

Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А. Влияние совместного применения углеводородокисляющих микроорганизмов, эндотрофных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтезагрязненных почв

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

УДК 502.654/.654:631.6

Влияние совместного применения углеводородокисляющих микроорганизмов, эндотрофных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтезагрязненных почв

Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А.

Удмуртский государственный университет

Аннотация

В статье приводятся результаты полевого эксперимента по исследованию совместного влияния биопрепарата-нефтедеструктора, эндотрофных (микроскопических) грибов и высших растений на показатели инвертазной активности нефтезагрязнённых почв. Для проведения эксперимента смоделирован этап биоремедиации дерново-среднеподзолистой суглинистой почвы с содержанием нефти объёмом 5 и 10%. В качестве мелиорантов в различных сочетаниях использованы биопрепарат-нефтедеструктор «Микрозим Петро Трит» (вариант контроля, в котором использовался только биопрепарат), фиторемедиант Мятлик луговой (*Poa pratensis* L), и эндотрофные грибы рода *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpum magnusianum*.

Спустя 6 месяцев по завершению эксперимента в варианте с 5% уровнем загрязнения нефтью и совместным внесением биопрепарата-нефтедеструктора, растений и эндотрофного гриба рода *F. equiseti* значение инвертазной активности оказалось достоверно более чем в 2 раза больше, чем в контрольном варианте. В этом же случае при совместном использовании мелиорантов с грибом рода *C. magnusianum* значение инвертазной активности почвы оказалось достоверно почти в 1,4 раза больше значения контрольного варианта. При 10% загрязнении почвы нефтью и применении полной совокупности мелиорантов с грибом рода *F. equiseti* и *C. magnusianum* значение инвертазной активности оказалось достоверно более чем в 3 и 2,5 раза соответственно больше по сравнению с применением одного лишь биопрепарата. Также при использовании гриба *F. equiseti* в комплексе с фиторемедиантом и биопрепаратом инвертазная активность оказалась почти в 1,5 и 1,2 раза больше варианта с использованием гриба *C. magnusianum* в полном комплексе мелиорантов при 5 и 10% загрязнении нефтью соответственно

Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А. Влияние совместного применения углеводородокисляющих микроорганизмов, эндотрофных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтезагрязненных почв

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Ключевые слова: НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, БИОПРЕПАРАТ, БИОРЕМЕДИАЦИЯ, ЭНДОТРОФНЫЕ ГРИБЫ, ИНВЕРТАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

Введение

В настоящее время тенденции развития нефтедобывающей отрасли так или иначе подразумевают риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с разливом нефти, что крайне негативно сказывается на состоянии экосистем: меняются физико-химические свойства почвы, нарушается соотношение основных биогенных элементов [1].

Одним из важнейших факторов, характеризующих состояние почвенной экосистемы, является уровень её биологической активности, который отражает результат взаимодействия почвенных организмов друг с другом, а также с продуктами их жизнедеятельности [2]. Итоговые показатели биологической активности всех организмов, позволяющие дать оптимальную оценку их потенциальной активности, особенно зависят от активности почвенных ферментов [3]. Именно эти ферменты играют важную роль в формировании специфических биологических путей трансформации вещества и энергии, как в естественных, так и в нарушенных антропогенной деятельностью экосистемах. Так, в условиях нефтяного загрязнения происходит подавление активности большинства ферментов, участвующих в важных биологических процессах [2]. От работы и активности этих ферментов зависит, каким будет уровень доступности элементов питания, а также способность почвы к детоксикации различных поллютантов [4]. Поэтому восстановление ферментативной (биологической) активности становится одной из первоочередных задач проведения биоремедиации нефтезагрязненных почв.

При проведении работ по биоремедиации нефтезагрязненных почв наиболее эффективным является применение биопрепаратов, содержащих штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов [5]. Данный метод основан на способности определенных видов микроорганизмов не только переводить нефтяные углеводороды в менее токсичные формы, но и использовать их в качестве единственного источника энергии [6]. Однако эффективность применения биопрепарата зависит от типа почвы, минерального и органического составов, температуры, влажности, содержания кислорода, окисления, гидролиза, каталитического разложения [6]. Вместе с тем применение

Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А. Влияние совместного применения углеводородокисляющих микроорганизмов, эндотрофных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтезагрязненных почв

.....
**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**
=====

биопрепаратов-нефтедеструкторов позволяет лишь только очищать загрязнённую почву от нефти, не восстанавливая её оптимальных параметров биологической активности.

В настоящее время в рамках исследований по биоремедиации почв значительное внимание уделяется изучению перспектив использования симбиотических связей, возникающих между высшими растениями и эндотрофными грибами (микромикетами), оказывающих значительное влияние на развитие представителей обеих групп, а также на процессы обмена биогенными элементами и биологическую активность почвы [7]. Основной функцией микромикетов является транспорт минеральных элементов к корневой системе растения [8] благодаря чему она стимулирует микробную активность почвы, обеспечивая биологически оптимальную среду для разложения органических загрязнителей [9,10]. Использование таких консортивных связей способно расширить диапазон действия биопрепарата путем создания оптимальных условий для роста и развития микроорганизмов-нефтедеструкторов, что повысит эффективность очистки земель от нефти и активизирует процессы биологического восстановления почвы [5].

Несмотря на то, что особенности функционирования микромикетов при фиторемедиации загрязненных почв изучены достаточно хорошо, исследований, посвященных применению эндотрофных грибов при деградации нефтяного загрязнения почв, крайне мало. Дальнейшее изучение особенностей функционирования микромикетов в загрязненной почвенной среде является перспективной областью исследования при разработке биоремедиационных методов деструкции загрязняющих веществ [7,11].

Учитывая, что среди множества почвенных ферментов, именно активность инвертазы лучше других ферментов отражает уровень биологической активности почв, целью нашего исследования явилось изучение влияния совместного применения биопрепарата-нефтедеструктора, эндотрофных грибов и высших растений на показатели инвертазной активности при восстановлении нефтезагрязнённых почв.

Методы исследования

Исследование проведено методом многофакторного полевого эксперимента, моделирующего биологический этап восстановления нефтезагрязнённых земель. Схема эксперимента включала разное процентное содержание нефти и использование для восстановления нефтезагрязненных почв биопрепарата-нефтедеструктора «Микрозим

Петро Трит», фиторемедианта мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) и эндотрофных грибов *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*. Все варианты опыта закладывались в 4-х кратном повторении (табл. 1).

Таблица 1. Схема полевого эксперимента

Фактор А – содержание нефти в почве	Фактор В – биоремедиант	Варианты опыта
А1 – содержание нефти 5% от массы почвы (50 г)	¹ В1 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» (контроль) В2 – Мятылик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.) фиторемедиант В3 – Фиторемедиант + грибы-эндифиты рода <i>Fusarium</i> В4 - Фиторемедиант + грибы-эндифиты рода <i>Cylindrocarpon</i>	A1В1
		A1В2
		A1В3
		A1В4
		A1В5
		A1В6
А2–содержание нефти 10% от массы почвы (100 г)	В5 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант + грибы-эндифиты рода <i>Fusarium</i> В6 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант + грибы-эндифиты рода <i>Cylindrocarpon</i>	A2В1
		A2В2
		A2В3
		A2В4
		A2В5
		A2В6

Примечание: А1В1, А2В1 были использованы в качестве контрольных вариантов

В качестве контроля (варианта сравнения) для каждой степени загрязнения использован вариант с биопрепаратом «Микрозим Петро Трит»: для 5% загрязнения почвы нефтью – контроль А1В1 и для 10% загрязнения – А2В1. Таким образом, задачей эксперимента являлось выявление мелиоранта (группы мелиорантов), влияющих на показатели инвертазной активности почвы при восстановлении почвы при 5 и 10% загрязнении нефтью.

Учитывая, что дерново-подзолистый тип почвы наиболее подвержен нефтяному загрязнению в Удмуртии, а по механическому составу преобладающий тип почв – суглинистый, полевой эксперимент был проведен на дерново-среднеподзолистой суглинистой почве. Полевой эксперимент заложен на территории Воткинского района Удмуртской Республики. Для его проведения были подготовлены почвенные делянки площадью 0,05 кв.м, в которые согласно схеме эксперимента, была внесена нефть массой 50 и 100 г (для моделирования 5 и 10% загрязнения почвы соответственно). Согласно схеме эксперимента, был внесен биопрепарат-нефтедеструктор «Микрозим Петро Трит» в виде водной суспензии из расчета 1 и 1,5 г на 1 кг почвы в вариантах 5 и 10% загрязнения нефтью согласно технологии применения биопрепарата. Спустя 10 дней в соответствующие схеме варианты опыта были посеяны семена мятлика лугового (норма высева 10–15 г/м²). Через 10 дней после прорастания семян в соответствующие варианты опыта была внесена грибная суспензия (25 мл на 1 делянку). Для производства суспензии («Способ приготовления и внесения грибного биопрепарата для повышения устойчивости растений», решение о выдаче патента от 2.04.2020), были использованы культуры эндотрофных грибов *F. equiseti* и *C. magnusianum*, выделенные из корней растений, произраставших в условиях длительного загрязнения почв тяжелыми металлами. По завершении эксперимента был проведен анализ почв на показатели инвертазной активности и определение степени развития микоризной инфекции на корнях растений. Данные анализы проведены в учебно-научной лаборатории «Экологические биотехнологии» ФГБОУ ВО «УдГУ».

Определение активности инвертазы проведено методом В.Ф. Купревича и Т.А. Щербаковой, основанным на измерении количества глюкозы, образующейся при гидролизе сахарозы. Данный метод основан на способности глюкозы и фруктозы, образующихся при гидролизе сахарозы, восстанавливать медь, содержащуюся в растворе Феллинга. По количеству образовавшейся закиси меди было определено содержание глюкозы в растворе.

Также с целью определения возможного влияния эндотрофных грибов на инвертазную активность почвы была определена степень развития грибной инфекции на корнях растений. Большинство методов для количественного учета развития эндотрофных грибов основывается на определении соотношения участков корня без гриба и участков с

грибами. Поэтому с помощью метода Травло была выявлена степень насыщенности корневой системы грибной инфекцией – интенсивность ее развития.

Препараты (корни) для микроскопирования были подготовлены следующим образом: корни были окрашены по указанной методике, нарезаны на части длиной 1,5 см и разложены на предметном стекле двумя рядами между параллельными линиями по 15 отрезков на каждом ряду. Параллельные линии были проведены на расстоянии 1 см одна от другой, что позволило ограничить длину просматриваемых отрезков. Затем на корни были нанесены капли раствора глицерина, после чего их накрыли покровными стёклами и аккуратно расплющили. Приготовленные таким образом препараты были просмотрены с помощью микроскопа Levenhuk D870T 8M Digital Trinocular Microscope в проходящем свете при увеличении 80х.

При микроскопировании корней для количественного учета интенсивности развития грибной инфекции использовалась шкала насыщенности корней грибной инфекцией, которая разделена на 6 классов. Каждый класс соответствует определенной плотности грибов в корне и, соответственно, проценту плотности от максимальной.

Интенсивность развития грибной инфекции, пересчитанная на 1см корня и выраженная в процентах, определялась по формуле (1):

$$M = \frac{95 \cdot n_5 + 80 \cdot n_4 + 50 \cdot n_3 + 20 \cdot n_2 + 5 \cdot n_1}{N}, \% \quad (1)$$

Где М – интенсивность развития грибной инфекции, пересчитанная на 1см корня и выраженная в процентах; n₅- сумма отрезков корней, относящихся к 5 классу, n₄- сумма отрезков корней, относящихся к 4 классу и т. д. -n₃;n₂;n₁, N- общее число просмотренных отрезков.

Результаты исследования

По окончании эксперимента при 5 и 10% загрязнении почвы нефтью получены следующие показатели инвертазной активности (табл. 2).

Таблица 2. Значение инвертазной активности нефтезагрязненных почв

Содержание нефти	Биоремедианты					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Инвертазная активность почв, мг глюкозы (г/сут) при использовании грибов рода <i>F. equiseti</i> и <i>C. magnusianum</i>						
5%	15,5±1,8	21,4±2,6	29,7±2,9	24,0±3,4	31,7±5,7	21,5±4,0
10%	13,7±0,4	24,5±5,2	11,3±4,5	14,2±2,5	43,0±2,6	34,2±2,5

Примечание: B1 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трит»; B2 – Мятлик луговой (*Poa pratensis* L.); B3 – Фиторемедиант + г. *F. equiseti*; B4 – фиторемедиант + г. *C. magnusianum*; B5 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант + г. *F. equiseti*; B6 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трит» + фиторемедиант + г. *C. magnusianum*

Использование гриба *F. equiseti* с биопрепаратом и фитомелиорантом дало следующие результаты. При 5% загрязнении в варианте A1B5 с полным составом биоремедиантов значение инвертазной активности оказалось достоверно более чем в 2 раза больше, чем в контрольном варианте A1B1, содержащем только биопрепарат. При 10% загрязнении нефтью в варианте A2B5 значение инвертазной активности оказалось достоверно выше контрольного варианта A2B1 более чем в 3 раза.

Таким образом, в условиях 5 и 10% загрязнения почвы нефтью использование полного состава мелиорантов с грибом *F. equiseti* оказало большее положительное влияние на биологическую активность почвы по сравнению с тем вариантом, в который был внесен только биопрепарат.

При 5% загрязнении нефтью в варианте A1B6 (биопрепарат + фитомелиорант + гриб *C. magnusianum*) значение инвертазной активности почвы оказалось достоверно более чем в 1,3 раза больше контрольного варианта A1B1. При 10% загрязнении в варианте с полным составом мелиорантов A2B6 значение инвертазной активности оказалось почти в 2,5 раза больше контрольного варианта, в котором был лишь один лишь биопрепарат.

Таким образом, как при 5%, так и при 10% загрязнении применение полной совокупности мелиорантов с грибом *C. magnusianum* также оказалось более эффективным по сравнению с применением только биопрепарата.

При сравнении значений инвертазной активности между соответствующими вариантами, содержащими грибы *F. equiseti* и *C. magnusianum* (A1B3 и A1B4, A1B5 и A1B6, A2B3 и A2B4, A2B5 и A2B6) были получены следующие результаты. При 5%

загрязнении использование грибов *F. equiseti* и *C. magnusianum* в совокупности мелиорантов фитомелиорант + гриб (сравнение вариантов А1В3 и А1В4) не подтвердило достоверной разницы. Однако, при использовании полной совокупности мелиорантов, значение инвертазной активности в варианте с использованием гриба *F. equiseti* оказалось достоверно почти в 1,5 раза больше, чем при использовании в полной совокупности мелиорантов гриба *C. magnusianum* (сравнение вариантов А1В5 и А1В6).

При сравнении вариантов с 10% загрязнением А2В3 и А2В4 достоверной разницы в значениях инвертазной активности нефтезагрязненных почв не выявлено. При сравнении вариантов А2В5 и А2В6 выявлено большее значение инвертазной активности при использовании гриба *F. equiseti*: в этом варианте (А2В5) значение активности инвертазы оказалось более чем в 1,2 раза больше варианта А2В6, в котором использовался гриб *C. magnusianum*.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что использование грибов *F. equiseti* и *C. magnusianum* с фитомелиорантом и биопрепаратом повышает инвертазную активность почвы при 5 и 10% загрязнении, по сравнению с использованием одного лишь биопрепарата, а использование гриба *F. equiseti* в комплексе с фитомелиорантом и биопрепаратом-нефтедеструктором приводит к повышению инвертазной активности почв, по сравнению с применением гриба *C. magnusianum* с полным составом мелиорантов.

Для подтверждения влияния эндотрофных грибов на процессы активизации инвертазной активности нефтезагрязненной почвы по формуле (3) была определена степень развития микромицетов в корневой системе растений. Для оценки влияния конкретного гриба сравнение результатов проводилось между соответствующими вариантами, содержащими одинаковые по составу сочетания мелиорантов, но различные виды эндотрофных грибов (сравнивались варианты А1В3 и А1В4, А1В5 и А1В6, А2В3 и А2В4, А2В5 и А2В6). Степень развития грибной инфекции определена по показателю интенсивности ее развития. Полученные показатели интенсивности развития грибной инфекции в корневой система растений мелиорантов приведены (табл. 3).

В результате после просмотра подготовленных корней были определены следующие значения интенсивности развития грибной инфекции, выраженные в процентах.

Таблица 3. Интенсивность развития грибной инфекции при использовании *F. equiseti* и *C. magnusianum*

Содержание нефти	Биоремедианты					
	¹ В1	В2	В3	В4	В5	В6
Интенсивность развития грибной инфекции, %						
5%	-	-	39	28,7	39,7	32
10%	-	-	14,7	13,3	17,3	14,7

Примечание: 1– Биоремедианты: В1 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трим»; В2 – Мятлик луговой (*Poa pratensis* L.); В3 – Фиторемедиант + *F. equiseti*; В4 – фиторемедиант + *C. magnusianum*; В5 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трим» + фиторемедиант + *F. equiseti*; В6 – Биопрепарат «Микрозим Петро Трим» + фиторемедиант + *C. magnusianum*

Результаты расчета интенсивности развития грибной инфекции гриба *F. equiseti*, пересчитанной на 1 см корня:

1. Для варианта с 5% нефтяным загрязнением почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность биопрепарат + фиторемедиант + гриб (А1В5):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 20 \cdot 3 + 5 \cdot 1) / 15 = 39\%$$

2. Для варианта с 5% нефтяным загрязнением почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность фиторемедиант + гриб (А1В3):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 4 + 50 \cdot 4 + 20 \cdot 3 + 5 \cdot 3) / 15 = 39,7\%$$

3. Для варианта с 10% нефтяным загрязнением почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность биопрепарат + фиторемедиант + гриб (А2В5):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 0 + 50 \cdot 3 + 20 \cdot 3 + 5 \cdot 2) / 15 = 14,7\%$$

4. Для варианта с 10% нефтяным загрязнением суглинистой почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность фиторемедиант + гриб (А2В3):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 1 + 50 \cdot 2 + 20 \cdot 3 + 5 \cdot 4) / 15 = 17,3\%$$

Результаты расчета интенсивности развития грибной инфекции гриба *C. magnusianum*, пересчитанной на 1 см корня:

1. Для варианта с 5% нефтяным загрязнением почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность биопрепарат + фиторемедиант + гриб (А1В6):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 2 + 50 \cdot 4 + 20 \cdot 3 + 5 \cdot 2) / 15 = 28,7\%$$

2. Для варианта с 5% нефтяным загрязнением почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность фиторемедиант + гриб (A1B4):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 2 + 50 \cdot 5 + 20 \cdot 3 + 5 \cdot 2) / 15 = 32\%$$

3. Для варианта с 10% нефтяным загрязнением почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность биопрепарат + фиторемедиант + гриб (A2B6):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 0 + 50 \cdot 2 + 20 \cdot 4 + 5 \cdot 4) / 15 = 13,3\%$$

4. Для варианта с 10% нефтяным загрязнением почвы, содержащем в качестве мелиоранта совокупность растения + гриб (A2B4):

$$M = (95 \cdot 0 + 80 \cdot 0 + 50 \cdot 2 + 20 \cdot 5 + 5 \cdot 4) / 15 = 14,7\%.$$

При 5% загрязнении использование *F. equiseti* в вариантах A1B3 и A1B5 продемонстрировало большее положительное влияние, увеличив интенсивность развития грибной инфекции на 10,3% и 7,7%, по сравнению с использованием *C. magnusianum* в вариантах A1B4 и A1B6 соответственно. При 10% загрязнении интенсивность развития грибной инфекции в корнях растений также оказалась лучше выражена при использовании гриба *F. equiseti*: интенсивность развития грибной инфекции в вариантах A2B3 и A2B5 оказалась на 1,4% и 2,6% больше, чем в вариантах A2B4 и A2B6 соответственно.

Полученные данные позволяют предположить, что большая степень развития гриба *F. Equiseti* на корневой системе растений по сравнению с *C. magnusianum* привела к увеличению инвертазной активности почвы в вариантах с 5% и 10% загрязнением нефтью.

Выводы

Таким образом, проведенный полевой эксперимент позволил оценить влияние применения консорциума биопрепарата-нефтедеструктора, эндотрофных грибов *F. equiseti* и *C. magnusianum* и высших растений мелиорантов на показатели инвертазной активности почв с 5 и 10% уровнем загрязнения нефтью.

Использование эндотрофных грибов *F. Equiseti* и *C. magnusianum* в комплексе с фитомелиорантом и биопрепаратом способствует более эффективному восстановлению биологической (инвертазной) активности почвы по сравнению с использованием одного лишь биопрепарата причем при 5 и 10% уровнях загрязнения нефтью. Кроме того, при

использовании полного комплекса мелиорантов выявлено большее положительное влияние гриба *F. equiseti* на увеличение показателя активности инвертазы по сравнению с использованием гриба *S.magnusianum*, что подтверждено большей степенью развития гриба *F. equiseti* в корнях растений.

Таким образом, повышенная степень развития грибной инфекции в корнях растений может служить индикатором формирования оптимальных биологических условий восстановления нефтезагрязненных почв.

Список использованных источников

1. Куликова О.А., Терехова В.А., Мазлова Е.А., Нишкевич Ю.А., Кыдралиева К.А. Экотоксикологические характеристики нефтезагрязнённых грунтов (шламов) после их реагентной обработки // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 120–126.
2. Новосёлова Е.И. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и её биодиагностическое значение // Теоретические проблемы экологии. № 2. 2009. С. 4-12.
3. Важенин И.Г. О разработке предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1983. Вып. 35. С. 3-6.
4. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 203 с.
5. Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Здобяхина О.В., Исламова Н.А., Загребина В.С. Исследование эффективности совместного применения биопрепарата-нефтедеструктора и эндотрофных грибов на этапе биологического восстановления нефтезагрязненных земель // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 3 (45). С. 94–98.
6. Назарько М.Д., Щербаков В.Г. Александра А.В. Перспективы использования микроорганизмов для биодеградациии нефтяных загрязнений почв // Известия вузов. Пищевая технология. 2004. № 4. С. 89–91.
7. Мифтахова А.М. Некоторые аспекты взаимоотношений высших растений и микроскопических грибов в почвах, загрязненных нефтью // Вестник Башкирского университета. 2005. №3. С. 41–46.
8. Nwoko C.O. The Contributions of Mycorrhizas in the Mineralization of Organic Contaminants // Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants. 2017. P. 101–116.
9. Gao Y., Cheng Z., Ling W., Huang J. Arbuscularmycorrhizal fungal hyphae contribute to the uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons by plant roots // Bioresour Technol. 2011. №. 101. P. 6895–6901.

Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А. Влияние совместного применения углеводородокисляющих микроорганизмов, эндотрофных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтезагрязненных почв

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

10. Vosbōtkam. et al. (eds.). Mycorrhizal fungi as helping agents in phytoremediation of degraded and contaminated soils // Phytoremediation Rhizoremediation. 2006. P. 237–257.

11. Garg N., Chandel S. Arbuscularmycorrhizal networks: process and functions. A review // Agronomy for sustainable. 2010. V. 30. P. 581–599.

=====

Цитирование:

Лямзин В.И., Бухарина И.Л., Исупова А.А. Влияние совместного применения углеводородокисляющих микроорганизмов, эндотрофных грибов и высших растений на изменение инвертазной активности нефтезагрязненных почв// АгроЭкоИнфо. – 2020, №3. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_318.pdf