Российская академия сельскохозяйственных наук  
Сибирское отделение

Государственное научное учреждение Сибирский научно-исследовательский

институт сельского хозяйства и торфа

На правах рукописи

**ТЕРЕЩЕНКО Наталья Николаевна**

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ**

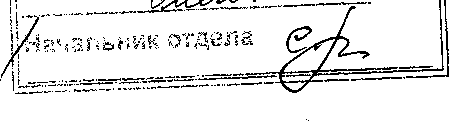
**РЕМЕДИАЦИИ**

**АНТРОПОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВ**

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Научный консультант:  
д.б.н., Середина В.П.

**Президиум ВАК Минобрнауки России** решил выдать диплом ДОКТОРА



г. Томск

Введение 6

1. [Состояние изученности проблемы биоремедиации антропогенно­нарушенных почв 13](#bookmark9)
   1. [Микробиологические аспекты вермикультивирования 13](#bookmark10)
   2. [Биологическая рекультивация нефтезагрязненных почв 38](#bookmark11)
   3. Основные биологические критерии экологической устойчивости

почвы 55

1. Объекты и методы исследований 64
   1. Объекты исследований 64
   2. Методы исследования биологической активности вермикомпоста и

[механизмов ее формирования 65](#bookmark14)

* 1. Методы изучения эффективности почвозащитной технологии ПКВК при биоремедиации агрогенно-трансформированных почв

в условиях вегетационных и полевых экспериментов 70

* 1. Методы исследования биологических факторов и механизмов

ремедиации нефтезагрязненных почв 74

* 1. Методы исследования экологической устойчивости антропогенно­

нарушенных почв и микробиологических критериев эффективности почвозащитных технологий 78

* 1. [Методики химического анализа 80](#bookmark19)
  2. [Методики микробиологического анализа 80](#bookmark20)

1. [Биологическая активность вермикомпоста: факторы и механизмы 82](#bookmark21)
   1. Влияние сапротрофных микроорганизмов органического субстрата и симбиотической микрофлоры дождевого червя на его жизнедеятельность

[и качество получаемого вермикомпоста 84](#bookmark23)

* 1. Влияние дождевых червей разных морфо-экологических групп

(почвенных и навозных) на характер микробиологических и биохимических процессов трансформации органического субстрата 101

* 1. Роль микробного сапротрофного сообщества в формировании

ростостимулирующих свойств вермикомпоста 121

* + 1. [Изменение ростостимулирующей активности вермикомпоста в процессе его созревания 121](#bookmark26)
    2. Вклад продуктов аммонификации органического субстрата

(соединений аминной и аминокислотной природы) в ростостимулирующую активность вермикомпоста 125

* + 1. Роль соединений гуминовой природы в формировании

ростостимулирующей активности вермикомпоста 132

* 1. Влияние микрофлоры вермикомпоста на уровень его

фунгистатической активности 136

* 1. Гармонический характер динамики численности микроорганизмов

и роль динамических характеристик микробного сообщества вермикомпоста в формировании его фунгистатических свойств 151

* 1. Микробиологические механизмы формирования системного

неспецифического иммунитета у растений под воздействием вермикомпоста 166

1. Особенности биоремедиации агрогенно-трансформированных почв и

эффективность почвозащитной технологии ПКВК 176

* 1. Основные этапы и особенности технологии ПКВК и модифицированной

технологии получения грунта на основе вермикомпоста 176

* 1. Влияние вермикомпоста на биологическую активность почвы и развитие сельскохозяйственных культур в условиях вегетационных

опытов 180

* 1. [Эффективность применения вермикомпоста в агроценозах 199](#bookmark39)
     1. Эффективность применения вермикомпоста при выращивании

зерновых культур и картофеля на дерново-подзолистой легко­суглинистой почве в сравнении с традиционными органическими удобрениями 199

* + 1. Эффективность применения вермикомпоста при выращивании

зерновых культур и картофеля на серой оподзоленной почве 211

* 1. Эффективность почвозащитной технологии Полевого круглогодичного

вермикультивирования (ПКВК) в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 222

1. Биологические факторы и механизмы ремедиации нефтезагрязненных почв....237
   1. Особенности комплексной технологии биоремедиации

[нефтезагрязненных почв 237](#bookmark16)

* 1. Эффективность применения природных цеолитов для ускорения

[очистки нефтезагрязненных почв 243](#bookmark51)

* 1. Экологические преимущества системного применения азотных удобрений для микробиологической деструкции нефтяных углеводородов

в почве 251

* + 1. Влияние дозы азотных удобрений на характер и интенсивность

микробиологических процессов очистки нефтезагрязненной почвы 251

* + 1. Влияние нитратной и аммонийной форм минеральных азотных

[удобрений на характер и интенсивность микробиологических процессов очистки нефтезагрязненной почвы 260](#bookmark49)

* + 1. Влияние быстро и медленно действующих форм азотных

удобрений на характер и интенсивность микробиологических процессов очистки нефтезагрязненной почвы 266

* + 1. Эффективность различных форм азотных удобрений,

применяемых в экологически оправданных низких дозах 272

* 1. Особенности биологической рекультивации нефтезагрязненных

почв с признаками техногенного засоления 281

1. Экологическая устойчивость антропогенно-нарушенных почв и микробиологические критерии эффективности почвозащитных технологий 297
   1. [Критерии разнообразия микробного сообщества почвы 302](#bookmark58)
   2. Микробиологические критерии уровня взаимосвязи в системе

«почва-растение» 309

* 1. Микробиологические критерии степени уравновешенности процессов

в почве и степени замкнутости круговорота элементов 315

* + 1. Динамические критерии степени уравновешенности

микробиологических процессов в почве 315

* + 1. Критерии степени замкнутости круговорота азота в системе

«почва-растение-атмосфера» и эффективности биологически активных удобрений, используемых для улучшения экологических характеристик почвы 331

[Выводы 342](#bookmark66)

[Список использованной литературы 345](#bookmark67)

Приложения 375

выводы

1. Дождевой червь посредством своеобразного «селективного отбора» микроорганизмов-симбионтов оказывает значительное влияние на формирование структуры микробного сообщества копролитов. При этом в готовом

**.... . . .... ...... ... ... ТТ/ЧТТГТ /4ч ГГТГ\/Ч1ЧаЛТТТ11ЧЧ ТТ/ЧТТТТ1\Г ^ О T/T’AIATJTI ІЛЛТТО**

**t ТТТЇТТТХТЧ О ЛГГЛ гг**

всрмш\.ишіш V' і V/ оамС'іпи ^ Dwm\*inDav і va дилл \рлшир^цпр^ шьцдл v/tuvivprm риди

Pseudomonas, актиномицетов, микроорганизмов, участвующих в трансформации органических и минеральных фосфатов, нитрификаторов, целлюлозолитической микрофлоры, а также азотобактера. Супрессивное воздействие дождевого червя на патогенную микрофлору значительно улучшает санитарное состояние вермикомпоста.

1. Навозные черви (epigeic) в целом отличаются от почвенных червей (endogeic) стимулированием процессов аммонификации, минерализации азотсодержащих органических веществ, а также нитрификации. В копролитах почвенных червей активнее протекает микробиологическая деструкция лигно- целлюлозного комплекса органического субстрата. Кроме того, почвенные черви являются активными стимуляторами несимбиотической азотфиксации, в десятки раз превосходя по этому показателю навозных червей.
2. В контролируемых условиях вермикультивирования колебания численности в органическом субстрате бактерий и низших грибов носят выраженный гармонический характер с периодом колебаний, составляющим 13-15 суток. Поскольку основу микробной сукцессии на легкодоступных источниках углерода в созревающем вермикомпосте составляют представители г-стратегии (как бактерии, так и микромицеты), ведущую роль в возникновении автоколебаний начинают играть внутри- и межпопуляционные взаимодействия конкурирующих за субстрат быстрорастущих форм микроорганизмов.
3. Высокая биологическая активность вермикомпоста обусловлена присутствием в его составе стимуляторов роста как аминной-аминокислотной, так и гумусовой природы, в первую очередь фульвокислот. Динамика ростостимулирующей активности вермикомпоста имеет хорошо выраженный колебательный характер и в большей степени определяется метаболической активностью микрофлоры самого субстрата, а не червя. Влияние червей выражается в стимулировании жизнедеятельности бактерий за счет продуцирования протеолитических экзоферментов и, соответственно, в увеличении абсолютных показателей биологической активности вермикомпоста по сравнению с исходным органическим субстратом.
4. Фунгистатическая активность вермикомпоста обусловлена структурно-функциональной организацией его микробного сообщества, в частности высокой численностью в нем бактерий рода Pseudomonas, отличающихся повышенной супрессивной активностью, а также наличиемослабленных форм фитопатогенных грибов, в частности рода Fusarium, стимулирующих формирование у растений системной неспецифической устойчивости к агрессивным штаммам грибов. Основным механизмом, определяющим высокую супрессивную активность Pseudomonas в вермикомпосте, является индукция активности бактерий динамическими характеристиками их популяции и сообщества низших грибов, а именно: цикличностью численности бактерий и грибов, обусловливающей периодические всплески плотности популяций, и, как следствие, обострение внутри- и межпопуляционной конкуренции за субстрат. При этом уровень фунгистатической активности Pseudomonas не зависит от типа питания гриба.
5. Эффективность приема интродукции в почву технологичных навозных червей обусловлена сбалансированностью микробиологических процессов трансформацией органического вещества ТНС благодаря совместному взаимодополняющему воздействию навозных и почвенных червей. Почвозащитная технология ПКВК способствует повышению как эффективного, так и потенциального плодородия почвы, а также улучшает ее экологические параметры, предотвращая загрязнение окружающей среды нитратами и снижая газообразные потери азота из агроценоза.
6. Биологическая активность природных цеолитов по отношению к нефтеокисляющим и азотфиксирующим микроорганизмам определяется как микроэлементным составом минералов, так и свойствами их кристаллической решетки: высокой удельной поверхностью, хорошо выраженной адгезионной способностью по отношению к почвенной микрофлоре и значительной емкостью катионного обмена. Цеолиты, обладающие большой площадью активной поверхности, обеспечивают одновременно сорбцию углеводородов нефти и адгезию клеток микроорганизмов. Такое совмещение в одном объеме углеводородного субстрата и агентов его утилизации при достаточном количестве биогенных элементов способствует формированию в загрязненной почве центров активной деструкции веществ-загрязнителей.
7. В условиях техногенного загрязнения почв нефтью ведущим фактором биологической деструкции углеводородов в почве являются микробиологические процессы, связанные с циклом превращения азота - азотфиксация и денитрификация. При этом наиболее эффективной формой азота является нитратная, обеспечивающая двойной путь использования азота микроорганизмами, участвующими в деструкции углеводородов нефти: в качестве источника азота и в качестве акцептора электронов в процессах денитрификации. Традиционно широко используемые в рекультивационной практике аммонийные формы азотных удобрений наименее эффективны, так как способствуют массовому развитию в почве микроскопических грибов и повышению фитотоксичности почвы. Высокая эффективность органических форм азота при биоремедиации обусловлена медленным течением процессов аммонификации в условиях нефтяного загрязнения и дозированным высвобождением аммония, исключающим массовое размножение грибов и подавление процессов азотфиксации.

Среди установленных критериев экологической устойчивости почвы и эффективности почвозащитных технологий наиболее значимыми являются критерии, основанные не на структурных, а на динамических характеристиках микробного сообщества почвы: характер изменения трофической стратегии микробоценоза почвы в отношении таких источников углерода как гумус и свежие растительные остатки в ответ на внесение в почву избытка минерального азота; динамический критерий скорости круговорота азота в системе «почва-растение- атмосфера», определяемый как скорость противоположно направленных микробиологических процессов цикла азота, таких как азотфиксации и денитрификация, (данный критерий также применим для оценки уровня биологической активности почвы и органических удобрений).