнз, Департамент Передовых Материалов, Москва, Россия

2. Сауди Арамко, Дахран, Саудовская Аравия

Самара, 3-4 Сентября, 2025

where energy is opportunity

© Copyright 2025, Aramco Innovations. All rights reserved.

Введение: Стадии коррозии углеродистой стали

Аэробная стадия

Высокая скорость коррозии
Зависит от наличия кислорода

Анаэробная стадия

Медленная скорость коррозии
Индуцирована бактериями

Методы подавления

Химическое ингибирование и/или гальваническая защита

Органические, металлические и неметаллические неорганические покрытия

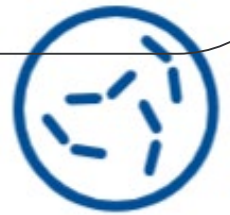
Антимикробная защита

Почему подавление краткосрочное?

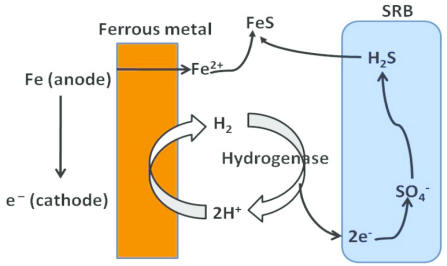
Потеря структурной целостности

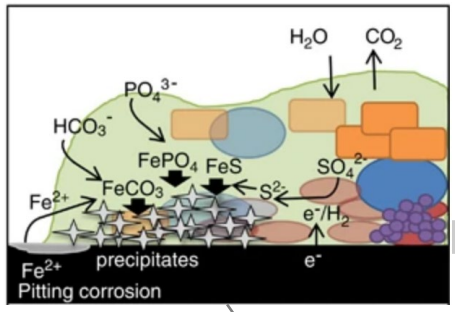
Биоциды НЕ универсальны и ограничены по времени действия

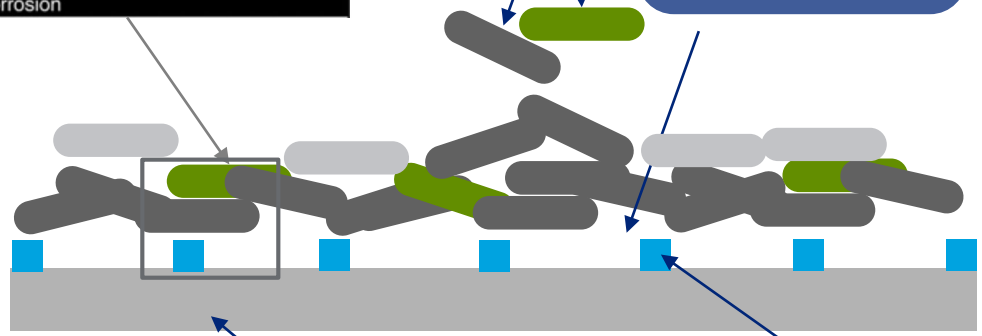
Новые клетки вырастут поверх органических отложений



Введение: Покрытия не останавливают биокоррозию







Бактерии, вызывающие коррозию

Бактерии окружающей среды

Органические отложения

Металлическая поверхность

Активная защита





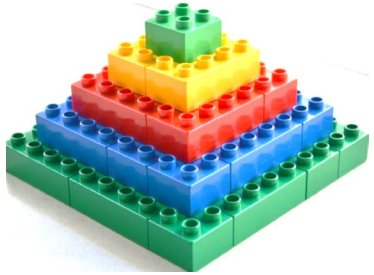


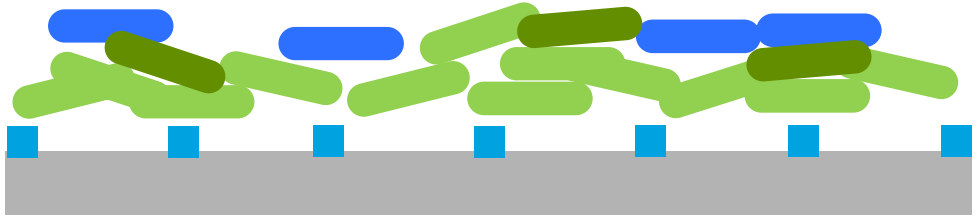
Kip, N., & Van Veen, J. A. (2015). The dual role of microbes in corrosion. *The ISME journal*, *9*(3), 542-551.

Введение: Как исключить бактерии, вызывающие коррозию?



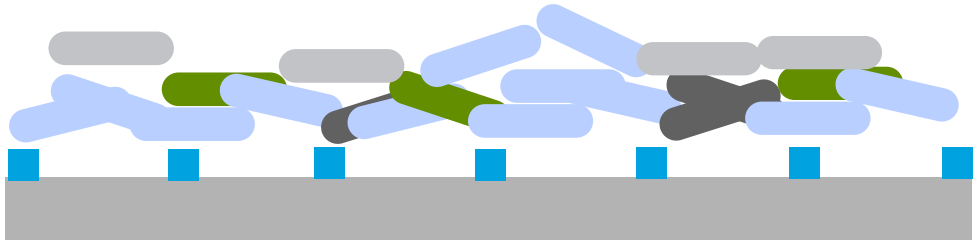
Можно ли сделать биопленку без определенных микробов?





Искусственная биопленка с защитными клетками

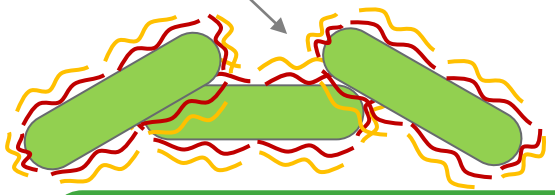
Как сделать искусственную биопленку?



Естественная биопленка со штаммами, вызывающими коррозию

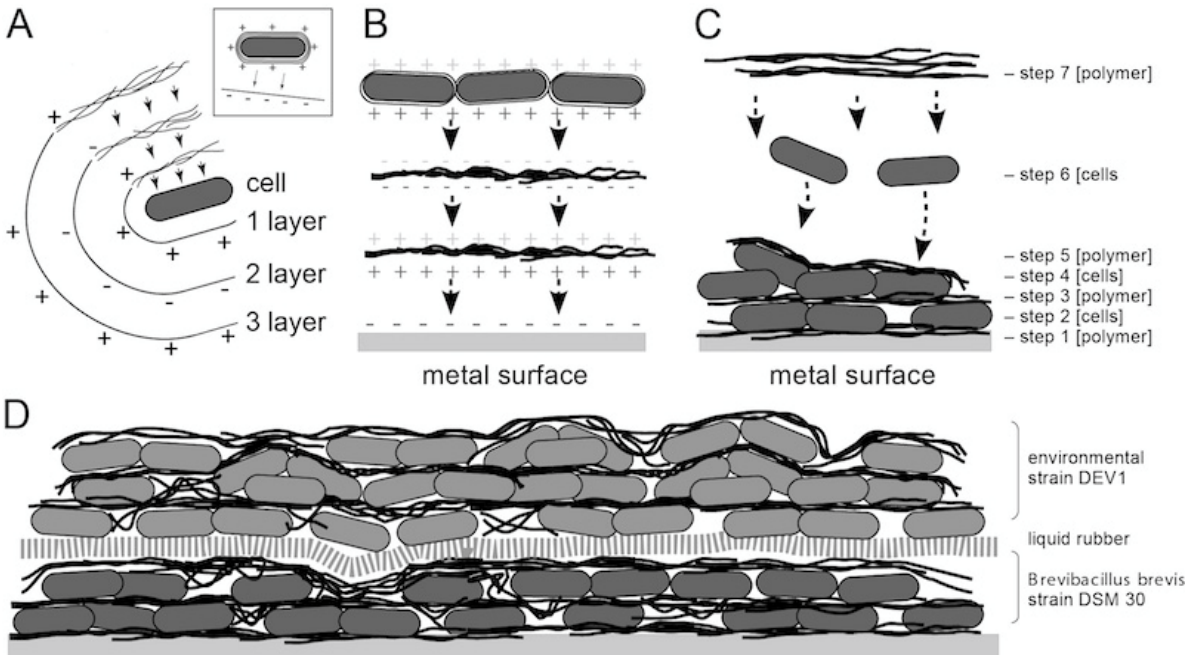


Покрытие поверхности для прикрепления клеток



Покрытие клеток для прикрепления к поверхности

Пример из практики: Приготовление искусственной биопленки



Структура искусственной биопленки для снижения коррозии



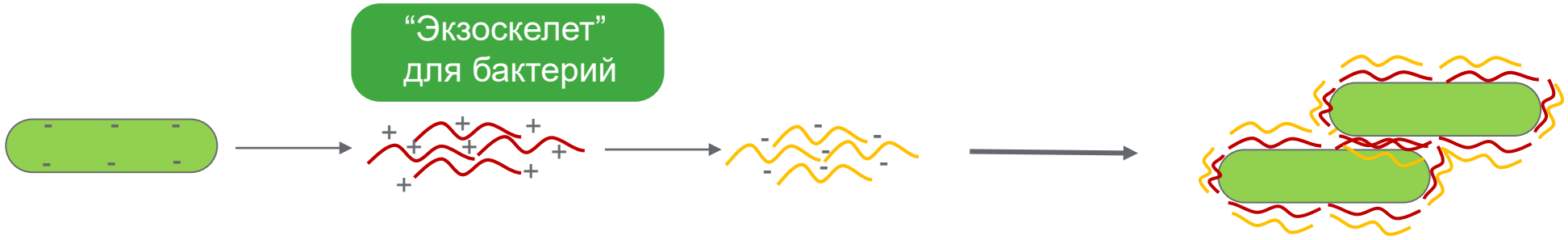
Био-защита | Резиновое покрытие | Контроль (без покрытия)

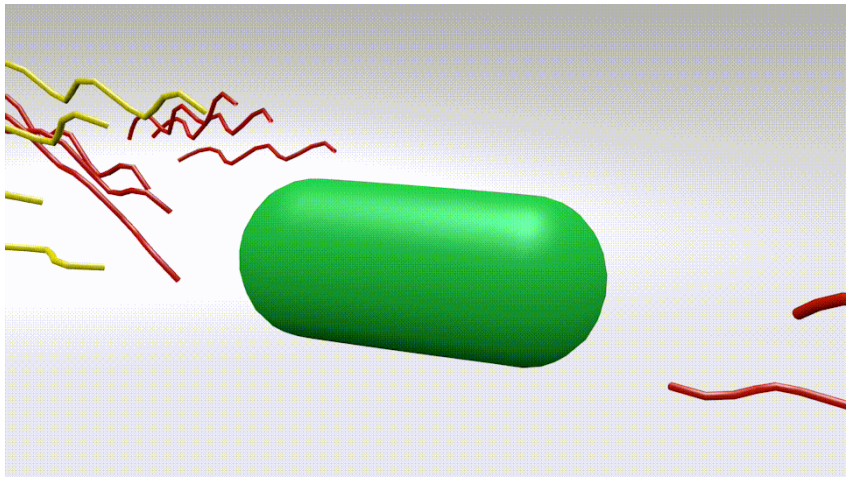
Процесс коррозии образцов с покрытием и без

Введение | Тесты компонентов | Прототип | Выводы

Rijavec, T., Zrimec, J., van Spanning, R., & Lapanje, A. (2019). Natural microbial communities can be manipulated by artificially constructed biofilms. *Advanced Science*, *6*(22), 1901408.

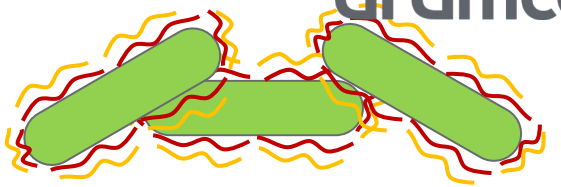
Стадии тестирования: Процедура покрытия микробов для улучшения прикрепления к поверхности

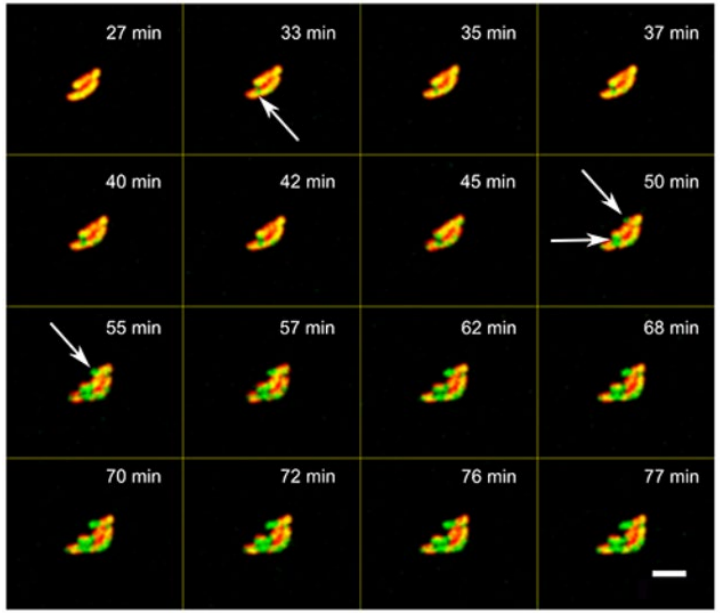




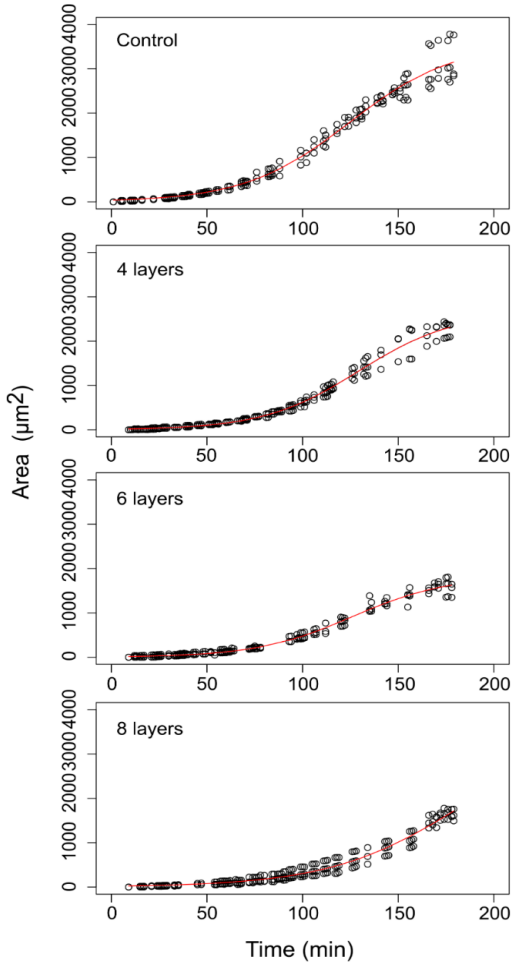
Нанесение противоположно заряженных полиэлектролитов

Стадии тестирования: Контроль жизнеспособности полезных бактерий, покрытых оболочкой





Рост клеток *E. Coli* Top10, покрытых полиэлектролитными капсулами



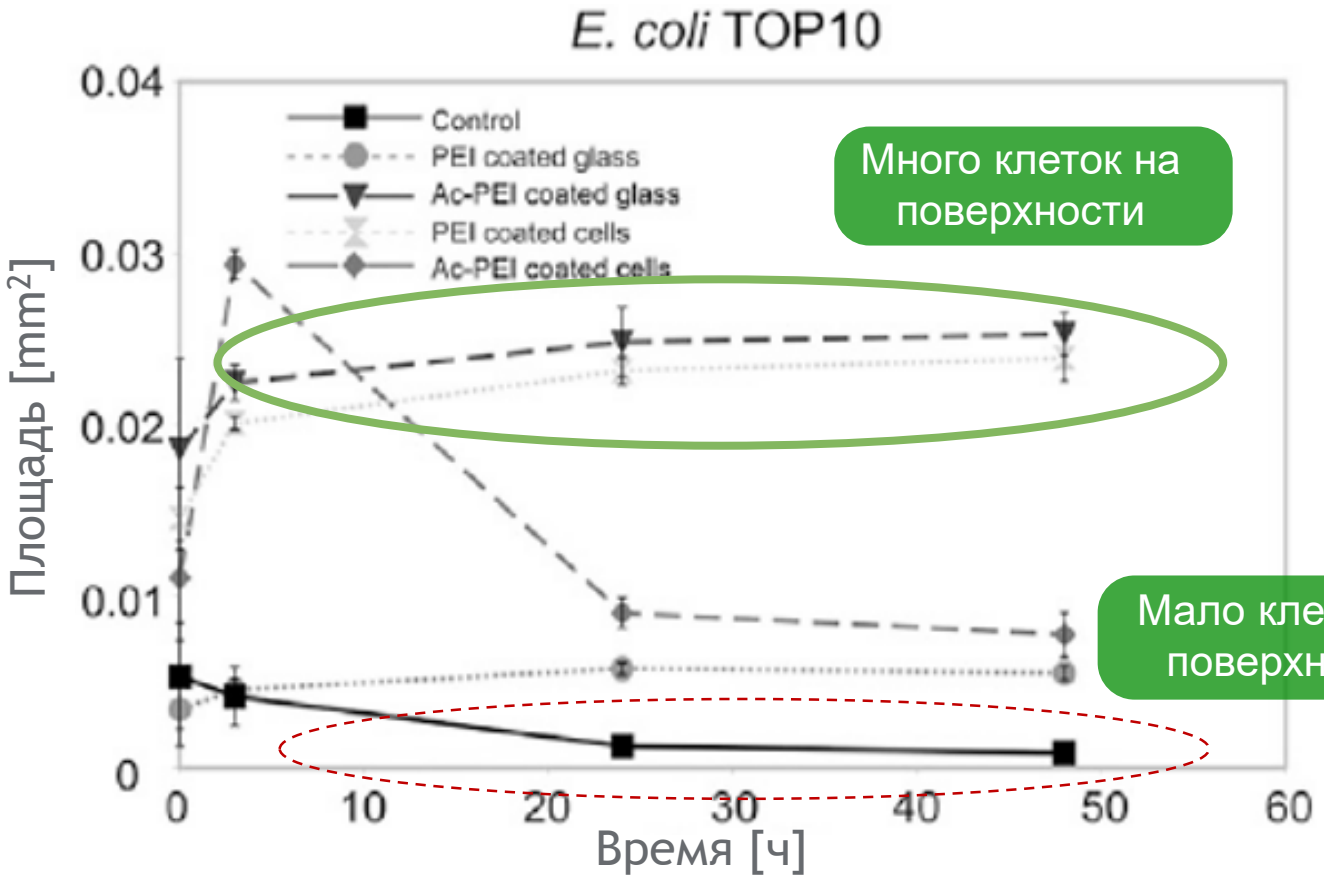
Контроль роста отдельных клеток

Токсичность не обнаружена

Введение | **Тесты компонентов** | Прототип | Выводы

Rybkin, I., Gorin, D., Sukhorukov, G., & Lapanje, A. (2019). Thickness of polyelectrolyte layers of separately confined bacteria alters key physiological parameters on a single cell level. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, *7*, 378.

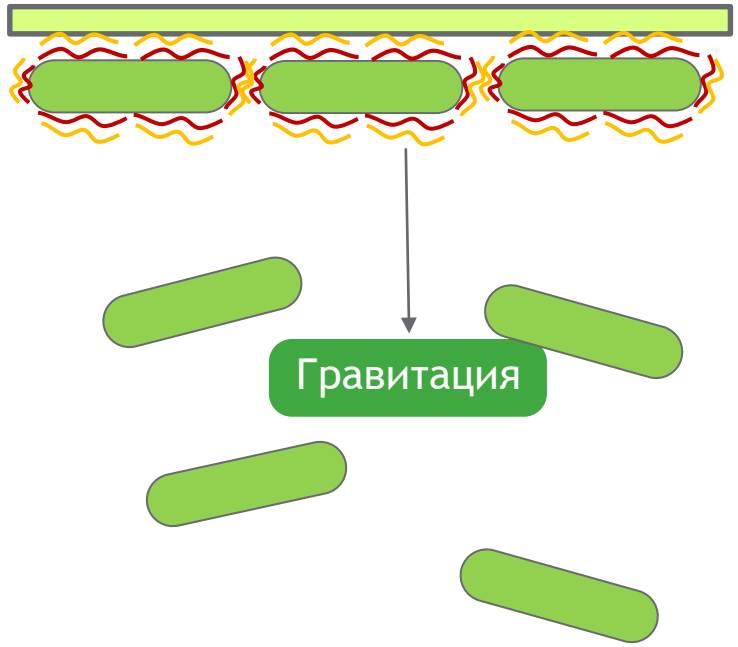
Стадии тестирования: Улучшение прикрепления клеток



Много клеток на поверхности

Мало клеток на поверхности

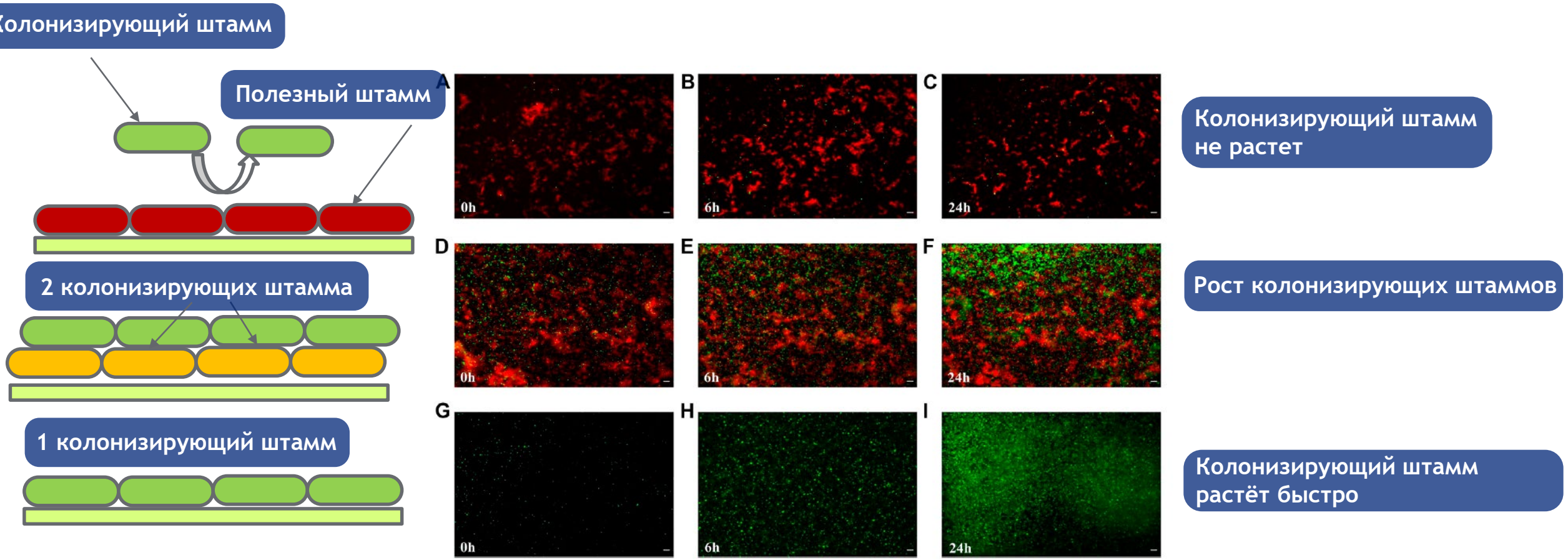
Прикрепление покрытых и непокрытых клеток



Покрытые клетки прикрепляются лучше, чем непокрытые

Deev, D., Rybkin, I., Rijavec, T., & Lapanje, A. (2021). When Beneficial Biofilm on Materials Is Needed: Electrostatic Attachment of Living Bacterial Cells Induces Biofilm Formation. *Front. Mater. 8: 624631*. https://doi.org/10.3389/fmats.2021.624631

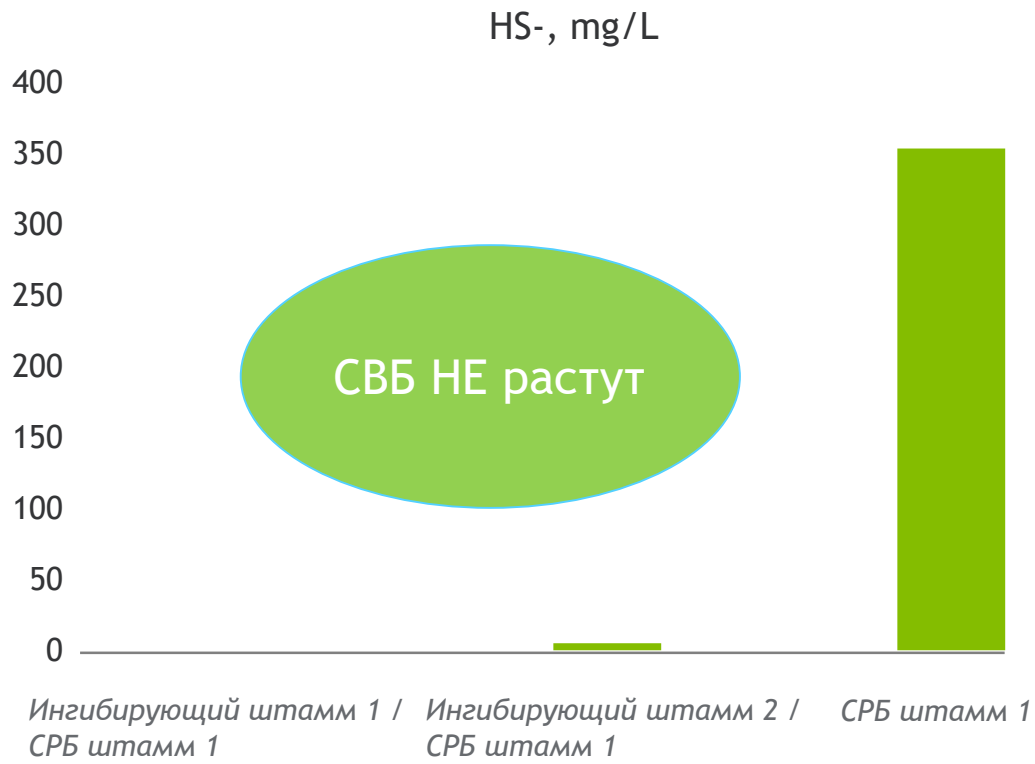
Стадии тестирования: Сборка первого прототипа

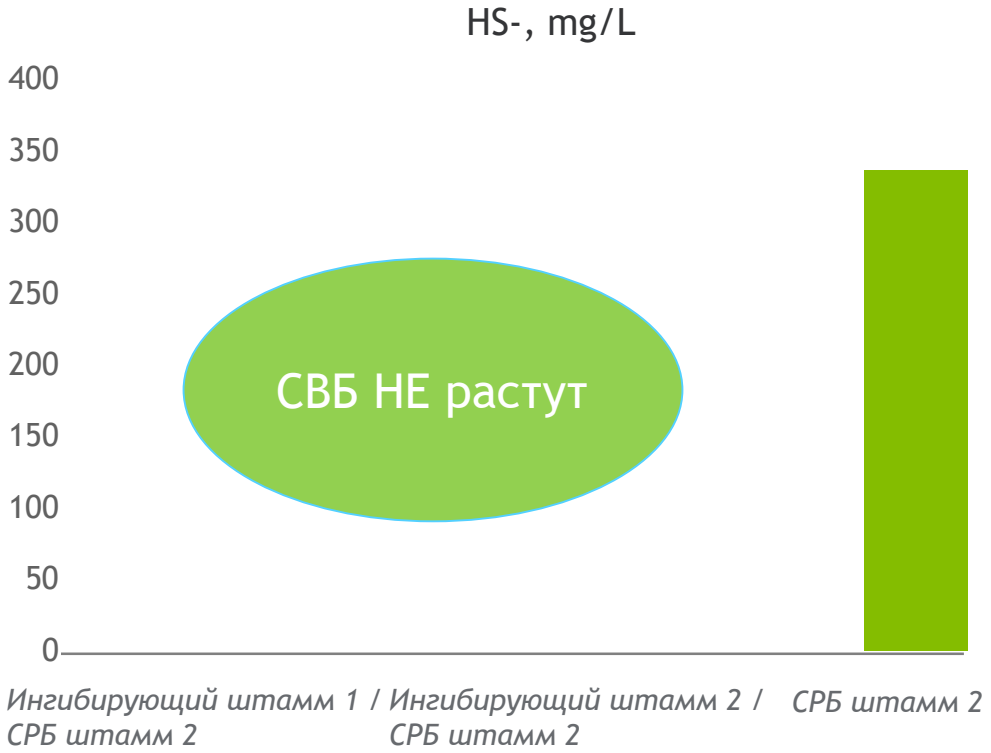


Введение | **Тесты компонентов** | Прототип | Выводы

Deev, D., Rybkin, I., Rijavec, T., & Lapanje, A. (2021). When Beneficial Biofilm on Materials Is Needed: Electrostatic Attachment of Living Bacterial Cells Induces Biofilm Formation. *Front. Mater. 8: 624631.* https://doi.org/10.3389/fmats.2021.624631

Прототип: Снижение роста сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ)

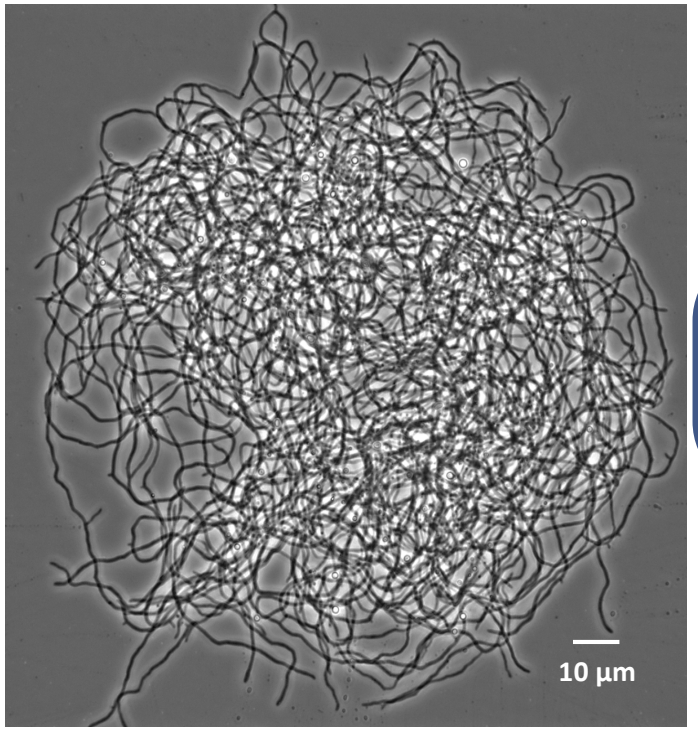




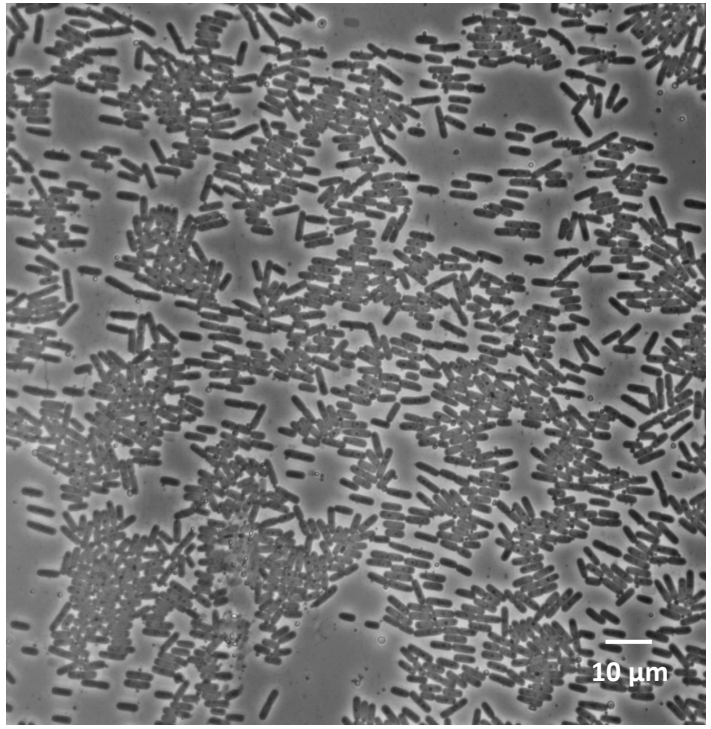
Выделенные штаммы успешно подавляют рост сульфатвосстанавливающих бактерий

Введение | Тесты компонентов | **Прототип** | Выводы

Прототип: Пример нанесения живых пленок для предотвращения биокоррозии



Ингибирующий штамм 1, прикрепленный к поверхности



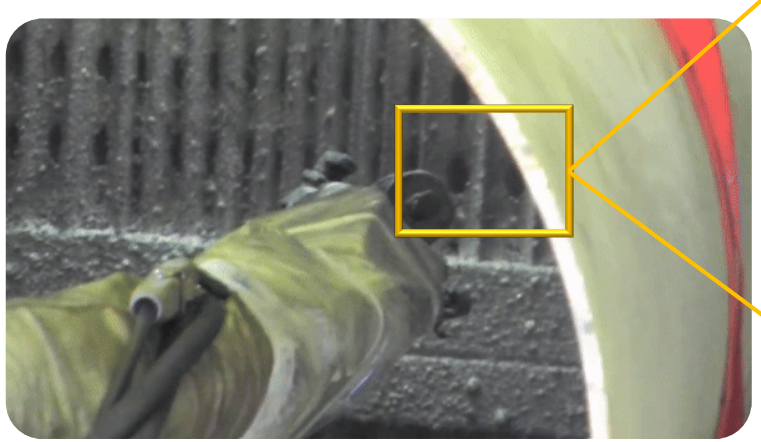
Ингибирующий штамм 2, прикрепленный к поверхности

Нанесение искусственных биоплёнок на поверхность

Выводы

1. Разработано покрытие, подавляющее рост сульфатвосстанавливающих бактерий
2. Разработаны методы контроля роста отдельных клеток
3. Разработаны методы контроля прикрепления бактерий

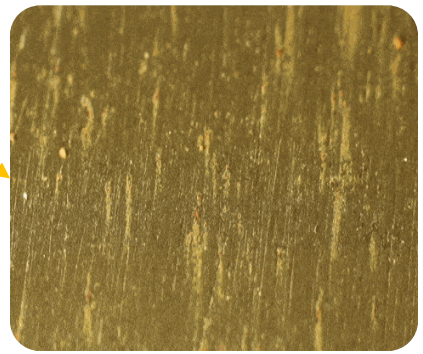
Будущие планы



Биотехнологии для подавления коррозии



Био покрытие без коррозии



Коррозия металла без покрытия

Наше видение:

1. Можно использовать поверх существующих покрытий
2. Хорошее дополнение уже разработанных решений
3. Быстрое нанесение на металлическую поверхность
4. Применимо для умеренных условий окружающей среды

Введение | Тесты компонентов | Прототип | **Выводы**

Спасибо за внимание!

Ярослав Рыбкин
PhD в экотехнологии
Учёный нефтехимик
Московский Исследовательский Центр Арамко

E: iaroslav.rybkin@aramcoinnovations.com

T: +7(951)888 10 91