

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра биохимии и биофизики

**БИОТЕСТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ПОЧВ НЕФТЕГАЗОНОСНОГО
РЕГИОНА**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 241 группы

Направление подготовки магистратуры 06.04.01 Биология

Биологического факультета

Скачковой Алины Васильевны

Научный руководитель:

доцент, канд. биол. наук

А. А. Галицкая

Научный консультант:

профессор, док. биол. наук

Е. В. Плешакова

Зав. кафедрой биохимии и биофизики

профессор, док. биол. наук

С. А. Коннова

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение почвы нефтью и продуктами её переработки является одной из наиболее острых экологических проблем. Разлив нефтепродуктов оказывает комплексное воздействие на экологические системы, как природные, так и антропогенные. В районах с активной работой нефтехимической промышленности отмечается высокая степень загрязнённости почвы нефтепродуктами.

Ксенобиотическое загрязнение отрицательно сказывается на качестве почв, что влечет за собой гибель микроорганизмов и растений, в связи с чем нарушается естественная динамика почвенных экосистем: загрязнённая почва теряет способность поддерживать нормальное протекание биохимических и физиологических процессов, что приводит к снижению её плодородия. Попадая в почву, нефть цементирует её, заполняя поры и покрывая частички грунта микроплёнкой, которая препятствует газообмену и проникновению воды. Загрязнённая нефтепродуктами почва не пригодна для выращивания сельскохозяйственных культур и прорастания диких травянистых и древесных растений в течение пяти лет. Всё это вызывает трансформацию трофических звеньев естественных биогеоценозов или даже их гибель.

Продукты разложения нефти, такие как бензол и толуол, являются канцерогенными веществами и могут попадать в водоёмы, вымываясь из почвы или при непосредственном нефтяном разливе. Затем они накапливаются макрофитами и беспозвоночными животными и далее обнаруживаются в телах консументов высших порядков в гораздо более высоких значениях, иногда опасных для жизни человека.

В свете высокой токсичности нефти и нефтепродуктов для живых организмов приоритетной задачей является восстановление загрязнённых нефтепродуктами почв для прекращения неблагоприятного воздействия. Однако это длительный и дорогой процесс, требующий применения различных методов очистки: как физико-химических, так и биологических, биохимических (биоремедиация). Одним из основных вызовов является недостаток

эффективных и экономически выгодных методов очистки почвы от нефтепродуктов, что усложняет проблему восстановления экосистем.

В этой связи актуальным направлением является мониторинг состояния нефтезагрязнённых почв, в особенности с помощью биотестирования. Биотестирование представляет собой один из наиболее эффективных методов оценки загрязнённости почвы нефтепродуктами, поскольку оно позволяет не только выявить токсичность почвы, но и оценить её влияние на живые организмы в экосистемах. В отличие от традиционных физико-химических методов, которые могут не учитывать комплексное воздействие загрязняющих веществ на экосистему, биотесты дают возможность получить более полное представление о степени загрязнения, устойчивости экосистемы и возможности её восстановления.

Особую актуальность экологический мониторинг нефтезагрязнённых почв приобретает в условиях северных регионов, где природные экосистемы отличаются повышенной уязвимостью к антропогенному воздействию. Низкие температуры, замедленные темпы биохимических процессов, короткий вегетационный период и ограниченная способность экосистем к самовосстановлению обуславливают длительное сохранение нефтепродуктов в почве и усиление их негативного воздействия. Кроме того, в северных нефтедобывающих районах высокая интенсивность промышленного освоения территории увеличивает риск хронического загрязнения окружающей среды. В связи с этим проведение комплексного экологического мониторинга почв, включающего оценку их токсичности методами биотестирования, является необходимым условием своевременного выявления экологических нарушений и разработки эффективных мер по восстановлению нарушенных экосистем.

Цель данной работы – оценка токсичности почв городов Лангепаса и Покачи, расположенных в лидирующем нефтедобывающем регионе России, методом биотестирования в рамках проведения комплексного экологического мониторинга.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Осуществить биотестирование почв на территории городов Лангепаса и Подачи с помощью метода, основанного на определении дегидрогеназной активности микробного штамма *Dietzia maris* АМЗ.
2. Оценить степень токсичности почв на территории г. Лангепаса и г. Подачи в сравнении с показателями биотестирования фоновых (контрольных) проб.
3. Выявить корреляционные взаимосвязи между показателями биотестирования почв исследованных городов и эколого-геохимическими, микробиологическими показателями.
4. Оценить экологическое состояние почв городов Лангепаса и Подачи с помощью комплексного подхода, основанного на анализе эколого-геохимических, микробиологических показателей и показателей биотестирования.

Структура и объем работы. Работа изложена на 100 страницах машинописного текста и включает в себя обозначения и сокращения, введение, 3 главы с 3 рисунками, 6 таблицами, заключение, выводы, 12 приложений. Список использованных источников содержит 60 наименований.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе рассматриваются источники нефтяного загрязнения почв, экологические последствия нефтезагрязнения для экосистем, в частности урбанизированных. Проводится анализ методов оценки состояния нефтезагрязнённых почв с акцентом на метод биотестирования.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В главе характеризуется исследуемые территории, методика определения токсичности почвы по дегидрогеназной активности бактерий, эколого-геохимические и микробиологические методы, статистическая обработка результатов.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты биотестирования почвенных проб г. Лангепаса показали, что большинства мест отбора оказались нетоксичны. Слабая токсичность была

обнаружена в лишь в пробе №7, которая была взята в районе гаражных массивов.

Полученные данные показывают, что промышленно-складская зона г. Лангепас не загрязнена (пробы №14, №16 нетоксичны). Это может свидетельствовать о низкой нагрузке работающих предприятий на урбосистему, а также может быть связано с внедрением экологически безопасных технологий по добыче и обработке нефтепродуктов.

Геохимический анализ показал, что почвы исследуемой территории характеризуются устойчивым накоплением тяжёлых металлов, прежде всего никеля и цинка. Повсеместное превышение ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) никеля свидетельствует о длительном техногенном воздействии и формировании устойчивого геохимического фона загрязнения. Наиболее высокие концентрации металлов были выявлены в промышленно-складской зоне, гаражных массивах и отдельных участках жилой застройки, что указывает на значительный вклад транспортной инфраструктуры, промышленных объектов и городской хозяйственной деятельности в формирование химического состава почв.

При этом анализ подвижных форм тяжёлых металлов показал, что не все накопленные элементы находятся в экологически активном состоянии. Для большинства металлов содержание биодоступных форм оставалось ниже предельно допустимых концентраций либо превышало их незначительно. Это свидетельствует о том, что существенная часть загрязняющих компонентов закреплена в минеральной матрице почвы и обладает ограниченной миграционной способностью. Вероятно, именно этим объясняется отсутствие выраженной токсичности большинства исследованных проб при значительном валовом накоплении тяжёлых металлов. Однако повышенные концентрации подвижных форм никеля и меди в урбанизированных зонах указывают на потенциальную возможность дальнейшего вовлечения металлов

в биогеохимические процессы, что при изменении условий среды может привести к усилению токсического воздействия.

Существенное значение для интерпретации полученных данных имеют результаты корреляционного анализа. Выявленные положительные связи между количеством трифенилформазана и содержанием карбонатных минералов, кальция и магния свидетельствуют о благоприятном влиянии данных компонентов на функционирование почвенной микробиоты. Карбонатные минералы, вероятно, способствуют стабилизации кислотно-щелочных условий и повышению буферности среды, создавая более подходящие условия для ферментативной активности микроорганизмов. В то же время отрицательные корреляции ТФФ с алюмосиликатными компонентами и гидрослюдами могут отражать ухудшение физико-химических условий почвы и снижение доступности органического субстрата для микробного сообщества.

Особого внимания заслуживает отсутствие выраженной отрицательной корреляции между содержанием тяжёлых металлов и уровнем дегидрогеназной активности. Напротив, для ряда элементов были выявлены слабые положительные связи. Вероятно, это связано с тем, что концентрации металлов в исследуемых почвах пока не достигают критических уровней токсичности, а некоторые элементы, такие как цинк и медь, являются необходимыми микроэлементами для функционирования ферментных систем микроорганизмов. Кроме того, значительная часть металлов может находиться в малодоступных формах, что ограничивает их непосредственное воздействие на микробиоту.

Микробиологические исследования показали, что почвы Лангепаса характеризуются формированием специфического сообщества микроорганизмов, адаптированного к условиям хронического антропогенного воздействия. Доминирование представителей рода *Bacillus*, а также широкое распространение кокковых форм и бактерий-нефтедеструкторов свидетельствуют о выраженной техногенной трансформации почвенных

экосистем. Наличие микроорганизмов, устойчивых к нефтепродуктам и тяжёлым металлам, может рассматриваться как адаптационная реакция микробного сообщества на длительное воздействие загрязняющих веществ.

Особенно показательно присутствие нефтедеструкторов и устойчивых технофильных микроорганизмов не только в промышленно-складских районах и гаражных массивах, но и в пределах жилой застройки и лесных территорий. Это позволяет предположить, что антропогенное воздействие носит не локальный, а более широкий пространственный характер. Одновременно отмеченное снижение разнообразия экологически чувствительных групп микроорганизмов может свидетельствовать о постепенном упрощении структуры микробного сообщества под действием хронического загрязнения.

Биотестирование почвы г. Подачи показало, что большинство мест отбора проб нетоксично. Однако выявлен район с высокой токсичностью почвы, находящийся вблизи ул. Промышленной. Значительное угнетение дегидрогеназной активности штамма *D. maris* AM3 в пробах №19 и №22 можно объяснить близостью промышленных комплексов. Здесь расположен ООО «Промстрой», основным видом деятельности которого является деятельность автомобильного грузового транспорта.

Сопоставление результатов биотестирования с геохимическими данными показало, что между валовым содержанием тяжёлых металлов и уровнем токсичности отсутствует прямая зависимость. Несмотря на экстремально высокие концентрации никеля, меди, мышьяка, свинца и цинка, значительная часть проб сохраняла низкий уровень токсичности. Вероятно, это связано с тем, что большая доля загрязняющих веществ находится в прочносвязанных и малоподвижных формах, ограничивающих их биологическую доступность. Данный вывод подтверждается результатами анализа кислоторастворимых форм тяжёлых металлов, концентрации которых во всех исследованных пробах оставались значительно ниже предельно допустимых значений.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что при оценке экологического состояния почв недостаточно учитывать только валовое содержание загрязняющих веществ. Существенное значение имеют формы нахождения элементов в почве, определяющие их мобильность, миграционную способность и потенциальное токсическое воздействие на микроорганизмы. Именно этим, вероятно, объясняется мозаичный характер распределения токсичности на территории города.

Корреляционный анализ кислоторастворимых форм тяжелых металлов показал отсутствие выраженной связи между большинством исследованных элементов и уровнем образования трифенилформазана. Для никеля, меди, свинца и цинка коэффициенты корреляции с ТФФ оставались близкими к нулю, что свидетельствует о слабом влиянии их подвижных форм на микробиологическую активность почв. Наиболее заметная зависимость выявлена для кадмия, для которого установлена умеренная положительная корреляция с интенсивностью образования трифенилформазана ($r = 0,64$). Вероятно, в исследуемых условиях содержание подвижных форм кадмия не достигало уровня, вызывающего угнетение микроорганизмов, а наблюдаемая зависимость может быть связана с развитием адаптационных реакций микробного сообщества. Для хрома отмечена слабая отрицательная корреляция, что может указывать на незначительное ингибирующее воздействие его кислоторастворимых соединений.

Определённое влияние на уровень микробиологической активности оказывали и минералогические особенности почв. Повышение содержания полевых шпатов, плагиоклазов и хлорита сопровождалось увеличением интенсивности образования трифенилформазана, тогда как рост доли кремнезёма и карбонатов был связан со снижением активности микроорганизмов. Вероятно, минералогический состав влияет как на физико-химические свойства почвенной среды, так и на процессы фиксации загрязняющих веществ, определяя степень их доступности для почвенной биоты.

Микробиологический анализ показал, что почвы Покачей характеризуются формированием техногенно трансформированного микробоценоза. Доминирование устойчивых спорообразующих бактерий рода *Bacillus*, а также присутствие микроорганизмов, ассоциированных с деградацией углеводов, свидетельствуют о длительной адаптации микробного сообщества к нефтяному и загрязнению и наличию тяжелых металлов. Одновременно наблюдаемое снижение таксономического разнообразия может рассматриваться как один из признаков хронического антропогенного воздействия на почвенную экосистему.

Экологическое состояние почв города Покачи определяется совокупным действием геохимических, минералогических и микробиологических факторов. Выявленные особенности распределения токсичности и химического загрязнения показывают, что даже при высоком накоплении тяжёлых металлов степень экологического риска во многом зависит от их подвижности и способности переходить в биодоступные формы. Это подчёркивает необходимость комплексного подхода к экологической оценке урбанизированных территорий, включающего сочетание геохимических, микробиологических методов анализа, а также биотестирования.

ВЫВОДЫ

1 Установлено, что биотестирование на основе определения дегидрогеназной активности штамма *Dietzia maris* AM3 является информативным методом оценки токсичности почв и может использоваться в экологическом мониторинге урбанизированных территорий нефтедобывающих регионов.

2 Почвы г. Лангепаса характеризуются преимущественно отсутствием токсичности; слабая токсичность выявлена лишь в одной пробе, отобранной на территории гаражного массива. Для почв г. Подачи установлена пространственная неоднородность токсичности: наряду с нетоксичными пробами выявлены участки со средней и высокой степенью токсичности, преимущественно в промышленно-складской зоне.

3 Выявлены основные элементы-загрязнители почв: в г. Лангепасе – никель и цинк, в г. Подачи – никель, медь, цинк, мышьяк и свинец, обнаружены участки максимальной техногенной трансформации почв с полиметаллическим загрязнением, приуроченные к промышленным зонам и районам малоэтажной жилой застройки с низким уровнем благоустройства. Установлено, что в отличие от валового содержания, концентрации подвижных форм исследованных тяжёлых металлов незначительно превышают ПДК.

4 Показано, что в исследованных городских почвах нефтегазоносного региона доминируют представителей рода *Bacillus*, а также широко распространены кокковые формы и бактерии-нефтедеструкторы.

5 Корреляционный анализ не выявил выраженных взаимосвязей между результатами биотестирования и исследованными эколого-геохимическими и микробиологическими показателями, что указывает на комплексный характер формирования токсичности почв г. Лангепаса и г. Подачи.