

Комплексная оценка, прогноз и разработка рекомендаций по направленной модификации биоценозов с целью достижения поставленных задач по ремедиации почв и улучшения плодородия сельскохозяйственных земель

Цель: разработка интеллектуальной системы предсказания метаболизма микробных консорциумов почв, предназначенной для автоматизации анализа хозяйственно полезных микроорганизмов почв и растений, а также выявления адаптационного потенциала микроорганизмов почвенных экосистем в условиях усиливающегося антропогенного воздействия.

Задачи:

1. Разработка технологии предварительного анализа почв перед воздействием
2. Разработка модельных рецептур микроорганизмов для обучения искусственного интеллекта
3. Разработка и обучение искусственного интеллекта с использованием omics-данных образцов биоценозов, полученных в динамике
4. Разработка стандартных культур микроорганизмов и добавок к ним с целью подготовки микробных рецептур для обработки почв
5. Организация производства микроорганизмов, предназначенных для приготовления рецептур

Актуальность

Почвы сельскохозяйственного назначения являются национальным достоянием России, источником получения сельскохозяйственной продукции, сырья для некоторых отраслей промышленности. Растущее население земного шара (к 2030 г. – 8.5 млрд человек) требует рост производства продовольственных товаров в условиях сокращения посевной площади в расчете на одного человека (с 0.18 га до 0.15 га к 2050 году). Площадь нарушенных земель в Российской Федерации составляет 1 242,4 тыс. га и растёт. Перечисленные факты отражают актуальность задачи биоремедиации почв и повышения урожайности культур.

Кроме этого, в мире есть большое количество земель не пригодных к использованию в области сельского хозяйства, например, пустыни, степи, эрозийные почвы. Возможность ввода в эксплуатацию данных объектов также позволит существенно расширить посевную площадь и даст возможность изменить формат экономики целых стран.

Одним из подходов к решению проблемы восстановления загрязненных почв (при добыче нефти, предприятиями горнодобывающей промышленности и агропромышленного комплекса, в условиях военных действий), повышению их сельскохозяйственного потенциала, а также ввода в эксплуатацию земель, ранее не пригодных для сельского хозяйства является их фиторемедиация/ фитоподготовка с использованием специально разработанных микробно-растительных консорциумов.

Растительно-микробные ассоциации представляют собой надорганизменные системы, обладающие уникальными свойствами: они обеспечивают растения химическими соединениями, необходимыми для роста и развития, уничтожают патогены, вещества-загрязнители¹, в свою очередь получая пространство для роста, возможность перемещения

¹ Li et al., 2019; Wu et al., 2019

и распространения вместе с частями растений, а в ряде случаев и защиту от внешних воздействий. Изучение биоразнообразия прикорневых микробных консорциумов (ризосфера) является перспективным направлением для сельского хозяйства, а также важно для биоремедиации антропогенно загрязненных экосистем/ подготовки новых почв к сельскохозяйственной эксплуатации. Растения и типы почв различаются по микробному составу, способствующему их росту и развитию.

Разработка

Коллективное поведение микробных экосистем является результатом многих взаимодействий между членами сообщества: обмен метаболитами, передача сигналов восприятия кворума, роста/торможения роста и смерти². Внутри одной и той же микробной популяции (как и между популяциями) существуют кооперативные и конкурентные отношения. Понимание межвидовых взаимодействий внутри микробных сообществ имеет решающее значение для выявления функций природных экосистем и создания синтетических консорциумов³. Для исследования таких взаимодействий можно использовать системы с применением искусственного интеллекта. В литературе описаны примеры описания метаболических сетей микробных консорциумов с использованием подходов машинного обучения⁴. Исследования микробных сообществ методами машинного обучения – активно развивающееся направление, имеющее колоссальный практический потенциал.

Для моделирования составов консорциумов (задел МГУ⁵) будет использован искусственный интеллект (задел МФТИ⁶), базирующийся на omics-данных. Следует отметить, что почва и ризосфера растений считаются одними из самых сложных объектов исследований⁷. В данном проекте для получения omics-данных будет разработана стандартная технология проведения молекулярно-генетических исследований образцов почв и ризосферы растений, а именно: оптимизирован объём исследуемого образца и методика его отбора; разработан метод выделения и очистки нуклеиновых кислот (ДНК/РНК) (на данный момент стандартные методы отсутствуют); разработан подход метатранскриптомики (RNA-seq)⁸ – для анализа метаболических путей только активных микроорганизмов (и потенциально активных – будут предложены методы активации); промежуточные продукты метаболизма будут исследованы с помощью метаболомных методов ЯМР (задел ФНКЦ ФХМ ФМБА России); для повышения качества и точности исследований ДНК/РНК будет использоваться технология секвенирования Oxford Nanopore (задел МФТИ)⁹. Для приготовления консорциумов будут использованы только природные штаммы микроорганизмов (возможно внесение в окружающую среду).

Продукт

Таким образом, будет создана услуга: комплексная оценка, прогноз и разработка рекомендаций по направленной модификации биоценозов с целью достижения поставленных задач по ремедиации почв и улучшения плодородия сельскохозяйственных

² Langille et al., 2013; DiMucci et al., 2018

³ Mainali et al., 2017

⁴ DiMucci et al., 2018; Chang et al., 2017; Treloar, 2020

⁵ Проекты РФФИ 18-29-25065 и РФФИ 18-29-05064

⁶ проект НТИ с 2019 года

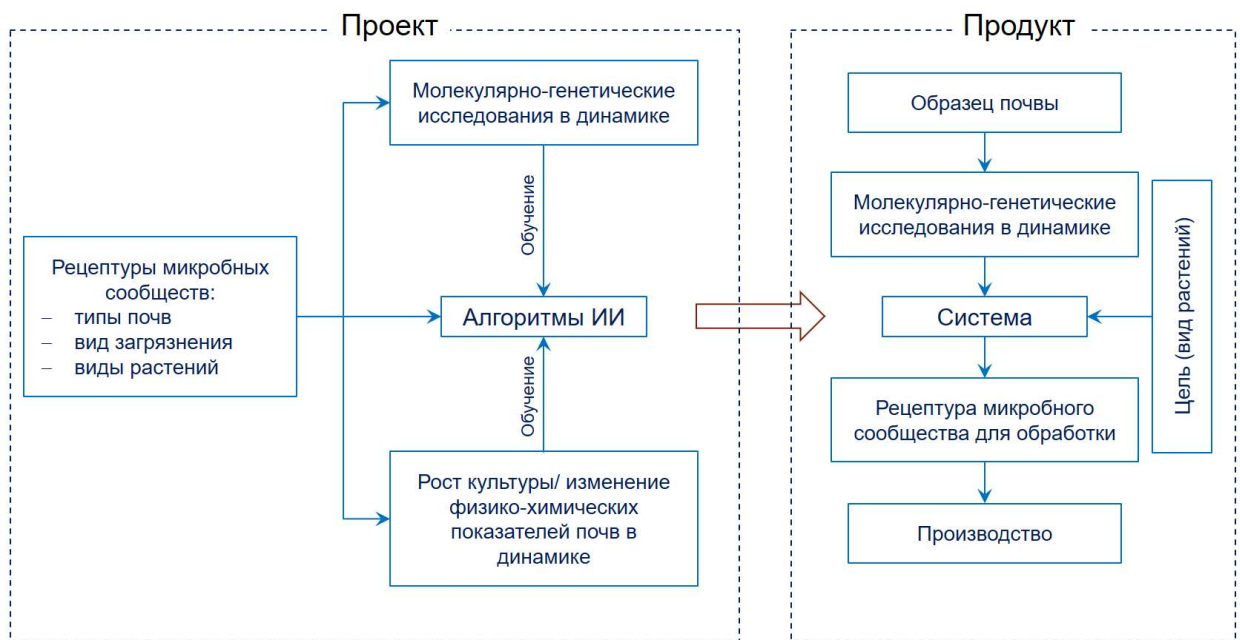
⁷ Lombard et al., 2011

⁸ Tveit et al., 2014; Hesse et al., 2015; Zifcakova et al., 2017

⁹ проект ГЗ и ЦКП с 2021 года

земель. В число задач, которые будут решены данным проектом, будут входить: улучшение/модификация почв перед посевом; модификация микробиома почвы с целью направленной регуляции его биокаталитической активности, направленной на увеличение синтеза фиторегуляторов и других необходимых биологически активных соединений, а также направленной на биоремедиацию почв, в том числе имеющих комбинированные варианты загрязнений (устранение загрязнений вокруг свалок, разливов канализации, нефтепродуктов, тяжелых металлов, антибиотиков и пр.). Для повышения эффективности действия, а также стабилизации состава модифицированных и сконструированных микробных ассоциаций/консорциумов в лабораторных и природных условиях будут разработаны экологически приемлемые иммобилизованные варианты биокаталитических микробных систем, позволяющие создавать и варьировать высокие концентрации клеток в составе популяций. Именно такие высококонцентрированные популяции клеток, функционирующие в режиме «кворумного ответа»¹⁰ обеспечивают биоценозы устойчиво функционирующими биологическими системами с расширенным спектром субстратов и метаболитов, в том числе в средах с высоким уровнем присутствия различных загрязнителей и средах с физико-химическими характеристиками (рН, концентрации солей, др.), отличными от благоприятных условий функционирования биоценозов.

Таким образом, предсказательная модель метаболизма микробных консорциумов почв позволит в автоматическом режиме охарактеризовать адаптационный потенциал микроорганизмов загрязненных почв и предложить рекомендации по направленной модификации биоценозов с целью микробной ремедиации загрязненных почв. На основе полученных рекомендаций можно будет осуществлять биотехнологическую очистку загрязненных почв для улучшения плодородия сельскохозяйственных земель. Данные исследований почвенных биоценозов совместно с образцами ризосферы растений методами метагеномного, метатранскриптомного и метаболомного скрининга лягут в основу предсказательной модели метаболизма микробных консорциумов почв.



¹⁰ задел МГУ – проекты РНФ16-14-00061 и РФФИ 16-08-00457



Участники проекта: МФТИ (НИУ), МГУ им. М.В. Ломоносова, ФНКЦ ФХМ ФМБА
России, ПГНИУ