

Уфимский федеральный исследовательский центр
Российской академии наук
Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН
Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН



ЭкоБиоТех 2021

Материалы
VII Всероссийской конференции
с международным участием,
Уфа, 4–7 октября 2021 г.



ISBN 978 5 6047532 0 0



9 785604 753200

Уфа – 2021

УДК 57:574:60

ББК 20.1:28.080:28.087

Э 40

Экобиотех 2021. Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, г. Уфа 4-7 октября 2021 г. Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2021. 220 с. [Электронный ресурс: <http://ib.anrb.ru/ebt2021/ecobiotech2021.pdf>]

ISBN 978-5-6047532-0-0

Всероссийская конференция с международным участием "ЭкоБиотех" проводится на базе Уфимского Института биологии каждые 2 года, начиная с 2009. Она всегда пользовалась популярностью среди ученых нашей страны и зарубежных участников благодаря высокому уровню докладов, актуальности рассматриваемых вопросов и широкой области обсуждаемых проблем.

Тематика представленных в этом сборнике материалов посвящена рассмотрению фундаментальных вопросов и практических задач экологии и генетики микроорганизмов природных и техногенных сообществ; сельскохозяйственной и экологической биотехнологии растений и микроорганизмов; устойчивости растений к действию абиотических и биотических факторов окружающей среды, антропогенных нагрузок и изменения климата; дендрэкологии, лесоведения и лесовосстановления; экологических проблем почвоведения: мониторингу биологического разнообразия и динамики растительности в условиях комплексного влияния природных и антропогенных нагрузок.

Вся ответственность за достоверность предоставленных в сборнике материалов несут авторы соответствующих статей. Статьи публикуются без корректуры с сохранением авторской орфографии и пунктуации. Иллюстрации предоставлены авторами статей.

© Оформление: УИБ УФИЦ РАН, 2021



ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ.....	8
ОЦЕНКА ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ И СПОСОБНОСТИ К МАЦЕРАЦИИ БАКТЕРИЙ <i>BACILLUS VELEZENSIS</i> Д.Л. Басалаева, К.А. Роденко, М.И. Никельшпарг, С.С. Евстигнеева, Е.В. Глинская	8
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ <i>BACILLUS ATROPHAEUS</i> ВКПМ–11474 ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛИСТОВОГО САЛАТА В УСЛОВИЯХ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ Д.Г. Баубекова	12
ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ БЕЛОГО ФОСФОРА А.З. Миндубаев, Й.А. Акосах, Э.В. Бабынин, Е.К. Бадеева, С.Т. Минзанова	15
ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ И КОРНЕВЫХ ВОЛОСКОВ У ИНОКУЛИРОВАННЫХ АЦК-УТИЛИЗИРУЮЩИМИ РИЗОБАКТЕРИЯМИ ПРОРОСТКОВ ТОМАТОВ А.И. Шапошников, Д.С. Сырова, П.С. Ульянич, А.А. Белимов	19
АДАПТАЦИОННЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ РОДОКОККОВ К УСЛОВИЯМ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И.Б. Ившина.....	21
ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ <i>PSEUDOMONAS PROTEGENS</i> ДА1.2 НА РОСТ И УРОВЕНЬ СТРЕССА РАСТЕНИЙ СВЕКЛЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ПОЧВЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ГЕРБИЦИДОМ НАНОМЕТ А.А. Кенджиева, Д.В. Четверикова, М.Д. Бакаева, С.П. Четвериков	26
РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ КОИНОКУЛЯЦИИ IN VITRO КАРТОФЕЛЯ РОСТ-СТИМУЛИРУЮЩИМИ БАКТЕРИЯМИ О.В. Ткаченко, Г.Л. Бурыйгин, М.А. Григорян, Н.В. Евсеева, К.Ю. Каргаполова	30
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСОАНИОНОВ СЕЛЕНА БАКТЕРИЯМИ РОДА <i>AZOSPIRILLUM</i> А.В. Тугарова, А.А. Владимирова, П.В. Мамченкова, А.А. Камнев	33
ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ АУКСИНПРОДУЦИРУЮЩЕГО ГЕРБИЦИДТОЛЕРАНТНОГО ШТАММА БАКТЕРИЙ <i>PSEUDOMONAS PROTEGENS</i> ДА1.2 Г.Г. Худайгулов, Д.В. Четверикова, С.П. Четвериков.....	37
ПРОИЗВОДНЫЕ КУМАРИНА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ГРИБОВ О.М. Цивилева, Д.Н. Ибрагимова, О.В. Кофтин	40
НЕЙТРАЛИЗАТОР ПЕСТИЦИДНОГО СТРЕССА «АГРОБИОЛОГ» С.П. Четвериков.....	44
МИКРОБНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ НЕКОТОРЫХ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ ПАВ И ГЕРБИЦИДОВ Д.А. Шарипов, С.П. Четвериков	46



ЭКОЛОГИЯ И ГЕНЕТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СООБЩЕСТВ.....	50
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВ Г.Р. Ильбулова, И.Н. Семенова, Я.Т. Суюндуков, Р.Ф. Хасанова, М.Б. Суюндукова, Х.М. Сафин.....	50
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА <i>RHODOCOCCLUS QINGSHENGII</i> УКМ АС-2784D, ИЗОЛИРОВАННОГО ИЗ РИЗОСФЕРЫ <i>ELYTRIGIA REPENS</i> Ю.А. Маркова, Л.А. Беловежец, И.С. Петрушин, М.С. Карепова, Л.Е. Макарова, А.А. Левчук, И.В. Злобин, Ю.В. Зайцева	55
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОСПИРИЛЛ В КОМПЛЕКСНОЙ РЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ А.Ю. Муратова, А.Д. Бондаренкова, Е.В. Дубровская, Н.Н. Позднякова, Л.В. Панченко, С.Н. Голубев, И.Ю. Сунгурцева, О.В. Турковская.....	59
ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ ПЕРОКСИДАЗЫ АСКОМИЦЕТОВ: КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И УЧАСТИЕ В КАТАБОЛИЗМЕ ПОЛЛЮТАНТОВ Н.Н. Позднякова, С.А. Баландина, О.В. Турковская	64
ШТАММОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И МОРФОЛОГИЯ <i>NEOLENTINUS LEPIDEUS</i> (FR.) REDHEAD & GINNS 1985 В ЭКОСИСТЕМАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ Н.Ю. Шабанова, О.Б. Вайшля, С.И. Гашков, Н.Н. Кудашова	69
ВОДОРΟΣЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ ПОЧВ ГОРНОЙ ТУНДРЫ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ (ГОРА КАСКАМА, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) Р.Р. Шалыгина, В.В. Редькина, В.А. Мязин	73
МОНИТОРИНГ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ И ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА.....	77
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ГРАДИЕНТЫ В РАЗНООБРАЗИИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ ЭКОСИСТЕМ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ ГОР ЮЖНОЙ СИБИРИ М.В. Бочарников	77
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ГОРНО-ЛЕСНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН С.Н. Жигунова.....	83
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕВЫПАСА НА РАЗНОТРАВНО-ЗЛАКОВЫЕ СТЕПИ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ «ДАУРСКИЙ» (ЮЖНАЯ ДАУРИЯ). Л.И. Сараева, Т.Е. Ткачук	88
АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭНДЕМИЧНОГО ВИДА <i>HEDYSARUM ARGYROPHYLLUM</i> LEDEB. НА ЮЖНОМ УРАЛЕ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ Ю.А. Федорова, А.А. Мулдашев, А.Г. Кутуева	92

УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К ДЕЙСТВИЮ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	96
ВКЛАД ЭНДОГЕННЫХ БРАССИНОСТЕРОИДОВ В РЕГУЛЯЦИЮ ВЫЗЫВАЕМЫХ ЦИТОКИНИНОМ 6-БЕНЗИЛАМИНОПУРИНОМ ПЕРЕСТРОЕК В ПРОТЕОМЕ И ТИРОЗИНОВОМ ФОСФОПРОТЕОМЕ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ А.М. Авальбаев, Р.А. Юлдашев, Ч.Р. Аллагүлова, Ф.М. Шакирова	96
РОЛЬ БАКТЕРИЙ РОДА <i>BACILLUS</i> И ИХ МЕТАБОЛИТОВ В РЕГУЛЯЦИИ ЗАЩИТНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ К ОБЫКНОВЕННОЙ ЗЛАКОВОЙ ТЛЕ <i>SCHIZAPHIS GRAMINUM</i> (ROND.) В.Ю. Алексеев, С.Д. Румянцев, С.В. Веселова, Г.Ф. Бурханова, А.Р. Касимова, И.В. Максимов	100
ОСНОВНЫЕ ПУТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДА АЗОТА В РАСТЕНИЯХ Ч.Р. Аллагүлова	105
КОМБИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ NaCl–ЗАСОЛЕНИЯ И ЩЕЛОЧНОСТИ КОРНЕВОЙ СРЕДЫ НА ПЕРОКСИДАЗНУЮ АКТИВНОСТЬ <i>TRITICUM AESTIVUM</i> L. А.К. Арисова, О.З. Еремченко, В.А. Семенова	110
ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОФУНГИЦИДОВ НА СОСТОЯНИЕ ТЮЛЬПАНОВ В СРЕЗКЕ О.О. Белошапкина, О.Ф. Панфилова	114
ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ И ЩЕЛОЧНОСТИ КОРНЕВОЙ СРЕДЫ НА АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ <i>TRITICUM AESTIVUM</i> L. И <i>SECALE CEREALE</i> L. К.И. Боталова.....	119
РОЛЬ ФИТОГОРМОНОВ В РЕГУЛЯЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ РАСТЕНИЯМИ И ПАТОГЕНАМИ, НАСЕКОМЫМИ-ВРЕДИТЕЛЯМИ, ВИРУСАМИ С.В. Веселова, Т.В. Нужная, Г.Ф. Бурханова, С.Д. Румянцев, А.Р. Касимова, И.В. Максимов	124
ЭФФЕКТЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ПРИ КО-ИНОКУЛЯЦИИ РИЗОБАКТЕРИЯМИ В УСЛОВИЯХ ОСМОТИЧЕСКОГО СТРЕССА <i>IN VITRO</i> Н.В. Евсеева, О.В. Ткаченко, А.Ю. Денисова, Г.Л. Бурьгин, Н.Н. Позднякова	129
ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ И ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА АКТИВНОСТЬ И СВОЙСТВА β-ГЛЮКОЗИДАЗЫ РАСТЕНИЙ ГОРОХА А.Н. Ершова	131
МОНОСАХАРИДНЫЙ СОСТАВ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ ФЛОЭМНЫХ ВОЛОКОН РАСТЕНИЙ ЛЬНА ПРИ ГРАВИТРОПИЗМЕ Н.Н. Ибрагимова	135
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ <i>FUSARIUM EQUISETI</i> И <i>CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM</i> К ДЕЙСТВИЮ ХРОМА И МЕДИ Н.А. Исламова, И.Л. Бухарина.....	139
ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕНОТИПОВ <i>LINUM USITATISSIMUM</i> L. В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА К.П. Королев.....	145

НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ КАДМИЯ В ХЛОРОПЛАСТАХ	
Е.А. Лысенко, А.А. Клаус, А.В. Карташов, В.В. Кузнецов	148
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В ИМПАКТНОМ ФИТОМОНИТОРИНГЕ ДОНБАССА	
А.И. Сафонов, А.З. Глухов	150
УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПОЛЕЙ (<i>POPULUS SSP.</i>) К ЗАБОЛЕВАНИЯМ И КОМПЛЕКСУ ВРЕДИТЕЛЕЙ	
Н.В. Синчук, В.П. Курченко	155
УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ-ФИТОРЕМЕДИАНТОВ К ДЕЙСТВИЮ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	
Ю.М. Сотникова, Р.Г. Фархутдинов	161
ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ <i>PSEUDOMONAS PROTEGENS</i> ДА1.2 НА УСТОЙЧИВОСТЬ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К ЗАСУХЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЕРБИЦИДОМ ЧИСТАЛАН	
А.В. Феоктистова, М.Д. Тимергалин, Т.В. Рамеев, С.П. Четвериков	164
ИЗМЕНЕНИЯ В ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЕ КАРТОФЕЛЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ <i>BACILLUS SUBTILIS</i> 26Д С САЛИЦИЛОВОЙ И ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТАМИ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ И ИНФИЦИРОВАНИЯ <i>RHYZOPHTHORA INFESTANS</i>	
Е.А. Черепанова, Л.Г. Яруллина, В.О. Цветков, А.В. Сорокань, Е.А. Заикина, Ж.Н. Калацкая, Н.В. Балюк	168
ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ И ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТ НА ТРАНСКРИПЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ГЕНОВ <i>TADCL2</i> И <i>TADCL4</i> В РАСТЕНИЯХ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ ГРИБОМ <i>STAGONOSPORA</i> <i>NODORUM</i>	
М.Ю. Шеин, Г.Ф. Бурханова, И.В. Максимов	172
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОВЕДЕНИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЯ.....	176
МИКРОБИОМЫ ЗАЛЕЖНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЯНАО	
Е.В. Абакумов, Е.Н. Моргун, А.О. Зверев	176
ДИНАМИКА ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕЖГОДОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ	
С.Ю. Бахтина	179
ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ, И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ	
Л.А. Беловежец, Ю.А. Маркова, М.С. Третьякова	183
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОРБЦИОННОЙ БИОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ ПОЛЛЮТАНТАМИ РАЗНЫХ КЛАССОВ	
Г.К. Васильева, Е.Е. Михедова, Е.Р. Стрижакова	189
ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ	
Т.Т. Гарипов	193



ОЦЕНКА СРЕДООЧИЩАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (<i>POPULUS BALSAMIFERA</i> L.) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Р.Х. Гиниятуллин	197
КОНКУРЕНЦИЯ, ВЛИЯНИЕ ПЛОЩАДИ ПИТАНИЯ И ПЛЮСОВЫЕ ДЕРЕВЬЯ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ М.В. Рогозин	202
О ВОЗМОЖНОСТЯХ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ И СЕМЯН ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО СКРИНИНГА В.Е. Землянова, Т.М. Жавкина, А.В. Помогайбин, Л.М. Кавеленова, П.В. Родионова, С.А. Розно, Н.В. Янков, Н.Н. Потрахов	207
ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ И РАЗЛОЖЕНИЕ ВАЛЕЖА ЧЕРЕЗ 14 ЛЕТ ПОСЛЕ МАССОВОГО ВЕТРОВАЛА В ШИРОКОЛИСТВЕННОМ ЛЕСУ (ЗАПОВЕДНИК «КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ») Л.Г. Ханина, М.В. Бобровский, И.В. Жмайлов	212
ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ЕСТЕСТВЕННОМ И ИСКУССТВЕННОМ НАСАЖДЕНИЯХ, ВЫЯВЛЯЕМОЕ ISSR-МАРКЕРАМИ И ПРИ АНАЛИЗЕ SNP Р.Ю. Янбаев	217



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ *FUSARIUM EQUISETI* И *CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM* К ДЕЙСТВИЮ ХРОМА И МЕДИ

Н.А. Исламова, И.Л. Бухарина

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Россия,
islamovanadezhda@mail.ru, buharin@udmlink.ru

Аннотация. Одной из актуальных проблем настоящего времени является восстановление нарушенных земель, в том числе, загрязненных тяжелыми металлами в результате хозяйственной деятельности человека. Отсюда разработка биотехнологий, способных наиболее экономично и экологически безопасно восстановить нарушенные земли, является важной задачей. В этом плане использование полезных для растений микроорганизмов (особенно эндофитов), адаптированных к стрессовым условиям и способных повышать устойчивость растений, является весьма перспективным направлением.

Ключевые слова: металлрезистентность, эндофиты, микромицеты, устойчивость, инокуляция

В настоящее время в результате хозяйственной деятельности человека, в том числе добычи полезных ископаемых, сжигания ископаемого топлива и угля, а также использования удобрений и пестицидов в сельском хозяйстве, происходит накопление солей, в том числе тяжелых металлов (ТМ), в почве и нарушение ее структуры [Водяницкий, 2013; Bilal et al., 2020]. Загрязнение почвы также меняет состав и характер жизнедеятельности микробных сообществ, нарушает метаболизм и снижает рост и размножение растений [Трифонова, Забелина, 2017; Sharma et al., 2019].

Отсюда актуальным становится вопрос восстановления нарушенных земель, и наиболее перспективной в этом плане является фиторемедиация, благодаря своей простоте, экономичности и общему положительному воздействию на окружающую среду [Li et al., 2012]. Однако эффективность фиторемедиации во многом повышается благодаря взаимодействию растений с полезными для них микроорганизмами (особенно эндофитами), которые позволяют им изменять поглощение, подвижность и биодоступность ионов металлов [Kram, 2018].

Известно, что некоторые эндофитные грибы, выделенные в средах с повышенным содержанием ТМ, обладают повышенной металлрезистентностью и способны повысить устойчивость к металлам растений-хозяев [Sharma et al., 2019].

Отсюда целью наших исследований являлось изучить пределы выносливости эндофитных грибов, выделенных из корневой системы древесных растений, произрастающих в условиях техногенного загрязнения, к действию меди и хрома.

В качестве объектов исследования нами были выбраны эндофитные грибы *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum*, выделенные из корневой системы древесных насаждений, произрастающих на территории санитарно-защитной зоны промышленного предприятия «Ижсталь», являющегося одним из основных загрязнителей города Ижевска (Удмуртская Республика). Изоляты грибов были выделены ранее аспирантами Удмуртского государственного университета и в настоящее время хранятся в лаборатории «Экологические биотехнологии». Видовая принадлежность грибов установлена методами молекулярного анализа ДНК в лаборатории Лейбницкого института овощных и декоративных культур (г. Берлин) [Bukharina et al., 2016].

Fusarium equiseti – это широко встречающийся в природе корневой эндофит, продемонстрировавший высокую устойчивость в исследованиях с разными концентрациями солей тяжелых металлов [Akinkunmi, 2015]. *Cylindrocarpon magnusianum* также в предыдущих наших исследованиях показал высокую устойчивость к хлориду натрия и солям ТМ, и, кроме того, гриб встречается в местах

загрязнения почв нефтью, что может быть востребовано в восстановлении нефтезагрязненных земель [Sogonov, Velikanov, 2004].

Грибы культивировали на агаровой среде, состоящей из декстрозного бульона, агара-агара и дистиллированной воды, с внесением разных концентраций меди и хрома (биогенный и небιοгенный химические элементы): Cu – 50; 100; 150 мг/л; Cr – 2,5; 5; 10 мг/л. Для эксперимента использовали соли $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с пересчетом на моделируемые концентрации металлов. Также имелся контрольный вариант. Измеряли диаметр колоний мицелиальных грибов и скорость их роста. Особенности реакции грибов на условия стресса оценивались по содержанию малонового диальдегида (МДА), являющегося продуктом окисления липидов. Оценивали содержание МДА по степени накопления продукта его реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК), определяя оптическую плотность раствора на спектрофотометре при длине волны 532 нм (Жильцова, 2011). Для этого в пробирку с грибной биомассой добавляли 2 мл дистиллированной воды и 3 мл 10% ТХУ. Из получившегося гомогената отбирали пробу 2 мл и добавляли 0,5% ТБК. Стоит также отметить, что ряд исследований подтверждают зависимость концентрации МДА в мицелии гриба от содержания ТМ в субстрате, следовательно, данный показатель может служить биомаркером стрессовых условий, в которых оказываются эндофиты [Бухарина, 2016; Hou et al., 2020].

Результаты измерения диаметра и скорости роста колоний *Fusarium equiseti* представлены на рисунках 1-2, *Cylindrocarpon magnusianum* – на рисунках 3-4.

Результаты эксперимента показали, что содержание хрома в среде оказало влияние на рост *F. equiseti*. Диаметр колоний гриба при всех концентрациях металла был достоверно меньше по сравнению с контролем. При этом достоверных различий между самими вариантами не наблюдалось.

Скорость роста колоний *F. equiseti* в начале эксперимента отличалась от контроля в меньшую сторону лишь при концентрации хрома 2,5 мг/л. Далее гриб адаптировался, и скорость роста мицелия во всех вариантах до конца эксперимента не имела достоверных отличий от контроля.

К меди *F. equiseti* проявил большую устойчивость. При концентрациях 50 и 100 мг/л диаметр колоний гриба в начале эксперимента превышал значения контроля. Далее от контроля отличался лишь вариант, выращенный на среде с медью в концентрации 150 мг/л, имея меньший размер колонии.

Скорость роста колоний *F. equiseti* при выращивании на среде с солями меди в начале эксперимента была достоверно выше контроля при концентрации 100 мг/л. К концу эксперимента скорость роста колоний гриба снизилась и при концентрациях меди 50 и 100 мг/л была достоверно меньше, чем у контроля.

На *C. magnusianum* содержание хрома в среде не оказало ингибирующего воздействия. Диаметр колоний гриба при всех концентрациях металла в среде достоверно от контроля не отличался. Не отличалась от контроля и скорость роста колоний гриба во всех вариантах опыта.

Медь же оказала ингибирующее воздействие на рост *C. magnusianum*. С увеличением концентрации металла в среде наблюдалось уменьшение диаметра колоний.

Скорость роста колоний при концентрации меди в среде 100 и 150 мг/л в начале эксперимента была существенно ниже, чем в контроле. Далее скорость роста колоний во всех опытных вариантах достигла своих максимальных значений и достоверно от контроля не отличалась.

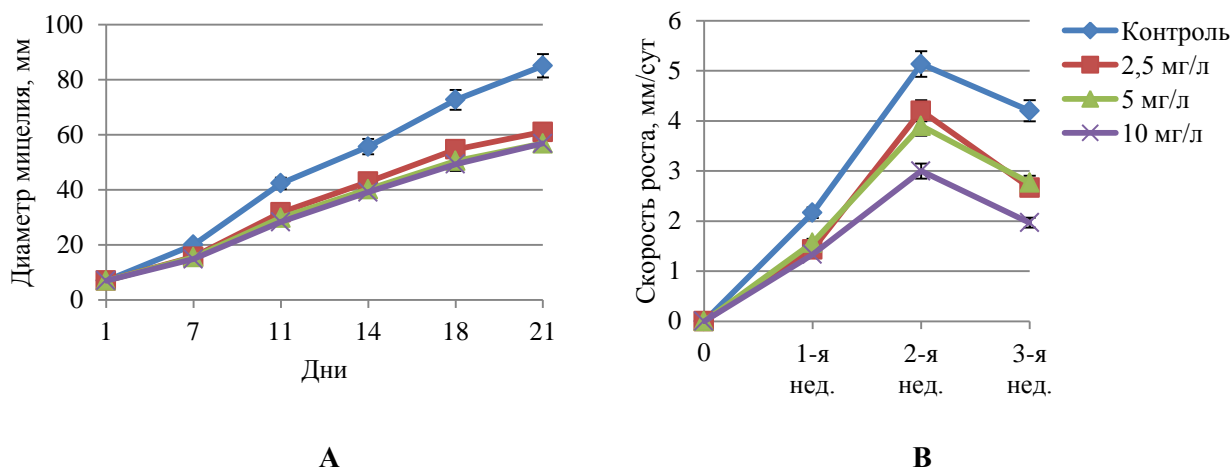


Рисунок 1. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Fusarium equiseti* на субстратах с разной концентрацией хрома

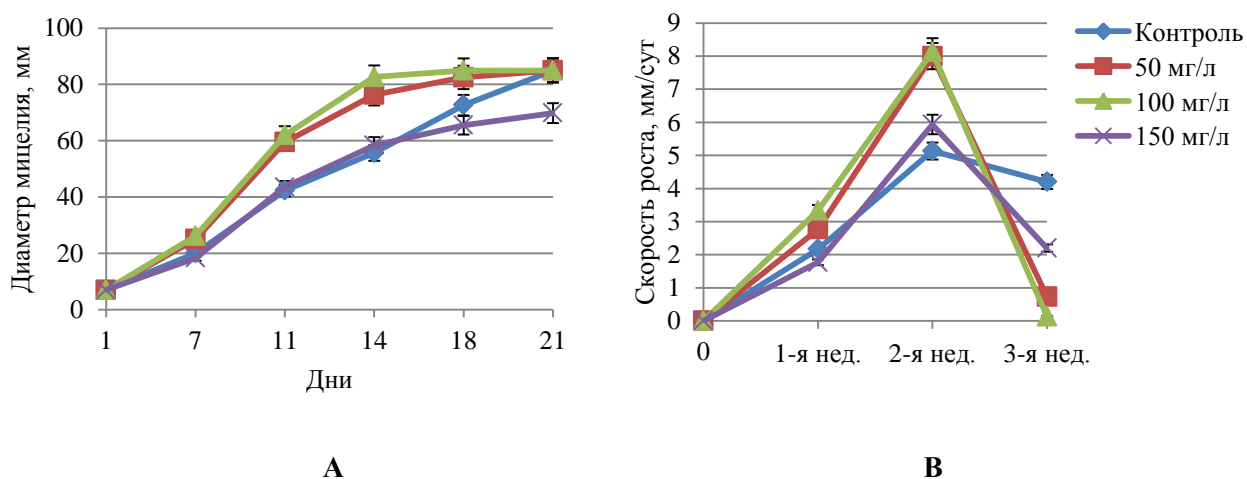


Рисунок 2. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Fusarium equiseti* на субстратах с разной концентрацией меди

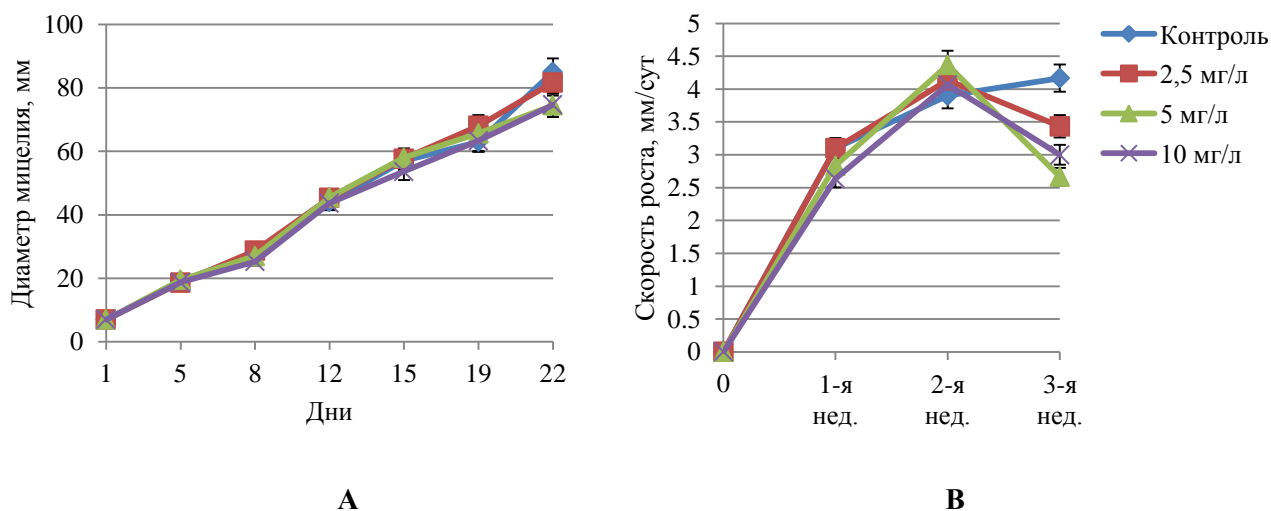


Рисунок 3. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Cy lindrocarpon magnusianum* на субстратах с разной концентрацией хрома

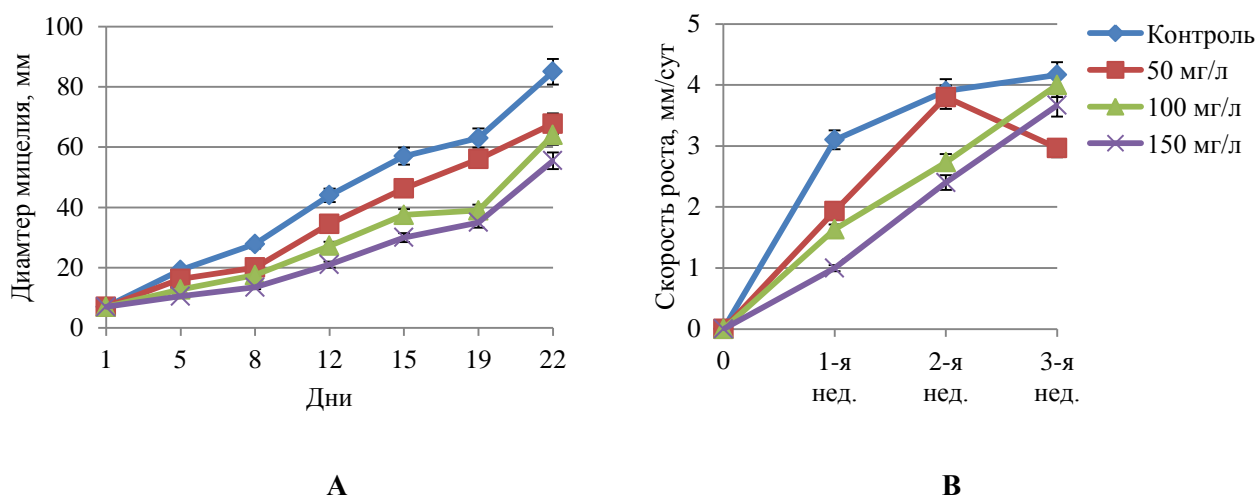


Рисунок 4. Динамика размеров (А) и скорость роста (В) колоний *Cyindrocarpon magnusianum* на субстратах с разной концентрацией меди

Результаты определения содержания МДА в мицелии грибов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание малонового диальдегида в изолятах *F. equiseti* и *C. magnusianum*, мкмоль/1 г сырой массы

Содержание соли ТМ в среде	Содержание МДА в <i>Cyindrocarpon magnusianum</i>	Содержание МДА в <i>Fusarium equiseti</i>
Без ТМ (контроль)	2,034 ± 0,047	1,290 ± 0,071*
Cr 2,5 мг/л	6,092 ± 0,585 ↑	1,743 ± 0,071 ↑**
Cr 5мг/л	7,276 ± 1,115 ↑	1,760 ± 0,070 ↑
Cr 10мг/л	3,881 ± 0,054 ↑	1,142 ± 0,014
Cu 50мг/л	2,031 ± 0,021	2,227 ± 0,230
Cu 100мг/л	3,571 ± 0,431 ↑	6,368 ± 0,775 ↑
Cu 150мг/л	4,117 ± 0,291 ↑	8,076 ± 0,311 ↑

* Среднее значение показателя ± стандартное отклонение. ** Достоверное отличие от контроля: увеличение ↑ или уменьшение ↓ показателя (p < 0,05).

В эксперименте с хромом содержание МДА практически во всех опытных образцах *F. equiseti* и *C. magnusianum* превышало значения контроля. Лишь при самой высокой концентрации (10 мг/л) содержание МДА в мицелии *F. equiseti* не имело отличий от контроля. При этом скорость роста колонии *F. equiseti* при данной концентрации в течение всего эксперимента была наименьшей по сравнению с другими опытными образцами, хотя достоверной разницы с контролем не было. Остальные же варианты, несмотря на некоторое ингибирование роста, увеличивали свои размеры в диаметре. В мицелии *C. magnusianum* при самой высокой концентрации хрома содержание МДА было достоверно ниже, чем в других вариантах, но оставалось более высоким, чем в контроле.

Отсюда можно заключить, что содержание хрома в субстрате вызвало стрессовую реакцию у *F. equiseti*, однако организм, преодолев адаптационный период, возобновил ростовые процессы.

При самой низкой концентрации меди в субстрате (50 мг/л) содержание МДА в мицелиях *F. equiseti* и *C. magnusianum* не имело достоверных отличий от контроля. Данная концентрация не вызвала ингибирующего воздействия на рост культур. Далее по мере увеличения концентрации меди в субстрате содержание МДА в мицелии грибов постепенно увеличилось и достигло максимальных значений при концентрации 150 мг/л. Поскольку рост мицелия грибов при данной концентрации меди в субстрате продолжался, можно заключить, что синтез МДА сыграл роль в системе адаптивных реакций гриба.

Таким образом, результаты эксперимента показали, что *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum* обладают высокой металлрезистентностью к хрому и меди. При этом *C. magnusianum* проявил большую устойчивость к хрому, *F. equiseti* – к меди. Проведенный анализ на содержание МДА в мицелии грибов позволяет предположить, что синтез МДА и увеличение его концентрации в мицелии является реакцией на увеличение концентрации ионов ТМ в субстрате. Данные результаты также показывают возможность использования эндофитов *F. equiseti* и *C. magnusianum* в технологиях биоремедиации почв, загрязненных солями ТМ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Аспиранты» № 19-316-90003.

Литература

Бухарина И.Л. Исследование пределов устойчивости *Rhodotorula mucilaginosa* к действию солей цинка и хрома / И.Л. Бухарина, Д.А. Вахрушева, Р.Г. Латыпова // Современные проблемы развития техники, экономики и общества: материалы Международной научно-практической заочной конференции, г. Казань, Научно-образовательный центр «ЗНАНИЕ», 2016. – С. 35-37.

Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение. - № 7. – 2013. – С. 872-881.

Жильцова Ю.В., Зависимость антиоксидантно-прооксидантного равновесия в макрофитах от уровня антропогенной нагрузки / Ю.В. Жильцова // Труды БГУ 2011, том 6, часть 2. – С. 47-54.

Трифонова Т.А., Забелина О.Н. Изменение биологической активности почвы городских рекреационных территорий в условиях загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами // Почвоведение. - № 4. – 2017. – С. 497-505.

Akinkunmi W.A. Factors affecting toxic lead (II) ion bioremediation by *Fusarium equiseti* isolated from the mangrove soil environment of southeast Borneo / W.A. Akinkunmi, A.A.S.A. Husaini, A. Zulkharnain, T.M. Guan, H.A. Roslan // MALAYSIAN JOURNAL OF MICROBIOLOGY. – Vol. 11, Issue: 2. – 2015. – P. 215-222.

Bilal S., Shahzad R., Imran M., Jan R., K. Min Kim, Lee In-J. Synergistic association of endophytic fungi enhances *Glycine max* L. resilience to combined abiotic stresses: Heavy metals, high temperature and drought stress // Industrial Crops & Products. – Vol. 143. – 2020.

Bukharina I., Franken P., Kamasheva A., Vedernikov K. and Islamova N. About the species composition of microscopic fungi in soils and woody plant roots in urban environment // International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR). – Vol. 7, Issue 4. – 2016. – P. 1386-1394.

Hou L., Yu J., Zhao L. and He X. Dark Septate Endophytes Improve the Growth and the Tolerance of *Medicago sativa* and *Ammopiptanthus mongolicus* Under Cadmium Stress // Frontiers in Microbiology. – Vol. 10. – 2020. – P. 1-17.

Ikram M. IAA producing fungal endophyte *Penicillium roqueforti* Thom., enhances stress tolerance and nutrients uptake in wheat plants grown on heavy metal contaminated soils



/ M. Ikram, N. Ali, G. Jan, F.G. Jan, et al. // PLoS ONE. – Vol. 13(11). – 2018. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208150>

Li H.Y., Wei D.Q., Shen M., Zhou Z.P. Endophytes and their role in phytoremediation // Fungal Divers. – Vol. 54. – 2012. – P. 11-18.

Sharma V.K., Li X., Wu G., Bai W., Parmar S., White Jr J.F., Li H. Endophytic community of Pb-Zn hyperaccumulator *Arabis alpina* and its role in host plants metal tolerance // Plant Soil. – Vol. 437. – 2019. – P. 397–411.

Sogonov, M.V., Velikanov, L.L. Soil microfungi from alpine and subnival ecosystems of the Northwestern Caucasus / Sogonov, M.V., Velikanov, L.L. // Mikologiya i Fitopatologiya. – Vol. 38, Issue 3. – 2004 – P. 50-58.

STUDY OF ENDURANCE *FUSARIUM EQUISETI* AND *CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM* TO THE ACTION OF CHROME AND COPPER

N.A. Islamova, I.L. Bukharina

FSBEI HE "Udmurt State University", Izhevsk, Russia, islamovanadezhda@mail.ru,
buharin@udmlink.ru

Abstract. One of the urgent problems of the present time is the restoration of disturbed lands, including those contaminated with heavy metals as a result of human economic activity. Hence, the development of biotechnologies capable of most economically and ecologically safe restoration of disturbed lands is an important task. In this regard, the use of microorganisms useful for plants (especially endophytes), adapted to stressful conditions and capable of increasing plant resistance, is a very promising direction.

Key words: metal resistance, endophytes, micromycetes, resistance, inoculation