

**Естественные  
и  
технические  
науки<sup>®</sup>**

**№ 10 (136) 2019 г.**

**ISSN 1684-2626**

## **Редакционная коллегия журнала:**

- А.Я. Хавкин***      **главный редактор**, доктор технических наук, профессор кафедры нефтегазовой и подземной гидромеханики Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) им. И.М. Губкина, сопредседатель бюро секции «Нанотехнологии для нефтегазового комплекса» Нанотехнологического общества России, Почетный нефтяник РФ, лауреат премии Миннефтепрома СССР, лауреат премии им. академика И.М. Губкина, лауреат премии им. Н.К. Байбакова, кавалер медали ЮНЕСКО «За вклад в развитие нанонауки и нанотехнологий»
- Т.П. Аницупова***      доктор биологических наук, профессор кафедры неорганической и аналитической химии Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Почетный работник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления
- А.И. Белолобцев***      доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева
- С.С. Валеев***      доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики Уфимского государственного авиационного технического университета
- И.А. Гарагаиш***      доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией геомеханики Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, член Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике
- О.А. Графский***      доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и компьютерной графики Дальневосточного государственного университета путей сообщения
- А.В. Дерюгина***      доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии и анатомии, заместитель директора по научной работе Института биологии и биомедицины, ведущий научный сотрудник лаборатории по разработке методов нейропротекции Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
- В.А. Завьялов***      доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и электроснабжения Национального исследовательского Московского государственного строительного университета
- С.Н. Золотухин***      доктор биологических наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии, эпизоотологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, декан факультета ветеринарной медицины и биотехнологии Ульяновского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Заслуженный деятель науки и техники Ульяновской области
- И.И. Иванов***      доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории общей биофизики кафедры биофизики биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, лауреат Государственной премии СССР (1983)

- Е.А. Калашикова** доктор биологических наук, профессор кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства Российского государственного аграрного университета-МСХА им. К.А. Тимирязева
- Ю.Г. Калинин** доктор технических наук, профессор кафедры кузовостроения и обработки давлением Московского государственного технического университета «МАМИ»
- В.Ф. Касьянов** доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технической эксплуатации зданий Московского государственного строительного университета, Заслуженный работник высшей школы РФ, Почетный работник профессионального высшего образования РФ, Почетный строитель России и г. Москвы, Почетный работник ЖКХ России
- Л.Г. Константинова** доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией экологии микроорганизмов Института биоэкологии Каракалпакского отделения АН Республики Узбекистан
- Т.А. Краснова** доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой аналитической химии и экологии Кемеровского технологического института пищевой промышленности, Почетный работник Высшей школы, Заслуженный эколог РФ
- Т.В. Мальцева** доктор физико-математических наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе Тюменского государственного архитектурно-строительного университета
- Л.Г. Моисейкина** доктор биологических наук, профессор Калмыцкого государственного университета им. Б.Б. Городовикова, Почетный работник высшего образования РФ
- В.А. Неганов** доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой основ конструирования и технологий РТС Поволжской государственной академии телекоммуникаций и информатики, Почетный радист, лауреат Губернской Премии в области науки и техники
- А.Н. Николаев** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования пищевых производств Казанского государственного технологического университета, профессор кафедры теоретических основ теплотехники Казанского государственного технического университета
- Ю.Р. Осипов** доктор технических наук, профессор кафедры теории и проектирования машин и механизмов Вологодского государственного технического университета, Почетный работник высшего образования РФ
- Н.И. Подгорнов** доктор технических наук, профессор кафедры организации и реновации производства Московского государственного строительного университета
- Н.Д. Поляхов** доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ»
- О.А. Решетник** доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии пищевых производств Казанского государственного технологического университета, член Общества биотехнологов России им. Ю.А. Овчинникова, член Российского отделения Общества микробиологов, Заслуженный деятель науки и техники Республики Татарстан

- О.И. Ручкина** доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения Пермского национального исследовательского политехнического университета
- Ф.Н. Сарпулов** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и электротехнологических систем Уральского государственного технического университета
- Н.С. Снегирева** доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института прикладной механики РАН, изобретатель СССР
- В.В. Солдатов** доктор технических наук, профессор кафедры систем управления Московского государственного университета технологий и управления
- В.В. Стогний** доктор геолого-минералогических наук, профессор Кубанского государственного университета
- Д.И. Стом** доктор биологических наук, профессор кафедры гидробиологии и зоологии беспозвоночных Иркутского государственного университета, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института биологии при Иркутском государственном университете, Изобретатель СССР, Заслуженный работник высшей школы РФ
- А.В. Хортов** доктор геолого-минералогических наук, профессор, научный сотрудник Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова
- А.А. Хусаинов** доктор физико-математических наук, профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, Почетный работник высшего профессионального образования РФ
- Т.А. Цехмистренко** доктор биологических наук, профессор кафедры анатомии человека медицинского факультета Российского университета дружбы народов, Почетный работник высшего профессионального образования РФ
- В.Я. Шапиро** доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры высшей математики Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии
- В.Н. Шапран** доктор технических наук, профессор кафедры двигателей Рязанского военного автомобильного института
- А.Н. Шелаев** доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, лауреат премии им. академика Р.В. Хохлова

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

**Физико-математические науки**

**Физика**

**Электродинамика, электрофизические установки**

**Бордонский Г.С., Гурулев А.А. (Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук)**

*Резонаторные измерения действительной части относительной диэлектрической проницаемости переохлажденной воды вблизи 9 ГГц..... 16*

**Гурулев А.А. (Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук), Венславский В.Б. (Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук; Забайкальский государственный университет), Крылов С.Д. (Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук), Бордонская Л.А. (Забайкальский государственный университет)**

*Изменение отражающей способности соленого льда при микроволновых измерениях..... 20*

**Математические и инструментальные методы экономики**

**Толстобок О.Н. (Институт развития дополнительного профессионального образования)**

*Государственные (муниципальные) и корпоративные закупки в рамках действующего законодательства..... 24*

**Химия**

**Органическая химия**

**Куликов М.А. (Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета)**

*Особенности строения азометиновых производных замещенных бензальацетона..... 30*

**Биологические науки**

**Физико-химическая биология**

**Биохимия**

**Ибатуллина З.А., Шендель Г.В. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук), Михайленко О.И. (Уфимский государственный нефтяной технический университет), Абдрахимова Г.С. (Уфимский Институт химии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук)**

*Особенности влияния препарата Бациспецин на содержание лаптаконитина в свежесобранных корнях *Aconitum septentrionale* в горно-лесной зоне Южного Урала..... 35*

**Физиология и биохимия растений**

**Белоус О.Г., Платонова Н.Б. (Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур)**

*Механизмы устойчивости растений чая к стрессорам зимнего периода..... 41*

Якименко М.В., Бегун С.А., Сорокина А.И. (Всероссийский научно-исследовательский институт сои)

*Биологическая оценка ризобияльных препаратов, используемых при возделывании сои в Амурской области* ..... 45

## Биотехнология

Тарасов С.С., Михалёв Е.В. (Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия), Веселов А.П. (Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия; Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского), Корягин А.С. (Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского), Крутова Е.К. (Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия)

*Технологии получения кормов и удобрений на основе отработанного соломенного субстрата вешенки* ..... 52

## Общая биология

### Ботаника

Голованов Я.М., Мустафина А.Н., Крюкова А.В., Абрамова Л.М. (Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук)

*Фитоценоотическая приуроченность редких степных видов рода Iris L. (I. pumila L. и I. scariosa Willd. ex Link) на Южном Урале* ..... 56

Мустафина А.Н., Крюкова А.В., Голованов Я.М., Абрамова Л.М. (Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук)

*Фенотипическое разнообразие Iris pumila L. и Iris scariosa Willd. ex Link на Южном Урале* ..... 61

Реут А.А., Шигапов З.Х. (Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук)

*Отзывчивость горечавок на применение регуляторов роста и развития растений в Республике Башкортостан* ..... 65

Тютюнова Н.М., Маслова Н.В. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук)

*Плодообразование у эндемичного вида Oxytropis hippolyti (Fabaceae) в условиях интродукции* ..... 72

Хусаинов А.Ф. (Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы), Гареева С.А. (Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук), Ипаева М.В. (Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы), Абрамова Л.М. (Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук)

*Инвазионные виды растений во флоре села Салихово и его окрестностей (Чишминский район Республики Башкортостан)* ..... 77

### Вирусология

Косовский Г.Ю., Семикрасова А.Н., Петрова И.В., Попов Д.В., Гришина Л.Е., Жилина К.В. (Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева)

*Вирусная геморрагическая болезнь кроликов 2 типа* ..... 83

Семикрасова А.Н., Петрова И.В., Жилина К.В., Гришина Л.Е., Косовский Г.Ю. (Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева)

*Парвовирусный энтерит соболей* ..... 85

## Микробиология

Самойлова З.Ю., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н. (Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук)

*Влияние мутации *oxyR* на развитие толерантности к антибиотикам в биопленках *Escherichia coli*.... 87*

Сидоров Р.Ю., Ахова А.В., Кашеварова Н.М. (Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук), Ткаченко А.Г. (Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук; Пермский государственный национальный исследовательский университет)

*Молекулярный механизм действия нового антибиотика, подавляющего формирование персисторных клеток микобактерий..... 90*

Утепешева А.А., Сопрунова О.Б. (Астраханский государственный технический университет)

*Влияние условий хранения на выживаемость коллекционных бактериальных штаммов..... 95*

Хаова Е.А. (Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук), Ткаченко А.Г. (Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук; Пермский государственный национальный исследовательский университет)

*Исследование экспрессии полиамин-зависимых генов, потенциальных факторов бактериальной персистенции, методом ПЦР в реальном времени..... 99*

## Экология

Бухарина И.Л., Исламова Н.А., Жавад А.Ф., Абдуллах М.Р., Лебедева М.А., Шашов Л.О. (Удмуртский государственный университет)

*Особенности формирования металлрезистентности при инокуляции томата микромицетом *Cylindrocarpum magnusianum*..... 105*

Гальперина А.Р. (Астраханский государственный технический университет)

*Биодеградационный потенциал нового штамма цианобактерий..... 113*

Елизарьева Е.Н. (Башкирский государственный университет; Уфимский государственный авиационный технический университет), Янбаев Ю.А. (Башкирский государственный аграрный университет), Кудашкина Н.В. (Башкирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации), Редькина Н.Н. (Башкирский государственный университет), Уфимцева М.Г. (Государственный аграрный университет Северного Зауралья), Хамидуллин И.Ф. (Уфимский государственный авиационный технический университет)

*Идентификация межсортовых различий рапса по способности к фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами..... 118*

Пархоменко А.Н. (Астраханский государственный технический университет)

*Оптимизация питательной среды для культивирования микроорганизмов-нефтедеструкторов.. 123*

Симонова О.А. (Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; Вятский государственный университет), Лисицын Е.М. (Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; Вятская государственная сельскохозяйственная академия), Товстик Е.В. (Вятский государственный университет)

*Сравнительное содержание марганца в верхних горизонтах почв Кировской области..... 127*

## Почвоведение

- Сулейманов Р.Р. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук), Япаров И.М., Вильданов И.Р., Сайфуллин И.Ю. (Башкирский государственный университет), Гималетдинова Г.А. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук) *Оценка состояния чернозема выщелоченного южной лесостепной зоны Республики Башкортостан в условиях различных агроэкосистем* ..... 132

## Биологические ресурсы

- Бикташев Т.У., Баишева Э.З., Федоров Н.И. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук) *Об основе для сеточного картирования флоры, растительности и биоресурсов Республики Башкортостан* ..... 139
- Жигунова С.Н. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук), Михайленко О.И. (Уфимский государственный нефтяной технический университет), Широких П.С., Федоров Н.И. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук) *Продуктивность лекарственных видов растений в широколиственных лесах Южного Урала* ..... 144
- Кутуева А.Г., Мулдашев А.А., Галеева А.Х., Федоров Н.И. (Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук) *О потенциальном ареале и распространении вида – реликта плейстоценового комплекса *Allium obliquum* Ledeb.* ..... 149
- Хашкулова М.А., Дзуев Р.И., Барагунова Е.А., Сабанова Р.И. (Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова) *Внутрипопуляционная изменчивость морфофизиологических показателей рыжей вечерницы (*Nyctalus noctula* Schreber, 1774) в условиях лесостепного пояса северного макросклона Центрального Кавказа* ..... 155

## **Физиология**

### Физиология

- Ананьев В.Н. (Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук) Прокопьев Н.Я. (Тюменский государственный университет), Семизоров Е.А. (Государственный аграрный университет Северного Зауралья), Ананьев Г.В. (Московский педагогический государственный университет), Ананьева О.В. (Тюменский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации), Гуртовой Е.С. (Тюменский государственный университет) *Влияние кофеина на механизмы рабочей мышечной гиперемии при определении физической работоспособности по тесту PWC-170 у студентов Сибири* ..... 161

## **Сельскохозяйственные науки**

### **Агрономия**

#### Плодоводство, виноградарство

- Козлова Е.А. (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева) *Влияние регуляторов роста на укоренение, рост и развитие корневой системы некоторых образцов пеларгонии (*Pelargonium* L.)* ..... 167



**Лесное хозяйство**

**Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация**

Андреева Е.М., Терехов Г.Г., Стеценко С.К. (Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук), Соловьев В.М., Фомин В.В. (Уральский государственный лесотехнический университет)

*Лесоводственная и санитарная оценка культур кедра сибирского первого класса возраста в Свердловской области..... 172*

Путенихин В.П., Шарипова М.Ю., Дубовик И.Е., Хазиахметов Р.М. (Башкирский государственный университет)

*Лесоводственные особенности некоторых североамериканских сосен при интродукции в Башкирском Предуралье ..... 177*

Теринов Н.Н., Герц Э.Ф. (Уральский государственный лесотехнический университет)

*Изменение микроклиматических и гидрологических условий после рубок..... 181*

**Науки о Земле**

**Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения**

Кунгурова В.Е., Степанов В.А. (Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук)

*Медно-никелевые проявления Нижнемедвежье и Снежное Камчатской никеленосной провинции... 188*

**Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений**

Фахретдинов Р.Н. (ООО Многопрофильная компания «ХимСервисИнжиниринг», г. Москва), Хавкин А.Я. (Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина; ООО Многопрофильная компания «ХимСервисИнжиниринг», г. Москва), Иманбаев Б.А. (Филиал ТОО «КМГ Инжиниринг» «КазНИПИМунайгаз», г. Актау, Казахстан)

*Возможности современных гелеобразующих реагентов для повышения нефтедобычи на месторождении Каламкас..... 197*

Фахретдинов Р.Н. (ООО Многопрофильная компания «ХимСервисИнжиниринг», г. Москва), Хавкин А.Я. (Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина; ООО Многопрофильная компания «ХимСервисИнжиниринг», г. Москва), Якименко Г.Х. (ООО Многопрофильная компания «ХимСервисИнжиниринг», г. Москва)

*Применение современных глиностабилизаторов для повышения нефтедобычи из баженовской свиты ..... 202*

**Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика**

Галкин А.Ф., Курта И.В. (Ухтинский государственный технический университет)

*Обеспечение устойчивости горных выработок в руднике криолитозоны..... 215*

**Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов**

Седаева К.М. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова), Константинов Е.А. (Институт географии Российской академии наук), Чэнь Сюньфэн (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова), Курбанов Р.Н. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт географии Российской академии наук)

*О соотношении «гранулометрической» и «минералогической» глинистости в лессовых отложениях Приазовья..... 217*

**Геоэкология**

**Аканов А.В., Макеева Т.Г. (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)**

*Экологические аспекты строительных и технологических решений бункерного отделения на объектах переработки ТКО* ..... 229

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Машиностроение и машиноведение**

**Технология машиностроения**

**Лутьянов А.В., Преображенская Е.В., Кудрявцев И.В. (МИРЭА – Российский технологический университет)**

*Корреляция технологических параметров при растачивании отверстий шпиндельной оси в приспособлениях с аэростатическими опорами* ..... 234

**Титова И.В., Коноплин А.Н. (Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I)**

*Экспериментальные исследования при протягивании отверстий в железобетонных подшивных втулках* ..... 237

**Авиационная и ракетно-космическая техника**

**Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов**

**Митрофанов О.В. (Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет))**

*Оценка собственных нелинейных колебаний прямоугольных анизотропных панелей с учетом начальной погиби* ..... 239

*Проектирование цилиндрических панелей малой кривизны из композитных материалов при действии сдвиговых потоков по закритическому состоянию* ..... 243

**Приборостроение,  
метрология и информационно-измерительные  
приборы и системы**

**Приборы и методы измерения**

**Зайцева А.Ю., Кисляков Ю.Я., Кислякова Л.П. (Институт аналитического приборостроения Российской академии наук), Авдюшенко С.А. (Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации)**

*Мобильный анализатор индивидуального контроля функционального состояния организма по комплексу параметров дыхания* ..... 247

**Информатика,**  
**вычислительная техника и управление**

**Системный анализ, управление и обработка информации**

**Комкова С.В.** (Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых)

*Методика маркировки кровеносных сосудов на изображениях сетчатки глаза человека ..... 250*

**Филимонюк Л.Ю.** (Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук)

*Метод выбора событий в процессе функционирования сложных систем для управления с соблюдением требований безопасности ..... 253*

**Управление в социальных и экономических системах**

**Лукашенко Д.В.** (Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний)

*Компетентностная траектория – реализация компетентностного подхода в образовательных организациях силовых ведомств ..... 256*

*Особенности реализации организационных форм обучения в образовательных организациях силовых ведомств ..... 258*

**Математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей**

**Мальшаков Г.В.** (Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет))

*Язык матриц ..... 260*

*Метод оценки интероперабельности прикладного программного обеспечения на основе объектно-ориентированных полихроматических множеств состава и свойств их данных ..... 262*

*Результаты исследования ошибок ложного обнаружения сущности при идентификации на основе частотного анализа данных ..... 264*

*Результаты исследования ошибок пропуска обнаружения сущности при идентификации на основе частотного анализа данных ..... 266*

*Результаты исследования влияния степени вхождения лексем алфавита в данные сущности предметной области на её идентификацию по частотным характеристикам ..... 268*

*Влияние исключения лексем алфавита при благоприятной и неблагоприятной стратегиях на идентификацию сущностей на основе частотного анализа данных ..... 270*

**Математическое моделирование, численные методы  
и комплексы программ**

**Графский О.А., Данилова Е.В., Ельцова В.Ю., Пономарчук Ю.В.** (Дальневосточный государственный университет путей сообщения)

*Обоснование определения однородной координаты при моделировании окружности как кривой NURBS ..... 272*

**Процессы и машины агроинженерных систем**

**Технологии и средства технического обслуживания  
в сельском хозяйстве**

**Тойгамбаев С.К.** (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

*Производственно-техническая база ТО и ремонта сельскохозяйственной техники для Костанайской области ..... 277*

**Строительство и архитектура**

**Строительные конструкции, здания и сооружения**

Малахова А.Н. (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет), Морозова Д.В. (Московский политехнический университет)

*Реконструкция зального помещения в многоэтажном железобетонном здании с унифицированным каркасом ..... 284*

**Безопасность деятельности человека**

**Охрана труда**

Легкий Н.М. (МИРЭА – Российский технологический университет)

*Повышение эффективности мероприятий по обеспечению требований безопасности труда ..... 290*

**Пожарная и промышленная безопасность**

Курбангалеева М.Х., Ризванова Э.Р., Кудашева И.А. (филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке)

*Совершенствование безопасности узла охлаждения изопентан-изопреновой шихты производства изопренового каучука ..... 293*

ЭКОЛОГИЯ

*Бухарина И.Л., доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой  
Исламова Н.А., аспирант  
Жавад А.Ф., аспирант  
Абдуллах М.Р., аспирант  
Лебедева М.А., старший преподаватель  
Шашов Л.О., ассистент  
(Удмуртский государственный университет)*

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛРЕЗИСТЕНТНОСТИ  
ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ ТОМАТА МИКРОМИЦЕТОМ  
*CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM***

*В статье приведены результаты экспериментов по исследованию влияния инокуляции эндотрофным микромицетом *Cylindrocarpon magnusianum* на физиолого-биохимические показатели тестовых растений томата. Схема эксперимента включала инокуляцию культурой гриба (контрольная популяция) и популяциями этого гриба, предварительно выращенными на агаризированных средах с внесением разных концентраций тяжелых металлов. Инокулированные растения выращивались на контрольном субстрате (без внесения тяжелых металлов) и на субстратах с внесением разных концентраций тяжелых металлов (цинка, меди, свинца и хрома). Минимальные различия с контролем по физиологическим и морфологическим показателям растений наблюдались лишь при инокуляции растений популяциями *Cylindrocarpon magnusianum*, адаптированными к разным концентрациям солей тяжелых металлов, и при выращивании инокулированных растений в условиях высокого содержания солей тяжелых металлов в субстрате.*

**Ключевые слова:** *Cylindrocarpon magnusianum*, микроскопические грибы, тяжелые металлы, инокуляция, хлорофиллы, каротиноиды, биохимические показатели.

***Bukharina I.L.  
Islamova N.A.  
Zhavad A.F.  
Abdullah M.R.  
Lebedeva M.A.  
Shashov L.O.***

**FEATURES OF THE FORMATION OF METAL RESISTANCE DURING  
INOCULATION OF TOMATO WITH MICROMYCETE  
*CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM***

*The results of experiments on the effect of inoculation with the endotrophic fungus *Cylindrocarpon magnusianum* on the physiological and biochemical parameters of tomato are presented in the article. The scheme of the experiment included inoculation with the fungal culture (control) and the populations of this fungus, previously grown on agar media with the different concentrations of heavy metals. Inoculated plants were grown on a control substrate (without heavy metals) and on substrates with various concentrations of heavy metals (zinc, copper, lead and chromium). Minimal differences with the control of physiological and morphological parameters of plants were observed only when the plants were inoculated with *Cylindrocarpon magnusianum* populations adapted to different concentrations of heavy*

metal salts and when inoculated plants were grown under conditions of high content of heavy metal salts in the substrate.

**Keywords:** *Cylindrocarpon magnusianum*, fungi, heavy metals, inoculation, chlorophylls, carotenoids, biochemical indices.

В настоящее время в научном сообществе повысился интерес к изучению роли консортивных связей растений с микромицетами. Определенные успехи достигнуты в изучении роли эндомикоризы и ее самой распространенной формы – арбускулярной микоризы (АМ), которая характерна для большинства современных филогенетических групп растений, представлена во всех биомах земного шара. Она формируется облигатно-биотрофными грибами, принадлежащими подотделу Glomeromycotina отдела Mucoromycota [1, 2].

Но использование АМГ в растениеводстве ограничено, что является следствием их облигатной симбиотрофии. Все существующие на данный момент способы получения инокулюма АМГ основаны на использовании системы «растение-гриб», т.е. бинарной культуры [3, 4]. Существует и определенная проблема идентификации АМГ до уровня вида с использованием молекулярных маркеров, хотя были приложены значительные усилия в этом направлении [1, 5, 6].

Пристальное внимание к группе грибов эндофитов связано с поиском природных биорегуляторов и биоконтроллеров устойчивости растений, в том числе к внешним и внутренним патогенам (например, вирусным инфекциям) [7, 8].

Ряд научных работ последних лет сосредоточен на изучении совместного влияния АМГ и ассоциированных с ними эндофитами на физиологию и формирование механизмов устойчивости растений в экстремальных условиях среды [7, 9].

В этой связи одним из перспективных является эндофит *Cylindrocarpon magnusianum*. Установлено, что метаболиты *Cylindrocarpon magnusianum*, полученные в жидкой среде, могут быть использованы в борьбе с нематодами. Этот гриб способен расти в условиях высокого содержания нефтепродуктов в почве, что может быть востребовано в восстановлении нефтезагрязненных земель [10]. В серии авторских экспериментов, проведенных с *Cylindrocarpon magnusianum*, установлено, что культуры этого гриба способны выдерживать действие высокого осмотического давления, сохраняя рост культурального мицелия. А опыты с инокулированными данным грибом растениями показали возможность использования данного микромицета в качестве агента повышения солеустойчивости растений [11].

Отсюда целью нашего исследования являлось изучить влияние инокуляции томата культурой *Cylindrocarpon magnusianum* на устойчивость растений к действию солей тяжелых металлов в субстрате.

Культура *Cylindrocarpon magnusianum* выделена из корневой системы древесных растений (хорошего жизненного состояния), произрастающих в условиях городских почв с высоким содержанием солей тяжелых металлов.

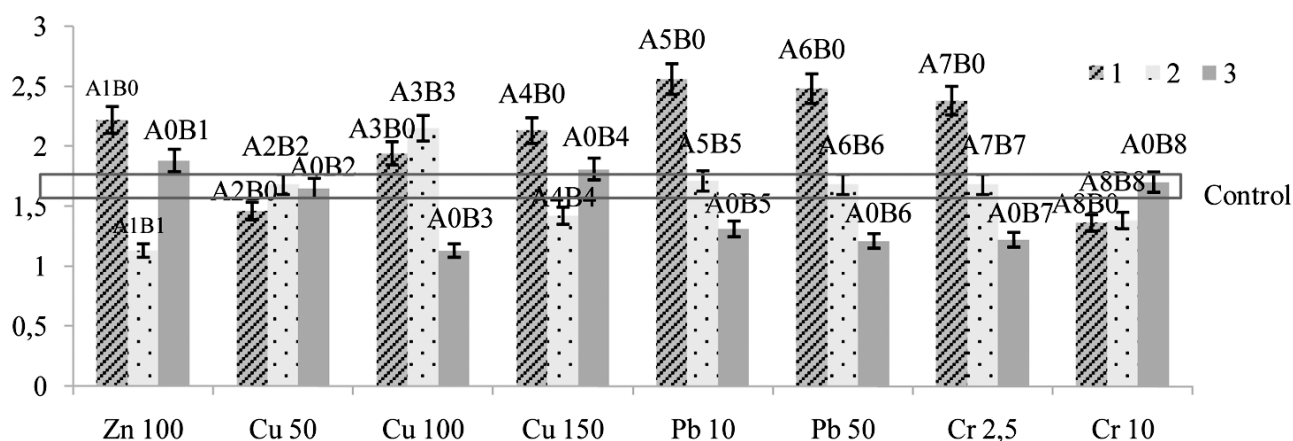
Согласно схеме эксперимента подготовлены изоляты (популяции) гриба на субстратах с внесением разных концентраций солей тяжелых металлов ( $A_0$  – контрольный;  $A_1$  – на субстрате с  $Zn_{100}$  мг/л, далее  $A_2$  –  $Cu_{50}$ ,  $A_3$  –  $Cu_{100}$ ,  $A_4$  –  $Cu_{150}$ ,  $A_5$  –  $Pb_{50}$ ,  $A_6$  –  $Pb_{100}$ ,  $A_7$  –  $Cr_{2,5}$ ,  $A_8$  –  $Cr_{10}$  мг/л). Затем подготовлены суспензионные культуры этих популяций и проведена инокуляция растений томата. Опыт включал варианты: 1) инокулированные томаты (инокуляция контрольным изолятом  $A_0$ ) выращивались на субстратах с разным содержанием солей тяжелых металлов ( $B_0$  – контрольный – без ТМ;  $B_1$  – на субстрате с  $Zn_{100}$  мг/л, далее  $B_2$  –  $Cu_{50}$ ,  $B_3$  –  $Cu_{100}$ ,  $B_4$  –  $Cu_{150}$ ,  $B_5$  –  $Pb_{50}$ ,  $B_6$  –  $Pb_{100}$ ,  $B_7$  –  $Cr_{2,5}$ ,  $B_8$  –  $Cr_{10}$  мг/л); 2) томаты, инокулированные популяциями грибов, адаптированными к тяжелым металлам, выращивались на субстратах без внесения и с внесением солей ТМ. Повторность вариантов опыта четырехкратная. Субстрат представ-

для собой смесь торфа низкой зольности и песка 1:2. Растения выращивались в климатической камере при соблюдении оптимальных условий культуры томата.

Оценка устойчивости растений проведена на основе: анализа морфометрических показателей растений; содержания в листьях аскорбиновой кислоты и нитратов; сухого вещества в надземной части и корневой системе растений; фотосинтетических пигментов (хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды).

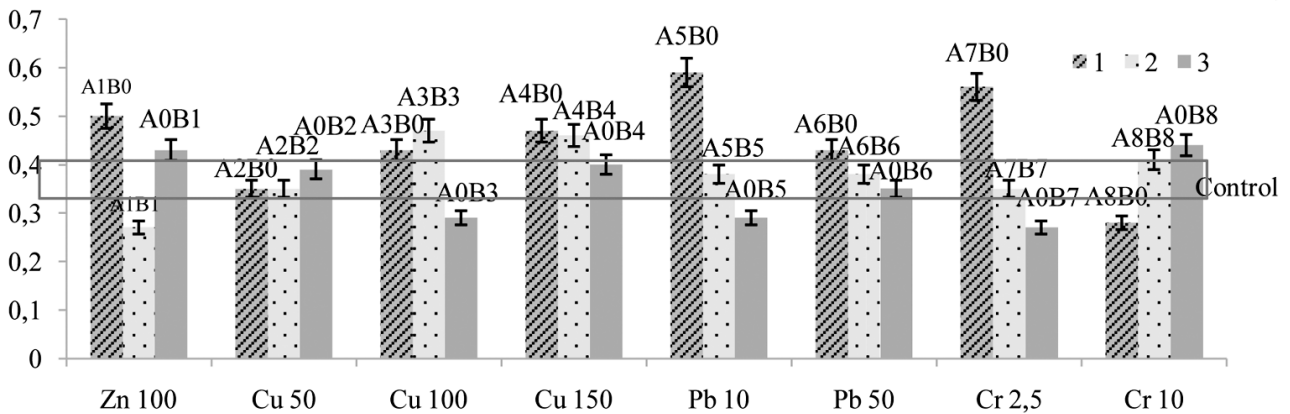
Анализ результатов включал: 1) оценку влияния контрольной популяции гриба ( $A_0$ ) на физиологические показатели инокулированных растений (выращивание на субстратах с различным содержанием тяжелых металлов (ТМ) ( $B_1 - B_8$ )); 2) оценку влияния популяций гриба *Cylindrocarpon magnusianum* (выращенных на субстратах с разным содержанием тяжелых металлов  $A_1 - A_8$ ) на физиологические показатели инокулированных растений (выращивание растений на контрольном субстрате ( $B_0$ )); 3) оценку совместного влияния популяции гриба ( $A_1 - A_8$ ) и содержания ТМ в субстратах ( $B_1 - B_8$ ) на физиологические показатели растений (рис. 1–3, табл. 1).

Что касается инокуляции растений контрольной популяцией гриба, то при выращивании растений на субстратах с внесением  $Cu_{100}$ ,  $Pb_{10}$  и  $Pb_{50}$ ,  $Cr_{2,5}$  мг/л наблюдалось существенное снижение содержания хлорофилла *a* в листьях. На содержание хлорофилла *b* и каротиноидов достоверно повлияли (снижение) концентрации  $Cu_{100}$ ,  $Pb_{10}$ ,  $Cr_{2,5}$  2,5 мг/л.



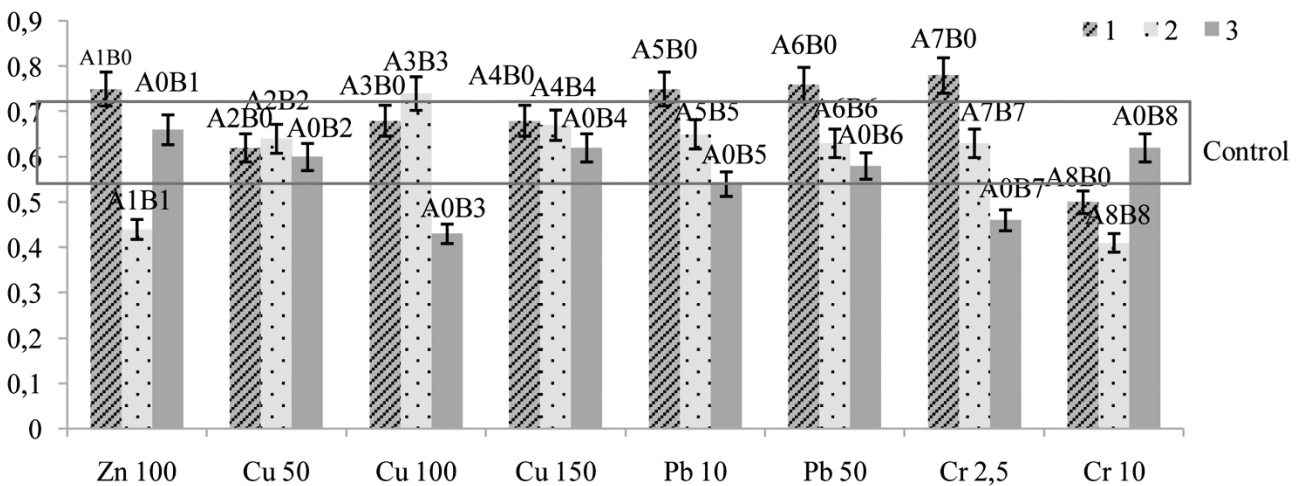
**Рис. 1.** Содержание хлорофилла *a* в листьях инокулированных растений томата в условиях разных концентраций тяжелых металлов в субстрате:

- 1 – популяция гриба ( $A_1 - Zn_{100}$ ;  $A_2 - Cu_{50}$ ;  $A_3 - Cu_{100}$ ;  $A_4 - Cu_{150}$ ;  $A_5 - Pb_{10}$ ;  $A_6 - Pb_{50}$ ;  $A_7 - Cr_{2,5}$ ;  $A_8 - Cr_{10}$ ) + субстрат без тяжелых металлов ( $B_0$ );
  - 2 – популяция гриба ( $A_1 - Zn_{100}$ ;  $A_2 - Cu_{50}$ ;  $A_3 - Cu_{100}$ ;  $A_4 - Cu_{150}$ ;  $A_5 - Pb_{10}$ ;  $A_6 - Pb_{50}$ ;  $A_7 - Cr_{2,5}$ ;  $A_8 - Cr_{10}$ ) + субстрат с внесением солей тяжелых металлов, мг/л ( $B_1 - Zn_{100}$ ;  $B_2 - Cu_{50}$ ;  $B_3 - Cu_{100}$ ;  $B_4 - Cu_{150}$ ;  $B_5 - Pb_{10}$ ;  $B_6 - Pb_{50}$ ;  $B_7 - Cr_{2,5}$ ;  $B_8 - Cr_{10}$ );
  - 3 – контрольная популяция ( $A_0$ ) + субстрат с внесением солей тяжелых металлов мг/л ( $B_1 - Zn_{100}$ ;  $B_2 - Cu_{50}$ ;  $B_3 - Cu_{100}$ ;  $B_4 - Cu_{150}$ ;  $B_5 - Pb_{10}$ ;  $B_6 - Pb_{50}$ ;  $B_7 - Cr_{2,5}$ ;  $B_8 - Cr_{10}$ );
- контроль –  $A_0B_0$  (контрольная популяция гриба на субстрате без внесения тяжелых металлов)



**Рис. 2.** Содержание хлорофилла *b* в листьях инокулированных растений томата в условиях разных концентраций тяжелых металлов в субстрате:

- 1 – популяция гриба ( $A_1 - Zn_{100}$ ;  $A_2 - Cu_{50}$ ;  $A_3 - Cu_{100}$ ;  $A_4 - Cu_{150}$ ;  $A_5 - Pb_{10}$ ;  $A_6 - Pb_{50}$ ;  $A_7 - Cr_{2,5}$ ;  $A_8 - Cr_{10}$ ) + субстрат без тяжелых металлов ( $B_0$ );  
 2 – популяция гриба ( $A_1 - Zn_{100}$ ;  $A_2 - Cu_{50}$ ;  $A_3 - Cu_{100}$ ;  $A_4 - Cu_{150}$ ;  $A_5 - Pb_{10}$ ;  $A_6 - Pb_{50}$ ;  $A_7 - Cr_{2,5}$ ;  $A_8 - Cr_{10}$ ) + субстрат с внесением солей тяжелых металлов, мг/л ( $B_1 - Zn_{100}$ ;  $B_2 - Cu_{50}$ ;  $B_3 - Cu_{100}$ ;  $B_4 - Cu_{150}$ ;  $B_5 - Pb_{10}$ ;  $B_6 - Pb_{50}$ ;  $B_7 - Cr_{2,5}$ ;  $B_8 - Cr_{10}$ );  
 3 – контрольная популяция ( $A_0$ ) + субстрат с внесением солей тяжелых металлов мг/л ( $B_1 - Zn_{100}$ ;  $B_2 - Cu_{50}$ ;  $B_3 - Cu_{100}$ ;  $B_4 - Cu_{150}$ ;  $B_5 - Pb_{10}$ ;  $B_6 - Pb_{50}$ ;  $B_7 - Cr_{2,5}$ ;  $B_8 - Cr_{10}$ );  
 контроль –  $A_0B_0$  (контрольная популяция гриба на субстрате без внесения тяжелых металлов)



**Рис. 3.** Содержание каротиноидов в листьях инокулированных растений томата в условиях разных концентраций тяжелых металлов в субстрате:

- 1 – популяция гриба ( $A_1 - Zn_{100}$ ;  $A_2 - Cu_{50}$ ;  $A_3 - Cu_{100}$ ;  $A_4 - Cu_{150}$ ;  $A_5 - Pb_{10}$ ;  $A_6 - Pb_{50}$ ;  $A_7 - Cr_{2,5}$ ;  $A_8 - Cr_{10}$ ) + субстрат без тяжелых металлов ( $B_0$ );  
 2 – популяция гриба ( $A_1 - Zn_{100}$ ;  $A_2 - Cu_{50}$ ;  $A_3 - Cu_{100}$ ;  $A_4 - Cu_{150}$ ;  $A_5 - Pb_{10}$ ;  $A_6 - Pb_{50}$ ;  $A_7 - Cr_{2,5}$ ;  $A_8 - Cr_{10}$ ) + субстрат с внесением солей тяжелых металлов, мг/л ( $B_1 - Zn_{100}$ ;  $B_2 - Cu_{50}$ ;  $B_3 - Cu_{100}$ ;  $B_4 - Cu_{150}$ ;  $B_5 - Pb_{10}$ ;  $B_6 - Pb_{50}$ ;  $B_7 - Cr_{2,5}$ ;  $B_8 - Cr_{10}$ );  
 3 – контрольная популяция ( $A_0$ ) + субстрат с внесением солей тяжелых металлов мг/л ( $B_1 - Zn_{100}$ ;  $B_2 - Cu_{50}$ ;  $B_3 - Cu_{100}$ ;  $B_4 - Cu_{150}$ ;  $B_5 - Pb_{10}$ ;  $B_6 - Pb_{50}$ ;  $B_7 - Cr_{2,5}$ ;  $B_8 - Cr_{10}$ );  
 контроль –  $A_0B_0$  (контрольная популяция гриба на субстрате без внесения тяжелых металлов)



**Морфологические и биохимические показатели инокулированных растений томата в условиях разных концентраций тяжелых металлов в субстрате**

Варианты опыта: популяция (А) / субстрат (В)	Показатели					
	биомасса, г		содержание сухого вещества, %		биохимические показатели	
	надземная часть	корни	надземная часть	корни	нитраты, мг/100 г	витамин С, мг/100 г
Контроль / Zn <sub>100</sub>	29,37±2,23*	4,70±0,28	12,83±0,67	7,85±0,33↓	3890,43±159,98	37,84±4,45↓
Контроль / Cu <sub>50</sub>	25,54±0,80↓**	3,81±0,24	13,01±1,99	5,32±1,96↓	4327,69±144,58↑	23,58±1,54↓
Контроль / Cu <sub>100</sub>	24,31±1,86	4,40±0,30	12,64±0,02	13,79±3,80↑	5326,66±110,37↑	64,62±3,57
Контроль / Cu <sub>150</sub>	27,60±0,70	3,63±0,24	12,14±0,89	13,29±1,13↑	4308,72±298,07	48,83±1,12↓
Контроль / Pb <sub>10</sub>	24,51±1,28	3,88±0,35	8,85±0,50↓	10,58±2,01	4321,20±258,40	42,43±0,55↓
Контроль / Pb <sub>50</sub>	28,81±0,39	3,81±0,07	10,02±0,86↓	8,75±1,38	5014,62±466,07	60,59±0,59
Контроль / Cr <sub>2,5</sub>	26,87±0,35	3,30±0,14↓	11,74±1,87	8,89±1,79	4415,13±331,23	46,72±3,02↓
Контроль / Cr <sub>10</sub>	25,58±0,45↓	4,72±0,28	11,59±0,98	7,75±0,18↓	3213,16±96,82↓	59,32±3,08
Zn <sub>100</sub> / Контроль	25,58±0,73↓	3,84±0,12	14,92±2,32	9,35±1,41	3476,33±325,75	53,06±2,67↓
Zn <sub>100</sub> / Zn <sub>100</sub>	27,80±0,64	4,72±0,45	14,95±1,23	11,19±2,20	3585,72±606,07	34,18±2,46
Cu <sub>50</sub> / Контроль	23,96±1,63	2,16±0,18↓	10,99±1,14	14,78±2,82	3365,41±72,51	55,48±3,54
Cu <sub>50</sub> / Cu <sub>50</sub>	29,68±1,05	2,13±0,23	14,10±1,64	15,22±2,97	4638,21±346,77↑	45,06±1,53
Cu <sub>100</sub> / Контроль	19,82±0,40↓	2,30±0,15↓	10,91±1,64	13,17±2,43	4837,86±206,82	49,83±3,69
Cu <sub>100</sub> / Cu <sub>100</sub>	35,29±0,25↑	2,39±0,69	12,67±0,82	12,68±2,45	3534,60±99,78	52,70±5,29
Cu <sub>150</sub> / Контроль	27,99±0,81	1,93±0,04↓	9,44±1,79	16,10±3,80	3058,14±25,50↓	39,20±4,92↓
Cu <sub>150</sub> / Cu <sub>150</sub>	24,16±1,12	2,23±0,18	12,26±1,21	13,25±2,73	4487,60±103,26↑	32,57±4,80
Pb <sub>10</sub> / Контроль	32,66±2,01	2,98±0,15↓	13,67±1,92	10,24±0,65	3356,96±241,51	46,72±2,28↓
Pb <sub>10</sub> / Pb <sub>10</sub>	26,30±0,87	2,36±0,22	11,41±1,09	11,71±1,01	4488,58±102,55↑	51,93±1,64
Pb <sub>50</sub> / Контроль	21,88±1,31↓	1,55±0,10↓	12,39±1,36	10,98±1,16	3986,02±82,59	62,36±2,98
Pb <sub>50</sub> / Pb <sub>50</sub>	28,16±1,30	2,49±0,36	12,92±1,16	10,01±1,17	4229,96±177,36	48,05±0,90↓

Варианты опыта: популяция (А) / субстрат (В)	Показатели					
	биомасса, г		содержание сухого вещества, %		биохимические показатели	
	надземная часть	корни	надземная часть	корни	нитраты, мг/100 г	витамин С, мг/100 г
Cr <sub>2,5</sub> / Контроль	21,59±2,04↓	1,92±0,08↓	12,24±0,26	11,38±1,85	4384,27±195,22	47,81±3,02↓
Cr <sub>2,5</sub> / Cr <sub>2,5</sub>	29,54±0,09↑	2,50±0,01↑	13,16±0,61	9,52±1,49	4161,79±494,02	71,09±0,80↑
Cr <sub>10</sub> / Контроль	16,36±0,94↓	1,56±0,15↓	13,12±1,98	14,17±2,00	5188,76±622,04	50,53±1,66↓
Cr <sub>10</sub> / Cr <sub>10</sub>	27,30±0,26↑	2,06±0,22	14,23±2,73	11,90±1,12	3583,89±471,03	64,82±7,75
Контроль / Контроль	29,30±0,70	5,44±0,63	15,33±2,02	9,46±0,15	3693,55±87,76	63,48±2,50

Примечания: \* – указано среднее значение показателя ± стандартное отклонение; \*\* – показано достоверное отличие от контроля: увеличение ↑ или уменьшение ↓ показателя ( $p < 0,05$ ).

А – адаптированные популяции гриба, выращенные на агаровых субстратах с внесением разных концентраций солей тяжелых металлов (мг/л).

В – субстраты с разным содержанием солей тяжелых металлов (мг/л).

При выращивании томатов, инокулированных разными популяциями гриба (адаптированы к субстратам с разным содержанием ТМ), на контрольном (без внесения ТМ) субстрате наблюдалось достоверное увеличение содержания хлорофилла *a* в листьях по сравнению с контролем (за исключением популяций гриба Cr<sub>10</sub> и Cu<sub>50</sub>, где, наоборот, установлено достоверно меньшие значения показателя).

Адаптированные популяции гриба *Cylindrocarpon magnusianum*, выращенные на субстрате с высоким содержанием хрома (Cr<sub>10</sub>), вызвали существенное снижение содержания хлорофилла *b* в листьях, тогда как популяции Zn<sub>100</sub>; Cu<sub>150</sub>; Pb<sub>10</sub>; Cr<sub>2,5</sub> вызвали рост содержания этого пигмента. На содержание каротиноидов в листьях томата существенно повлияли популяции Cr<sub>2,5</sub> и Cr<sub>10</sub>.

Таким образом, содержание хлорофиллов *a* и *b* в листьях оказалось более чувствительным показателем к действию инокуляции растений популяциями грибов при действии солей тяжелых металлов. При анализе влияния взаимодействия популяции гриба и содержания химических элементов в субстрате установлено, что на содержание фотосинтетических пигментов в листьях достоверное влияние оказали популяции гриба Pb<sub>10</sub> и Cr<sub>2,5</sub> (при выращивании растений на субстратах с аналогичным содержанием свинца и хрома), приводя к существенному снижению содержания хлорофиллов *a* и *b* в листьях, по сравнению с результатами выращивания растений (инокуляция популяциями гриба) на контрольном субстрате (В<sub>0</sub>). Достоверное снижение концентрации хлорофиллов *a* и *b* по сравнению с контрольным вариантом (А<sub>0</sub>В<sub>0</sub>) отмечено лишь в варианте популяции гриба Zn<sub>100</sub> с последующим выращиванием растений в субстрате с содержанием цинка 100 мг/л, а достоверный рост показателей – в варианте с популяцией Cu<sub>100</sub>. Содержание каротиноидов существенно ниже контрольного варианта было лишь при использовании популяций Cr<sub>10</sub>, Zn<sub>100</sub> и субстратов с содержанием хрома и цинка соответственно 10 и 100 мг/л.

При анализе влияния инокуляции томатов контрольной популяцией гриба на морфологические показатели выявлено, что при внесении в субстрат меди (50 мг/л) и хрома (10 мг/л) на-

блюдалось достоверное снижение биомассы надземной части растений. Содержание в субстрате хрома (2,5 мг/л) вызвало снижение биомассы корней.

При выращивании растений томата, инокулированных разными популяциями гриба *Cylindrocarpon magnusianum*, на контрольном субстрате (без ТМ) практически во всех вариантах опыта (за исключением популяций гриба Zn<sub>100</sub>) наблюдалось достоверное снижение биомассы корней. Популяции гриба Zn<sub>100</sub>, Cu<sub>100</sub>, Pb<sub>50</sub>, Cr<sub>2,5</sub> и Cr<sub>10</sub> также вызвали существенное снижение биомассы надземной части растений.

Что касается совместного влияния инокулята и концентрации химических элементов в субстрате, наблюдалось достоверное увеличение биомассы надземной части и корней растений по сравнению с контролем при внесении в субстрат хрома в концентрации 2,5 мг/л и использовании популяции гриба Cr<sub>2,5</sub>. Популяции гриба Cu<sub>100</sub> и Cr<sub>10</sub> при выращивании томатов на субстратах с аналогичным содержанием меди (100 мг/л) и хрома (10 мг/л) также вызвали рост биомассы надземной части растений.

Содержание сухого вещества в надземной части растений во всех вариантах опыта не имело достоверных отличий от контроля. Но этот показатель для корневой системы растений имел достоверно более низкие значения в вариантах с контрольной популяцией гриба в качестве инокулята и при выращивании томата на субстратах с концентрациями Zn<sub>100</sub> и Cr<sub>10</sub>. При этом содержание меди в почве в основном привело к достоверному росту содержания сухого вещества в корнях.

Проведен анализ содержания нитратов и аскорбиновой кислоты в листьях томата. Внесение в субстрат меди в концентрации 50 и 100 мг/л вызвало достоверный рост содержания нитратов в листьях (в вариантах опыта с инокуляцией растений контрольной популяцией гриба). При этом во всех вариантах опыта происходило снижение содержания аскорбиновой кислоты в листьях.

При инокуляции растений популяциями, адаптированными к разным концентрациям тяжелых металлов (при последующем выращивании растений на субстратах без внесения ТМ), содержание нитратов в листьях не изменялось по сравнению с контролем, но при этом содержание аскорбиновой кислоты достоверно снижалось почти во всех вариантах опыта.

При взаимодействии разных популяций гриба и выращивании инокулированных ими растений на субстратах с аналогичным содержанием тяжелых металлов, концентрация нитратов в листьях увеличилась по сравнению с контролем в вариантах Cu<sub>50</sub>, Cu<sub>150</sub>, Pb<sub>50</sub>, а содержание аскорбиновой кислоты достоверно изменилось в вариантах Pb<sub>10</sub> (уменьшилось) и Cr<sub>2,5</sub> мг/л (увеличилось) по сравнению с контролем.

Таким образом, стимулирующего эффекта, повышающего устойчивость растений к действию солей ТМ, при инокуляции растений контрольной популяцией гриба *Cylindrocarpon magnusianum* не выявлено. При инокуляции растений популяциями гриба, адаптированными к действию солей тяжелых металлов, и последующем выращивании растений на контрольном субстрате в большинстве вариантов выявлен эффект увеличения содержания хлорофилла *a* (за исключением Cu<sub>50</sub> и Cr<sub>10</sub> мг/л), увеличения содержания хлорофилла *b* (лишь в вариантах Zn<sub>100</sub>, Cu<sub>150</sub>, Pb<sub>10</sub> и Cr<sub>2,5</sub> мг/л), каротиноидов (вариант Cr<sub>2,5</sub> мг/л). При этом наблюдалось уменьшение биомассы корней, и в большей части вариантов опыта – биомассы надземной части растений.

Наиболее значимые результаты наблюдались при инокуляции растений популяциями *Cylindrocarpon magnusianum*, заранее адаптированными к разным концентрациям солей тяжелых металлов, и при выращивании растений в условиях высокого содержания солей тяжелых металлов в субстрате.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Мой первый грант» (№ 16-34-00855).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юрков А.П., Крюков А.А., Горбунова А.О., Кожемяков А.П., Степанова Г.В., Мачс Э.М., Радионов А.В., Шишова М.Ф. Молекулярно-генетическая идентификация грибов арбускулярной микоризы. // Экологическая генетика. 2018, 16 (2). – С. 11–23.
2. Wilkinson D.M. At cross purposes. // Nature. 2001, 412 (6846). – P. 485.
3. Gianinazzi S., Gollotte A., Binet M. N., van Tuinen D., Redecker D., Wipf D. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. // Mycorrhiza, 2010, 20 (8). – P. 519–530.
4. Ijdo M., Cranenbrouck S., Declerck S. Methods for large-scale production of AM fungi: past, present and future. // Mycorrhiza. 2011, 21. – P. 1–16.
5. Redecker D. Specific PCR primers to identify arbuscular mycorrhizal fungi within colonized roots. // Mycorrhiza. 2000, 10. – P. 73–80.
6. Wubet T., Weiß M., Kottke I., Teketay D., Oberwinkler F. Phylogenetic analysis of nuclear small subunit rDNA sequences suggests that the endangered African Pencil Cedar, *Juniperus procera*, is associated with distinct members of *Glomeraceae*. // Mycological Research. 2006, 110. – P. 1059–1069.
7. Rodriguez R.J., White J.F., Arnold A.E., Redman R.S. Fungal endophytes: diversity and functional roles. // New Phytologist. 2009, 182. – P. 314–330.
8. Wang F., Liu X., Shi Z., Tong R., Adams C.A., Shi X. Arbuscularmycorrhizae alleviate negative effects of zinc oxide nanoparticle and zinc accumulation in maize plants – A soil microcosm experiment. // Chemosphere. 2016, 147. – P. 88–97.
9. Rodriguez R.J., Henson J., Volkenburgh E.V., Hoy M., Wright L., Beckwith F., Kim Y., Redman R. Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. // ISME Journal. 2008, 2. – P. 404–416.
10. Amaral D.R., Oliveira D.F., Campos V.P., de Carvalho D.A., Nunes A.S. Effect of plant and fungous metabolites on *Meloidogyne exigua*. // Ciencia e Agrotecnologia. 2009, 33. – P. 1861–1865.
11. Бухарина И.Л., Исламова Н.А. Исследование пределов устойчивости микроскопических грибов и формирование коллекции перспективных изолятов. – Мат. годичное собрание общества физиологов растений России «Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма». СПб., 2016. – С. 362–363.