

*На правах рукописи*



**Фитискина Надежда Викторовна**

**ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКОТОЛА НА  
ДРЕВЕСНЫЕ САЖЕНЦЫ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ  
СРЕДЫ**

03.02.08 – Экология (биологические науки)

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет пищевых производств» (ФГБОУ ВПО МГУПП), г. Москва

**Научный руководитель:** **Карташова Елена Ростиславовна**  
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», старший научный сотрудник кафедры микологии и альгологии

**Официальные оппоненты:** **Чурилов Геннадий Иванович**  
доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава России, профессор кафедры общей и фармацевтической химии

**Комаров Андрей Алексеевич**  
доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», главный научный сотрудник

**Ведущая организация:** Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» Федерального агентства лесного хозяйства

Защита диссертации состоится: «16» ноября 2017 г. в 14.00 на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д. 212.203.38 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов» по адресу: 115093, г. Москва, Подольское ш., д. 8/5.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, и на сайте [dissovet.rudn.ru](http://dissovet.rudn.ru).

Автореферат разослан «22» июня 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Ванисова Елена Александровна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Современный период развития человечества представляет собой стадию, с одной стороны, связанную с ростом антропогенных нарушений природных систем, с другой – попыток коррекции деградационных по отношению к биосфере воздействий. Последнее требует системного, комплексного подхода к вопросам миграции химических элементов и их соединений между организмами и средой обитания, в первую очередь, почвой, представляющей собой «планетарный узел связей – биологического и геологического круговорота веществ», определяющего функционирование биосферы (Никитин, Сабодина, 2003). Отсюда наиболее актуальная проблема – сохранение почвенного покрова планеты, особенно, урбанизированных территорий, в почве которых накапливается значительное количество токсичных веществ и соединений, что приводит к изменению ее физико-химических свойств. Один из возможных подходов к снижению отрицательной роли антропогенного воздействия на почву может быть осуществлен за счет веществ, получаемых при мико- и микробиологическом разложении растительного и животного материала, имеющего место в природе. Данным веществам характерно кондиционирование, очищение среды. Они способствуют также устойчивости организмов при неблагоприятных для них условиях (Лебедев, 1999; Лебедев и др., 2004; Остроумов, 2012, 2013). Синтез таких веществ, куда входят физиологически-активные соединения, может быть значительно ускорен за счет экотехнологий, что впервые в аэробных условиях на основе растительного материала было предложено и осуществлено д.б.н. Г.В. Лебедевым (Лебедев, 1994). Полученные при этом соединения, способные повышать устойчивость организмов к неблагоприятным условиям среды, в том числе, вызванных антропогенными воздействиями, были названы Г.В. Лебедевым экотолами от слов экология и толерантность. К настоящему времени данные вещества остаются полностью не идентифицированы. В связи с нарастанием экологических проблем изучение экотолов, их воздействия на почву, особенно урбанизированную, и на растения, в первую очередь, древесные, которые в городских условиях используются для

создания искусственных фитоценозов и санитарно-защитных зон ряда предприятий, является актуальной задачей.

**Цель исследования:** Целью диссертационной работы являлось изучение воздействия экотола на физиологическое состояние древесных саженцев при неблагоприятных условиях среды.

В качестве неблагоприятных условий среды мы рассматривали повышенные температуры и загрязнитель урбаноземов – свинец, который, поступая в почву, нарушает метаболизм растений, в том числе древесных.

**Задачи исследования:**

1. Получить экотол в лабораторных условиях.
2. Определить наличие в экотоле биогенных аминов, их предшественников и продуктов окислительного дезаминирования, способных активно включаться в метаболические процессы растений и сопутствующего им биоса.
3. Определить содержатся ли в экотолу меланины, обладающие целым рядом положительных экологических воздействий, включая сорбцию тяжелых металлов.
4. Установить, изменится ли соотношение алифатических и ароматических структурных фрагментов в процессе длительного хранения экотола.
5. Оценить влияние экотола на рост древесных саженцев в природных условиях.
6. Сопоставить влияние экотола на подвижность распространенного поллютанта среды – свинца в почве в отсутствии и при наличии древесных саженцев.
7. Оценить воздействие экотола на физиологическое состояние древесных саженцев различной устойчивости к антропогенным воздействиям в условиях нормы и избытка свинца в почве на фоне экотола и при его отсутствии.

**Научная новизна.** В экотолу было установлено наличие меланинов (проведено их выделение и идентификация). Была проведена количественная оценка биогенных аминов, их предшественников и продуктов окислительного дезаминирования. В работе впервые изучалось воздействие экотола на древесные саженцы. Было показано усиление ростовых процессов у древесных саженцев под действием экотола в условиях засухи на примере *Acer platanoides* L. (клена остролистного). Впервые анализировалось воздействие экотола в качестве

кондиционирующего, очищающего почву вещества. Показано участие экотолла в иммобилизации свинца. Установлена различная степень иммобилизации свинца экотоллом при наличии и отсутствии произрастающих в почве древесных растений. Отмечено различие в воздействии экотолла на иммобилизацию свинца древесными саженцами лиственной – *Fraxinus pensylvanica* (ясень пенсильванского), и хвойной – *Picea abies* L. (ель обыкновенная), породами. На основе экспериментальных и литературных данных установленному отличию найдено объяснение, заключающееся в разнице типов микоризации лиственной и хвойной пород. Впервые оценивалось воздействие экотолла при норме и избытке свинца в почве на фотосинтез, синтез белка, активность пероксидазы на примере представителя лиственных пород – ясеня пенсильванского. Было прослежено воздействие экотолла в условиях нормы и избытка свинца на систему: почва – растение *Picea abies* L. (ель обыкновенная) – микобиота (эктомикориза).

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Экотолл – пример трансформированного мико- и микробиотой растительного материала в сумму неорганических и органических веществ, способных к химико-биотическим взаимодействиям, что позволяет им снова вовлекаться в биогеохимические круговороты, включаться в миграцию элементов для построения почв, где сосредоточена «управляющая система» биогеоценозов и замыкаются круговороты веществ биосферы. Отсюда важность изучения экотолла имеет как теоретические, так и практические грани. Благодаря своей полифункциональной активности, экотолл может иметь разностороннее практическое применение. В частности, экотолл может найти широкое применение в плане восстановления экологических и агрохимических показателей деградированных городских почв. Он может быть использован во время посадки и дальнейшего ухода за саженцами древесных лиственных пород (очевидно и кустарников) в санитарно-защитных зонах предприятий, скверах и других местах, относящихся к зеленым зонам города.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Экотолл, полученный в результате биотехнологической конверсии растительного сырья (соломы пшеницы), способствует улучшению состояния

древесных саженцев лиственных пород, увеличивая их толерантность к неблагоприятным условиям среды.

2. Экотол представляет собой продукты не только распада, но и синтеза органических веществ, осуществляемого грибами и микроорганизмами, участвующими в деградации растительного сырья. При переработке бывшего живого вещества грибы и микроорганизмы выделяют в среду целый арсенал физиологически-активных соединений, в том числе меланины и биогенные амины и их предшественники. Отсюда полифункциональность экотола.

3. Экотол усиливает ростовые процессы древесных саженцев лиственных пород в условиях засухи.

4. Экотол участвует в иммобилизации тяжелого металла – свинца. Наличие древесных саженцев лиственных пород, для которых характерна арбускулярная микориза, увеличивает иммобилизационное воздействие экотола на тяжелый металл, что сопровождается восстановлением фотосинтетического процесса и синтеза белка.

5. Экотол в условиях избытка свинца в почве усиливает рост эктомикориз *Picea abies* L., способствующих поступлению свинца из почвы в корневую систему.

6. Степень и характер воздействия экотола на растения при наличии избыточных доз свинца в почве зависит от агрохимических свойств почвы, от наличия в них других загрязнителей, от вида растений, произрастающих на этих почвах, от типа микоризации корневой системы растений, где арбускулярная или эктомикориза является преобладающим симбионтом.

7. Применение экотола может быть рекомендовано при посадке древесных саженцев лиственных пород во вновь создаваемых городских зеленых насаждениях, включая санитарно-защитные зоны предприятий, а также для поддержания жизнеспособности уже имеющихся насаждений.

**Степень достоверности результатов** обеспечивалась применением в экспериментальных исследованиях современного аналитического оборудования, соблюдением требований общепринятых методик определений, а также

использованием стандартных методов статистической обработки полученных результатов с помощью программы Microsoft® Excel 2007.

**Личный вклад автора.** Автор самостоятельно получил использовавшийся в экспериментальной работе экотол, самостоятельно проводил физиолого-биохимические анализы, принимал активное участие при работе на современном оборудовании. Автор провел обработку и интерпретацию полученных данных, участвовал в подготовке публикаций по материалам исследований.

**Апробация работы.** Материалы диссертации были доложены на: Открытом междисциплинарном семинаре по Биополитике Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, 2010, 2012); VI и VII Московском международном конгрессе «Биотехнология: состояние и перспективы развития» (Москва, 2011, 2013); IX Международном симпозиуме «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования» (г. Пущино, 2011); XX, XXI, XXII и XXIII Международных симпозиумах «Нетрадиционное растениеводство. Селекция и генетика. Охрана биосферы. Эниология. Экология и здоровье» (г. Алушта, 2011, 2012, 2013, 2014); IX Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения» (Москва, 2011); Международной интернет-конференции «Биотехнология. Взгляд в будущее» (Казань, 2012); IV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Окружающая среда и здоровье. Молодые ученые за устойчивое развитие страны в глобальном мире» (Москва, 2012); Всероссийской научной конференции с международным участием «Инновационные направления современной физиологии растений» (Москва, 2013); Сессии стендовых сообщений «Науки о биосфере: инновации» в рамках секции Московского Общества Испытателей Природы (МОИП) (Москва, 2014).

**Публикации.** По материалам диссертационного исследования опубликовано 20 печатных работ, в том числе 3 статьи экологической направленности в отечественных рецензируемых журналах из списка ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, обзора литературы, главы объекты и методы исследования, главы результаты работы и

их обсуждение, заключения, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 159 страницах, из них 149 страниц основного текста. Работа содержит 19 рисунков и 7 таблиц. Список литературы включает 232 источника, в том числе 190 на русском языке и 42 на иностранных языках.

**Благодарности.** Автор благодарит за ценные консультации и помощь при выполнении различных этапов работы к.т.н. С.Д. Терешкину, д.б.н. А.В. Олескина, д.б.н. С.А. Остроумова, д.х.н. В.П. Варламова, к.б.н. В.П. Курченко, д.х.н. Г.А. Калабина, н.с. В.А. Ивлева, д.б.н. Т.Е. Кренделеву, к.м.н. В.С. Кудрина, Н.Г. Лебедеву, к.б.н. Т.П. Юрину, к.б.н. М.М. Карпухина, к.б.н. В.В. Демина, к.б.н. Е.Ю. Воронину, а также выражает благодарность своему научному руководителю к.б.н. Е.Р. Карташовой и своей семье.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Глава 1. Обзор литературы по теме диссертации

Обзор литературы освещает материал, рассматривающий: роль почвенного покрова Земли в биосфере, главным образом на основе отечественной школы российских почвоведов (Добровольский, Никитин, 1990, 2000 и др.); тяжелые металлы как загрязнители почв на примере свинца (Водяницкий, 2008, 2009 и др.); роль бывшего живого вещества в иммобилизации загрязнителей биосферы (Остроумов, 2012, 2013 и др.). В плане биотехнологического восстановления экологических и агрохимических показателей деградированных почв внимание уделяется компостам (Analysis of composting ... , 1998 и др.), вермикультивированию (Edwards, Arancon, 2006 и др.), использованию гуминовых и бакто-гумусовых препаратов (Перминова, 2008; Якименко, Терехова, 2011 и др.) и экотолу (Лебедев, 1999; Лебедев и др., 2004), способным повышать плодородие почв, оптимизировать их гумусное состояние, способствовать возобновлению биологически активных веществ, активации почвенных микроорганизмов.

При этом экотол, благодаря разнообразию мико- и микробиоты, участвующей в его образовании при аэробной конверсии растительного материала (рис. 1), обнаруживает широкий спектр физиологически-активных



веществ, способных повышать устойчивость организмов к неблагоприятным условиям среды. В экотоле были обнаружены бициклические и полициклические кислород- и азот- содержащие соединения, лигнаны, лигниноподобные вещества, а также оксибензол, бензолкарбоновые кислоты, фураны, хиноны, аминобензолы, пиридины, индолы и др.

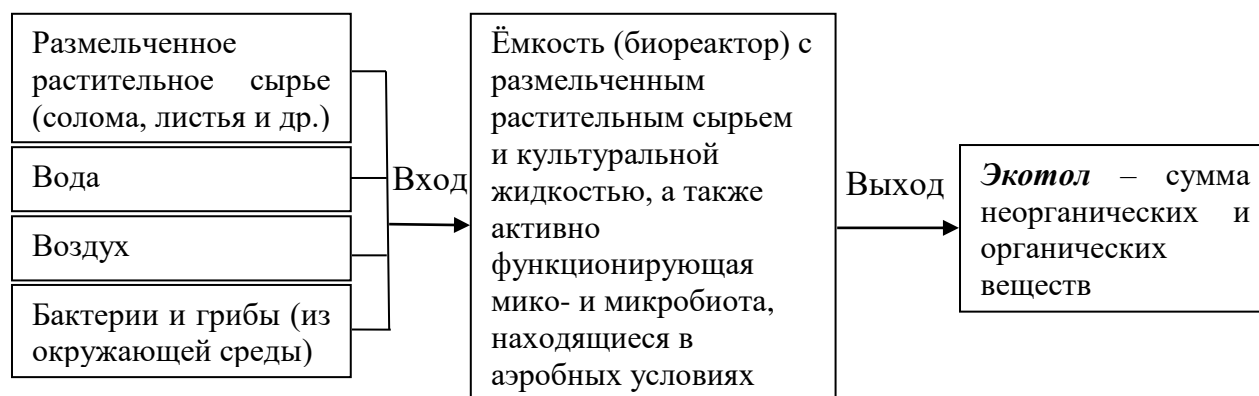


Рис. 1 – Схема получения экотола

Заключительная часть обзора посвящена содержанию древесных насаждений в городских условиях и повышению их жизнеспособности при неблагоприятных условиях среды (Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы, 2013 и др.).

## Глава 2. Объекты и методы исследования

**Объектами исследования** являлись *класс природных физиологически-активных соединений – экотол и саженцы древесных растений*, используемые для создания устойчивых лесопарковых насаждений и озеленения санитарно-защитных зон в Европейской части России.

*Экотол* синтезировался нами из соломы пшеницы сорта Хакасская в лабораторных условиях в 20 л емкости с распылителем воздуха, присоединенным к компрессору и помещенным внутри заполненной измельченной соломой и водопроводной водой емкости. В серии опытов, связанных с определением меланинов, также был использован экотол длительного хранения, полученный из *Chelidonium L.* (чистотела), *Avena sativa L.* (овса) и *Triticum L.* (пшеницы).

Для полевого опыта по выяснению воздействия экотола на растения в природных условиях были выбраны двухлетние саженцы *Acer platanoides L.* (клена остролистного), быстро вырастающие в крупные деревья.

Для вегетационных опытов по оценке воздействия экотола на древесные саженцы в условиях нормы и избыточных концентраций свинца в почве были взяты трехлетние растения *Fraxinus pensylvanica* (ясень пенсильванский), как наиболее устойчивый к антропогенным воздействиям вид, *Sorbus aucuparia* L. (рябина обыкновенная), которая является среднеустойчивым видом, рекомендуемым при групповых посадках для озеленения городов, и *Picea abies* L. (ель обыкновенная), как вид, восприимчивый к загрязняющим веществам.

**Методы исследования.** Определение содержания биогенных аминов, их предшественников и продуктов окислительного дезаминирования в экотоле осуществляли в НИИ фармакологии имени В.В. Закусова РАМН методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с электродетекцией. Выделение и идентификация меланинов проводились в лабораториях БГУ Минска и Центра «Биоинженерии» РАН Москвы. Идентификация выделенных пигментов заключалась в комплексном исследовании их растворимости, в анализе качественных реакций на хиноны и фенолы, элементного состава, спектральных и парамагнитных свойств. Определение содержания ароматических и алифатических фрагментов в экотоле было осуществлено с помощью ЯМР-спектроскопии высокого разрешения в лаборатории ФГАОУ ВО РУДН.

Для решения поставленных экологических задач в работе были использованы методы, применяемые в физиологии растений: полевой и вегетационные методы выращивания растений; определение ростовых параметров; фотосинтеза, в данном случае биофизического метода, основанного на характеристиках флуоресценции хлорофилла в коре побегов, измеряемых импульсно-модулированным флуорометром, используемым для экологических исследований при мониторинге древесных растений в условиях города (Венедиктов и др., 2000); содержание белка методом Лоури (Lowry et al., 1951); активность фермента пероксидазы согласно стандартной методике (Гавриленко, Ладыгина, Хандобина, 1975). Валовое содержание (ВС) и подвижные формы (ПФ) свинца в почве определялись с помощью метода атомно-абсорбционного анализа. Для установления количественного содержания свинца в корнях и хвое саженцев

ели обыкновенной был использован метод масс-спектрометрии, применяемый в экологических исследованиях при оценке состояния зеленых насаждений (ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011). Определение плотности корневых окончаний и количественных характеристик микориз проводилось в соответствии с методиками, предложенными И.А. Селивановым (Селиванов, 1981), Д.В. Веселкиным (Веселкин, 1999) и М. Brundrett (Mycorrhizal associations, 2008).

### Глава 3. Результаты работы и их обсуждение

#### 3.1. Биогенные амины, их предшественники и продукты окислительного дезаминирования в экотолле

Биогенные амины можно рассматривать как эволюционно-консервативные химические агенты, выполняющие роль внеклеточных и внутриклеточных регуляторов, информационных, сигнальных веществ в диапазоне от одноклеточных существ до человека (Oleskin, Shishov, Malikina, 2010). В организмах биогенные амины, их предшественники и продукты окислительного дезаминирования выполняют также различные физиологически важные функции, в том числе участвуют в ответе на стрессовые факторы (Брей, 1986; Дорогова, 2013; Рощина, 2010 и др.).

Биогенные амины (БА), обнаруженные нами в экотолле: дофамин (ДА), норадреналин (НА), 5 – гидрокситриптамин – серотонин (5-ГТ); их предшественники: диоксифенилаланин (ДОФА), 5 – гидрокситриптофан (5-ГТР) и продукты окислительного дезаминирования: дигидроксифенилукусная кислота (ДФУК), гомованилиновая кислота (ГВК), 5 – гидоксииндолукусная кислота (5-ГИУК) (табл. 1).

Таблица 1 – Биогенные амины, их предшественники и продукты окислительного дезаминирования в экотолле (наномоль/л)

Биогенные амины (БА)			Предшественники БА		Продукты окислительного дезаминирования БА		
ДА	НА	5-ГТ	ДОФА	5-ГТР	ДФУК	ГВК	5-ГИУК
295, 87	56,89	12,55	569,84	8,61	49,56	14,18	292,94

Как видно из таблицы 1 из числа биогенных аминов, присутствующих в экотоле, наибольшее количество приходится на долю дофамина (ДА) и его предшественника ДОФА. Известно, что ДОФА, как правило, сопутствует фенольным полимерам – меланинам, соединениям, окрашенным в темно-коричневый цвет (Кретович, 1971).

Биогенные амины, их предшественники могли быть привнесены в экотол бактериями из рода *Bacillus*, доминирующими в первые 10-15 дней при разложении пшеничной соломы (Лебедев и др., 2004). Для данных бактерий характерно наличие биогенных аминов и их предшественников как в самой культуре, так и в культуральной жидкости (Шишов, 2010). Очевидно, под действием мико- и микробиоты при образовании экотола имеют место не только деструктивные процессы, но и биосинтетические.

### 3.2. Содержание меланиновых пигментов в экотоле

В настоящее время интерес к меланинам вызван их высокой физиологической активностью, которая проявляется в антиоксидантных, антиоксидантных, фотопротекторных и генопротекторных качествах, а также в фитостимулирующих свойствах (Тоноян и др., 2010; Гесслер, Егорова, Белозерская, 2014; Курченко, 2015). Поскольку для экотола присущ целый ряд из перечисленных свойств и ему характерно коричневое окрашивание (Лебедев и др., 2004), мы провели определение меланиновых пигментов в экотоле (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание меланинов в экотолах, отличающихся сроками хранения и источниками биомассы

Номер образца	Источник биомассы	Окрашивание экотола	Выход меланина, %
1	Солома <i>Triticum</i> L. – пшеницы*	Коричневое	2,5
2	Надземная часть <i>Chelidonium</i> L. – чистотела**	Желто-коричневое	1,5
3	Надземная часть <i>Avena sativa</i> L. – овса**	Желто-коричневое	1,7
4	Солома <i>Triticum</i> L. – пшеницы**	Темно-коричневое	3,2

\*экотол, полученный в год анализа;

\*\*экотол, хранившийся в течение 7 лет, из коллекции Н.Г. Лебедевой.

Меланины при биотехнологической конверсии растительного сырья могли поступать в культуральную среду из находящихся в ней меланизированных грибов. В культуральной среде всегда обнаруживаются меланизированные грибы рода *Alternaria*, а также меланизированные целлюлозоразрушающие грибы родов *Aspergillus*, *Cladosporium* и др. Кроме того, в культуральной среде были обнаружены микроорганизмы из рода *Bacillus*, некоторые штаммы которых также могут являться продуцентами меланиновых пигментов (Лебедев, 2004; Тоноян и др., 2010; Гесслер, Егорова, Белозерская, 2014).

На основе проведенного анализа элементного состава и парамагнитных свойств меланины, содержащиеся в образцах экотола, наиболее вероятно отнести к *эумеланинам* – азотосодержащим гетерополимерам, биополимерам индолил-5,6-хинона с включением пиррольных и ДОФА-хиноновых фрагментов.

Поскольку в результате 7-летнего хранения экотола, полученного на основе соломы пшеницы, усиливалась его цветность и наблюдалось образование темно-коричневого осадка, мы предположили в процессе хранения экотола возможность изменения соотношения ароматических и алифатических фрагментов.

### **3.3. Ароматические и алифатические фрагменты экотола после его длительного хранения**

Ароматические и алифатические структурные фрагменты в исходном экотоле из соломы пшеницы были изучены с помощью метода пиролизической масс-спектрометрии (Лебедев, 1999), который выявил, что алифатические соединения составляют 93,3 %, а на долю ароматических соединений приходится ~ 6,5 %. Нас интересовало, будет ли изменяться соотношение алифатических и ароматических фрагментов экотола после его длительного хранения – 7 лет.

Количественное содержание ароматических и алифатических фрагментов в экотоле представлено в таблице 3, из которой следует, что содержание  $СН_{ар}$  в образцах с разным соотношением надосадочной жидкости к осадку мало различается и составляет 13-15 %, содержание  $СН_{алк-О}$ : 43-49 %. Значение  $СН_{алк}$  варьируется более значимо – 44 % в образце № 1 и 36 % в образце № 2.

Таблица 3 – Содержание атомов водорода различных фрагментов в экотоле длительного хранения, полученные в условиях регистрации спектра ЯМР  $^1\text{H}$ \*

Образцы			Содержание фрагментов**, %		
№ образца	Соотношение надосадочной жидкости к осадку	Цветность, дисперсность			
			$\text{CH}_{\text{ар}}$	$\text{CH}_{\text{алк-О}}$	$\text{CH}_{\text{алк}}$
№ 1	3:1	Светло-желтый, мелкодисперсный	13	43	44
№ 2	1:3	Коричневый, крупнодисперсный	15	49	36

\*режим регистрации спектра ЯМР  $^1\text{H}$  – без устранения остаточных сигналов протонов воды;

\*\* $\text{CH}_{\text{ар}}$  – протоны ароматических и гетероароматических фрагментов;  $\text{CH}_{\text{алк-О}}$  – протоны алифатических фрагментов, соединённых с атомом О;  $\text{CH}_{\text{алк}}$  – протоны алифатических фрагментов, соединённых с атомами С/Н.

Поскольку содержание алифатических и ароматических фрагментов исходного экотола, проанализированного ранее с помощью метода пиролитической масс-спектрометрии (Лебедев, 1999), и экотола, хранившегося в течение 7 лет, проанализированного методом ЯМР-спектроскопии, представлены в процентах, мы посчитали возможным провести их сопоставление. Оно показало, что при длительном хранении экотола имеет место незначительное уменьшение процентного содержания алифатических фрагментов в среднем на 7 % (сумма  $\text{CH}_{\text{алк-О}}$  и  $\text{CH}_{\text{алк}}$ , длительно хранившегося экотола, составляет ~ 86 %; в исходном экотолу – 93 %). Количество ароматических соединений, представленных в экотолу, хранившемся 7 лет, составляет в среднем 14 %, а в исходном – 6,5 %, т.е. в течение 7-летнего хранения экотола ароматических соединений становится ~ на 7 % больше. Это не много и свидетельствует о том, что при хранении в экотолу имеет место слабое развитие автоконденсационных процессов.

Сравнение спектров ЯМР  $^1\text{H}$  экотола, полученных нами, со спектрами гуминовых веществ, выделенных из почвы, угля, торфа или лигнинов, полученными в работе Н.Г. Неизвестной (Неизвестная, 2013), демонстрирует их существенное отличие, что вполне закономерно, поскольку получение экотола связано в основном с трансформацией органических остатков. В таком состоянии экотол может находиться длительное время (годы) до тех пор, пока он не попадет

в почву. В почве при наличии соответствующих микроорганизмов осуществляется процесс гумификации (Комаров, 2004; Комаров<sup>1</sup>, Комаров<sup>2</sup>, 2015).

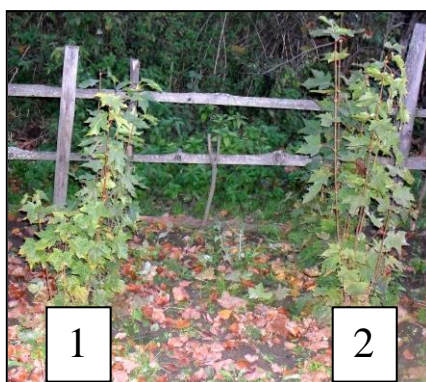
Подытоживая изложенный материал, подчеркнем, что мико- и микробиота, участвующая в деградации растительного материала, привносит в среду, в нашем случае – экотол, целый ряд физиологически-активных соединений, обуславливающих его полифункциональные свойства, которые способны оказать воздействие на растения.

### 3.4. Влияние экотола на рост древесных саженцев *Acer platanoides* L. в природных условиях

Для выяснения воздействия экотола на двухлетние древесные саженцы клена остролистного в природных условиях в начале и середине летних сезонов 2008 и 2009 гг. растения обрабатывались им. Обработанные экотолом клены по ростовым параметрам в эти годы практически не отличались от контрольных растений (рис. 2). Различия проявились в сентябре 2010 г., после засушливого лета и нехарактерной тогда для Москвы и области жары. Саженцы, ранее обработанные экотолом, стали в среднем на 30 см выше и имели в 1,3 раза большее число листьев, чем контрольный вариант. Преимущество в росте кленов, обработанных экотолом, сохранялось до конца эксперимента – май 2012 г.



Июль 2008 года



Сентябрь 2010 года



Май 2012 года

Обозначения:

1. Растения, не обработанные экотолом;

2. Растения, обработанные экотолом.

Рис. 2 – Рост саженцев *Acer platanoides* L. (клена остролистного) в течение четырех лет на территории УО ПЭЦ МГУ Чашниково

Так, средняя высота контрольной группы кленов составляла  $107 \pm 15,7$  см, а кленов, обработанных экотолом –  $147 \pm 12,3$  см, при этом средний диаметр

стволов равнялся  $3,6 \pm 0,5$  см, а у кленов, обработанных экотолом –  $4,9 \pm 0,7$  см. По-видимому, в составе экотола имеются соединения, выполняющие роль эффекторов, воздействующих на ростовые процессы. К таким веществам, стимулирующим рост и развитие растений, а также повышающих их устойчивость к неблагоприятным условиям среды, включая засуху, относятся меланиновые пигменты (Тоноян и др., 2010; Азарян, Мелконян, 2014), обнаруженные нами в экотолe. Стимулирующий эффект мог быть вызван фитогормональными веществами – ауксинами, гиббереллинами и цитокининами. Некоторые микроорганизмы и грибы, продуцирующие данные гормоны, обнаружены при образовании экотола, благодаря чему они вполне могут присутствовать в экотолe (Лебедев и др., 2004).

### **3.5. Влияние экотола на подвижность свинца в почвах, не содержащих древесных растений, и в почвах, на которых произрастали древесные саженцы**

Известно, что органическое вещество играет решающую роль в закреплении свинца в почвах, поэтому естественно было предположить влияние экотола на самоочищающую способность почв. О защитном действии абиотической части почвы мы судили по изменению подвижности свинца в почве (Ильин, Гармаш, 1980). Опыты показали, что внесение экотола в почвы с избыточными дозами свинца снижало содержание подвижных форм (ПФ) данного тяжелого металла в среднем на  $12,6 \pm 3,8$  %, что зависело от количества общих загрязняющих веществ и содержания в почве органического вещества. Наблюдаемая иммобилизация свинца, по всей видимости, обуславливается наличием в экотолe меланинов, для которых характерны группы:  $-\text{COOH}$ ;  $-\text{OH}$ ;  $-\text{SO}_3\text{H}$  и нейтральные электронодонорные группы:  $\text{R}_2\text{CO}$ ;  $\text{R}_3\text{PO}$ ;  $\text{R}_3\text{N}$ , участвующие в образовании комплексов меланина с ионами тяжелых металлов, в том числе ионами свинца, снижая при этом их доступность для организмов (Курченко, 2015).

Воздействие экотола на валовое содержание (ВС) и подвижные формы (ПФ) свинца в почве с избыточными дозами металла при наличии растущих на ней древесных саженцах давало возможность судить о поглощении свинца



растениями. **Валовое содержание свинца** в почве при наличии экотола после роста на ней саженцев ясеня пенсильванского и рябины обыкновенной претерпело незначительные изменения:  $3,9 \pm 0,1$  %, где рос ясень, и  $6,0 \pm 0,1$  %, где росла рябина. **Содержание подвижных форм** заметно снижалось на  $42,9 \pm 0,7$  % при наличии экотола в почве, на которой рос ясень пенсильванский, и на  $36,0 \pm 0,3$  % в почве, на которой росла рябина обыкновенная (рис. 3. А, Б).

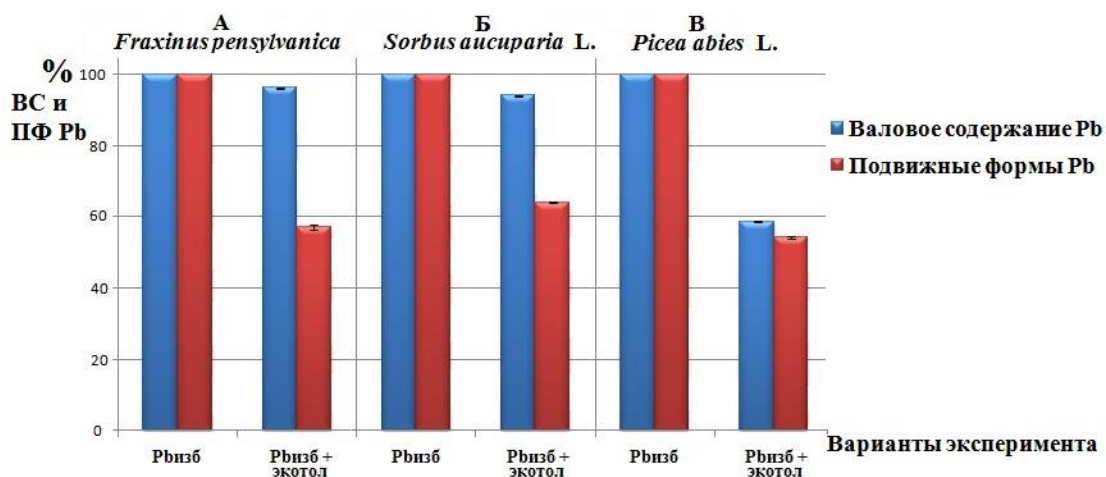


Рис. 3 – Валовое содержание (ВС) и подвижные формы (ПФ) свинца в почве после роста саженцев *Fraxinus pensylvanica*, *Sorbus aucuparia* L. и *Picea abies* L. *Примечание:* избыток свинца вносился в почву в виде раствора  $Pb(NO_3)_2$  в количестве 10ПДК (ПДК<sub>Pb</sub> = 32 мг/кг в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06). При избытке свинца экотол вносился в почву в объеме 10 мл на 100 г почвы (10 мл экотола содержит 24 мг сухого вещества).

Если бы подвижные формы свинца поглощались корневой системой ясеня пенсильванского и рябины обыкновенной в присутствии экотола, то это бы сказалось на валовом содержании свинца в почве, что собственно мы наблюдали в случае роста саженцев ели обыкновенной. Очевидно, значительное снижение подвижных форм свинца в почве в присутствии древесных саженцев лиственных пород, связано с усилением под действием экотола выделений органических соединений, иммобилизующих свинец, корневой системой этих растений, а возможно, и сопутствующей растениям микоризой.

Иная картина, отражающая снижение валового содержания и подвижных форм свинца в почве, наблюдалась под действием экотола после роста на ней саженцев ели обыкновенной. При избыточных дозах свинца и наличии экотола имело место снижение подвижной формы тяжелого металла на  $45,8 \pm 0,3$  %, однако при этом наблюдалось и снижение его валового содержания на  $41,4 \pm 0,2$  %.

(рис. 3. В). Значительное снижение валовой формы свинца в почве наряду с подвижной формой могло быть связано с усиленным переводом свинца в подвижные формы, сопровождаемое поглощением его корневой системой. Мы предположили, что усиленное поглощение свинца корневой системой саженцев ели обыкновенной связано с воздействием экотолоа на микоризу, которая, как показано, влияет на поглощение растением тяжелых металлов (Смит, Рид, 2012).

### **3.6. Влияние экотолоа на физиологическое состояние *Fraxinus pensylvanica* на фоне нормы и избыточных доз свинца**

Анализ физиологического состояния саженцев ясеня пенсильванского, проведенный на основе характеристик флуоресценции хлорофилла в коре молодых побегов, а также измерения активности пероксидазы и содержания белка в листьях, выявил целый ряд различий у растений, выращенных на фоне нормы и избытка свинца в почве при наличии и отсутствии экотолоа. Эти различия отражены в таблице 4, из которой следует, что избыточные дозы свинца на 14 % уменьшали фотосинтетическую активность растений. Внесенный на избыточном фоне свинца экотолоа снимал его ингибирующее воздействие. На фоне нормы свинца экотолоа также несколько увеличивал фотосинтетическую активность. Положительное влияние экотолоа на процессы фотосинтеза можно объяснить наличием в его составе меланинов, обработка которыми почвы приводит к увеличению содержания в растениях хлорофилла (Азарян, Мелконян, 2014).

При внесении экотолоа в почву на фоне ПДК свинца, экотолоа мог образовывать комплексы помимо свинца с находящимися в почве другими тяжелыми металлами, в частности цинком, являющимся активатором пероксидазы. Это могло привести к частичной инактивации фермента. Резкое стимулирующее воздействие экотолоа на пероксидазную активность (~ на 40 %) на фоне избыточных доз свинца очевидно связано с присутствием в экотолое субстратов пероксидазы, таких как хиноны, позволяющих реализовать ее антиоксидантную функцию, связанную с нейтрализацией свободных радикалов и пероксидов, образующихся под влиянием тяжелых металлов, что повышает устойчивость растений (Кобринец, 2012).

Таблица 4 – Флуоресценция хлорофилла, активность пероксидазы и количество белка в листьях ясеня пенсильванского при различном содержании свинца, наличии и отсутствии экотола в почве

Варианты опыта***	Содержание свинца в почве				Флуоресценция хлорофилла в коре побегов		Активность пероксидазы в листьях		Количество белка в листьях	
	Валовое		Подвижные формы							
	мг/кг	%	мг/кг	%	$F_v / F_m$	%	усл. ед./г сырой биомассы	%	мг белка на г сырой биомассы	%
Pb <sub>норма</sub>	30,5 ± 0,10	100	3,05 ± 0,20	100	0,733 ± 0,036	100	12,0 ± 0,05	100	18,9 ± 0,2	100
Pb <sub>норма+</sub> ЭКОТОЛ	29,7 ± 0,19	97	2,9 ± 0,14	95	0,749* ± 0,032	102,8	8,4* ± 0,01	70	21,8* ± 0,1	115
Pb <sub>изб</sub>	342,2 ± 0,31	1122	76,53 ± 0,24	2509	0,630 ± 0,040	85,9	2,2 ± 0,10	18	16,1 ± 0,2	85
Pb <sub>изб</sub> + ЭКОТОЛ	328,8 ± 0,25	1078	43,73** ± 0,30	1434	0,756** ± 0,031	103,1	16,9** ± 0,10	141	18,4** ± 0,2	97

\* отмечены статистически значимые отличия от значений контрольного варианта при  $p = 0,05$ .

\*\* отмечены статистически значимые отличия от значений варианта Pb<sub>изб</sub> при  $p = 0,05$ .

\*\*\* в данной и последующих таблицах количество внесенного свинца равнялось 1ПДК для варианта Pb<sub>норма</sub> и 10ПДК для варианта Pb<sub>изб</sub>. В вариантах Pb<sub>норма</sub> и Pb<sub>изб</sub> экотол вносился согласно предварительно подобранным концентрациям в объеме 1 мл и 10 мл на 100 г почвы соответственно.

Количественное определение общего содержания белка в листьях ясеня выявило его снижение, вызванное избыточными дозами свинца в почве. Экотол на фоне избыточной дозы свинца нивелировал отрицательный эффект тяжелого металла. Некоторое повышение содержания белка – 15 % под воздействием экотола было отмечено на фоне концентраций свинца в пределах ПДК. Увеличение содержания белка под действием экотола мы объясняем тем, что экотол содержит вещества, способствующие синтезу белка и ростовым процессам, например, индол.

Таким образом, анализ физиологических параметров древесных саженцев лиственной породы ясеня пенсильванского продемонстрировал положительный эффект от внесения экотола в загрязненную свинцом почву.

Похожая картина наблюдалась при воздействии экотола в опытах с саженцами рябины обыкновенной.

### 3.7. Влияние экотола на содержание свинца в хвое и корнях *Picea abies* L. и на микоризацию корневой системы

Для подтверждения того, что экотол способствовал поглощению свинца корневой системой саженцев ели обыкновенной, потребовались опыты по определению содержания свинца в самих растениях, которые подтвердили, что экотол в данном случае способствовал поглощению тяжелого металла.

Результаты анализа содержания свинца в поверхностном слое почвы, в корнях и хвое саженцев ели обыкновенной представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Содержание свинца в почве и еловых саженцах при наличии и отсутствии экотола

Варианты	Содержание свинца в почве				Содержание свинца в ели			
	Валовое**		Подвижные формы		В корнях		В хвое	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
Pb <sub>норма</sub>	65,2 ± 0,35	100	27,9 ± 0,15	100	—	-	—	-
Pb <sub>норма</sub> + ЭКОТОЛ	64,5 ± 0,24	98,9	25,7 ± 0,20	92,1	—	-	—	-
Pb <sub>изб</sub>	597,7 ± 0,41	100	334,6 ± 0,30	100	24,2 ± 0,02	100	0,67 ± 0,01	100
Pb <sub>изб</sub> + ЭКОТОЛ	356,7* ± 0,32	59,7	184* ± 0,33	55,0	527,8* ± 0,06	2181	1,10* ± 0,05	164,2

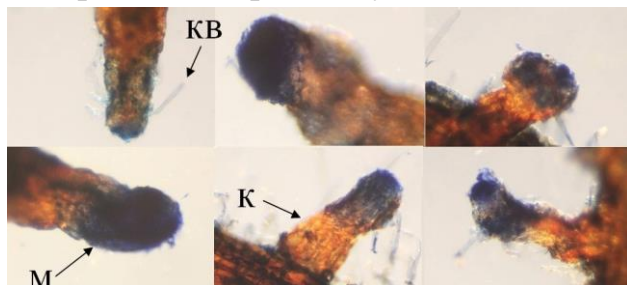
\*отмечены статистически значимые отличия от значений варианта Pb<sub>изб</sub> при p = 0,05.

\*\* норма и избыточная доза свинца рассчитывались на весь объем почвы 5 кг и были внесены в почву вегетационного сосуда в виде раствора нитрата свинца. Содержание тяжелого металла, вносимого в почву как избыток свинца, составляло 1565,5 мг из расчета 320 мг Pb/кг почвы с учетом фоновой концентрации. Почвенный образец для анализа валового содержания и подвижных форм свинца был отобран с глубины 7-8 см. С этой же глубины отбирались корни.

Как видно из таблицы 5, на фоне избытка свинца и наличия экотола содержание тяжелого металла в корнях ели было на 2081 % больше по сравнению с вариантом без экотола. В хвое ели содержание свинца при его избытке в почве и при наличии экотола было на 64,2 % выше, чем при отсутствии экотола.

Для объяснения наблюдаемой картины была рассмотрена система: корни-микориза путем анализа плотности корневых окончаний (микоризованных и

немикоризованных) на корнях саженцев ели и плотности микориз, находящихся с корневыми окончаниями в симбиозе, в условиях различной концентрации свинца и внесения экотол. На рисунке 4 представлены типичные корневые окончания, содержащие окрашенную анилиновым синим микоризу.



Обозначения: *K* – короткие боковые корни; *KB* – корневые волоски; *M* – корневое окончание, покрытое сплетением грибных гиф (микориза).

Рис. 4 – Окрашенные анилиновым синим микоризованные корневые окончания саженцев *Picea abies* L. (увеличение 100×)

Результаты анализа плотности корневых окончаний, плотности микориз и интенсивности микоризации корневой системы саженцев ели обыкновенной представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Плотность корневых окончаний, плотность микориз и интенсивность микоризации корневой системы саженцев ели на фоне различных концентраций свинца и экотол в почве

Варианты	Плотность корневых окончаний		Плотность микориз*		Интенсивность микоризации, %
	на 10 см корней, шт.	%	на 10 см корней, шт.	%	
Pb <sub>норма</sub>	78,8 ± 3,2	100	13,2 ± 1,4	100	16,8
Pb <sub>норма</sub> + ЭКОТОЛ	131,6 ± 2,2	167	21,6 ± 1,9	164	16,4
Pb <sub>изб</sub>	80,4 ± 1,9	102	14,0 ± 2,1	106	17,4
Pb <sub>изб</sub> + ЭКОТОЛ	87,2 ± 4,2	111	29,2 ± 3,1	221	33,5

\* при анализе количественных параметров эктомикориз нами не были обнаружены сложные микоризы, состоящие из двух и более микоризных окончаний, поэтому в данном случае количество микориз равняется количеству микоризных окончаний.

Экотол на фоне избыточных доз свинца, мало влияя на плотность корневых окончаний, значительно увеличивал плотность микориз и соответственно интенсивность микоризации увеличивалась в 1,9 раза по сравнению с вариантом, где на фоне избытка свинца экотол не было. Возрастание интенсивности микоризации корней ели под действием экотол на фоне избытка свинца

приводит к увеличению поглотительной способности свинца системой: корень – эктомикориза. Влияние экотола на микоризацию корней ели может быть объяснено наличием в его составе меланинов, обладающих ауксиноподобным действием (Тоноян и др., 2010; Тараканов, 2011; Ермошин и др., 2013).

Полученные нами данные и обширный литературный материал по микоризному симбиозу (Смит, Рид, 2012 и целый ряд других работ) позволяют утверждать, что наблюдаемое в присутствии экотола существенное снижение подвижных форм свинца при его практически неизменном валовом содержании в почвах после роста на них саженцев ясеня пенсильванского и рябины обыкновенной связано с активацией защитных механизмов по отношению к тяжелому металлу арбускулярно-микоризным грибом, присущим листовенным породам. Показано, что данный тип микоризы способен наряду с корневой системой выделять органические кислоты, хелатирующие свинец, т.е. реализуется механизм, при котором связывание тяжелого металла происходит вне растения. Снижение валового содержания и подвижных форм свинца в почвах после роста на них саженцев ели обусловлено активацией эктомикоризным грибом, свойственного хвойным породам, поступления тяжелого металла внутрь корня, под действием гиф микоризного гриба, которые оплетают корневую систему и находятся внутри корня, т.е. реализуется иной механизм взаимодействия микоризы с тяжелым металлом – практически неэффективный для растений.

## ВЫВОДЫ

1. Впервые было показано, что экотол, полученный в результате биотехнологической конверсии соломы пшеницы, содержит биогенные амины и их предшественники, являющиеся в организмах внутриклеточными регуляторами и сигнальными веществами.
2. Впервые было обнаружено в экотоле наличие меланиновых пигментов, для которых характерна сорбция тяжелых металлов, антиоксидантная активность и другие протекторные свойства, а также фитостимулирующая активность.
3. Впервые установлено, что использование экотола в условиях засухи оказывает благоприятное воздействие на ростовые процессы древесных саженцев.

4. Сопоставление характеристик физиологического состояния древесных саженцев лиственных пород с данными по иммобилизации избыточных доз свинца в почве под действием экотолоа, выявило положительное его влияние на молодые растения в условиях загрязнения почв тяжелым металлом.
5. Различное воздействие экотолоа на поглотительную способность свинца корневой системой древесных саженцев лиственных пород и хвойной – ели, определяется несходством типов грибного симбионта этих древесных пород.
6. Рекомендуется внесение экотолоа в почву при посадке и дальнейшем содержании лиственных древесных пород в условиях города.
7. При выращивании саженцев *Picea abies* L. в условиях питомника, что подразумевает наличие в почве тяжелых металлов в пределах ПДК, экотоло также окажет положительное воздействие, т.к. будет способствовать росту корней и их микоризации.

#### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Карташова, Е.Р. Восстановление деградированных почв с позиции биополитики / Е.Р. Карташова, С.Д. Терешкина, Н.В. Фитискина // Биополитика и Россия: избранные сообщения – тезисы. Биополитика. Открытый междисциплинарный семинар на Биол. ф-те МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: МГУ, 2010. С. 24-28.
2. Сохранение свойств экотолоа и способностей его воздействия на растения во временном аспекте / Е.Р. Карташова, А.В. Олескин, Т.П. Юрина, С.Д. Терешкина, Н.В. Фитискина // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы VI Московского международного конгресса. М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», 2011. Ч. 2. С. 37-38.
3. Карташова, Е.Р. Возможность использования экотолоа при технологии возделывания нетрадиционных растений / Е.Р. Карташова, С.Д. Терешкина, Н.В. Фитискина // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: материалы IX Международного симпозиума. Пушино: ИФПБ, 2011. Т. III. С. 48-50.
4. Карташова, Е.Р. Экотехнологии, связанные с ремедиацией почвы и стимуляцией роста растений / Е.Р. Карташова, С.Д. Терешкина, Н.В. Фитискина // Нетрадиционное растениеводство. Селекция и генетика. Охрана био-ноосферы. Эниология. Экология и здоровье: материалы XX Межд. научного симпозиума. Симферополь: КМИНРЭЗ, 2011. С. 570-574.
5. Фитискина, Н.В. Роль симбиотической микробиоты и экотехнологий в повышении устойчивости зеленых насаждений к неблагоприятным условиям городской среды / Н.В. Фитискина, Е.Р. Карташова // Живые системы и биологическая безопасность населения: материалы IX Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых. М.: МГУПП, 2011. С. 188-191.
6. Фитискина, Н.В. Использование экотолоа для повышения экологических качеств городских почв и физиологического состояния древесных саженцев / Н.В. Фитискина, Е.Р. Карташова // Биотехнология. Взгляд в будущее: сб. трудов Межд. интернет-конференции Казань: Казанский ун-т, 2012. С. 274-281.

7. Фитискина, Н.В. Применение экотола в условиях города / Н.В. Фитискина // Окружающая среда и здоровье. Молодые ученые за устойчивое развитие страны в глобальном мире: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. мол. уч. и спец. с межд. уч. М.: МГУ, 2012. С. 328-330.
  8. Фитискина, Н.В. Роль почвенной микробиоты и экотехнологий в восстановлении городских деградированных почв / Н.В. Фитискина // Охрана био-ноосферы. Эниология. Нетрадиционное растениеводство. Экология и медицина: материалы XXI Международного симпозиума Симферополь: «Доля», 2012. С. 112-116.
  9. Карташова, Е.Р. Влияние экотола на физиологическое состояние древесных саженцев различной устойчивости к антропогенным воздействиям в условиях избытка свинца в почве / Е.Р. Карташова, Н.В. Фитискина // Инновационные направления современной физиологии растений: тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием. М., 2013. С. 281.
  10. Карташова, Е.Р. Некоторые социально-философские аспекты экологической стратегии с позиции биополитики / Е.Р. Карташова, Н.В. Фитискина // Навстречу XXIII всемирному философскому конгрессу: философия как исследование и образ жизни: материалы докладов Международной конференции Казань, 2013. С. 170-171.
  11. **Карташова, Е.Р. Экотол и его влияние на улучшение санитарно-защитных зон промышленных предприятий / Е.Р. Карташова, Н.В. Фитискина // Экология промышленного производства. 2013. Вып. 4. С. 82-88.**
  12. Карташова, Е.Р. Экофилософское сознание общества: пути формирования / Е.Р. Карташова, Н.В. Фитискина // Российская философская газета. 2013. №11-12(85-86). С. 3.
  13. Фитискина, Н.В. Влияние экотола на засухоустойчивость растений / Н.В. Фитискина, Е.Р. Карташова, Н.Г. Лебедева // Охрана био-ноосферы. Эниология. Нетрадиционное растениеводство. Экология и медицина: материалы XXII Международного симпозиума Симферополь: КМИНРЭЗ, 2013. С. 372-374.
  14. Фитискина, Н.В. Использование биотехнологий для экологического восстановления урбанизированных почв / Н.В. Фитискина, Е.Р. Карташова, А.В. Олескин // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы VII Московского международного конгресса. М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», 2013. Ч. 2. С. 225-226.
  15. Карташова, Е.Р. Значимость экологического состояния почв для планеты Земля и человечества / Е.Р. Карташова, Н.В. Фитискина, А.В. Олескин // Охрана био-ноосферы. Нетрадиционное растениеводство. Эниология. Экология и здоровье: материалы XXIII Межд. симпозиума Симферополь: КМИНРЭЗ, 2014. С. 63-69.
  16. **Фитискина, Н.В. Воздействие экотола на древесные саженцы в условиях вегетационных опытов на фоне избыточных доз свинца / Н.В. Фитискина, Е.Р. Карташова // Экология и промышленность России. Март 2014. С. 32-35.**
  17. **Карташова, Е.Р. Полифункциональность воздействия экотола на древесные саженцы / Е.Р. Карташова, Н.В. Фитискина, А.В. Олескин // Лесной вестник. 2015. № 2. С. 58-64.**
  18. Карташова, Е.Р. Полифункциональность экотола, получаемого биотехнологическим путем из «бывшего живого» вещества растительного происхождения / Е.Р. Карташова, Н.В. Фитискина // Экологические и биологические системы. М.: МАКС Пресс, 2015. Ч. 1. С. 31-43.
  19. Фитискина, Н.В. Взаимодействие компонентов: корневая система *Picea abies* L. – микориза / Н.В. Фитискина, Е.Р. Карташова // Экологические и биологические системы. М.: МАКС Пресс, 2015. Ч. 2. С. 192-198.
  20. Экотол как источник меланиновых пигментов / Н.В. Фитискина, В.П. Курченко, В.П. Варламов, Т.П. Юрина, Е.Р. Карташова // Успехи медицинской микологии. 2016. 16. С. 259-262.
- Примечание: жирным шрифтом выделены работы, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ**



ФИТИСКИНА Надежда Викторовна (Россия)

### **Полифункциональность воздействия экотола на древесные саженцы при неблагоприятных условиях среды**

В работе проведена оценка воздействия экотола на древесные саженцы при неблагоприятных условиях среды. Поскольку экотол обладает широким спектром разнообразных химических и биохимических веществ, в том числе, синтезированных мико- и микробиотой при его биотехнологическом получении, экотолу характерна полифункциональность. Это обуславливает воздействие экотола на всю систему: **почва – растения-древесные саженцы – симбионты растений-микориза**. За счет разницы в микоризации корней хвойной породы – ели, для которой характерна эктомикориза, и микоризации лиственных древесных пород, с присущей им арбускулярной микоризой, наблюдается различие в поглощении свинца из почвы этими растениями под влиянием экотола.

Экотол, внесенный в почву, при посадке древесных саженцев лиственных пород оказывает положительное влияние на их физиологическое состояние при избытке в почве свинца и, очевидно, других тяжелых металлов, а также способствует усилению их роста при повышенных температурах в условиях засухи, что служит основой для рекомендации применения экотола при озеленении городов, включая санитарно-защитные зоны.

FITISKINA Nadezhda Victorovna (Russia)

### **Multifunctional effects of ekotol on tree seedlings under adverse environmental conditions**

In the work assessed effects of ekotol on tree seedlings under adverse environmental conditions. Since ekotol has a broad spectrum of various chemical and biochemical substances, including synthesized myco- and microflora during its biotechnological getting, ekotol characterized by multifunctionality. This causes effects of ekotol on the overall system: **the soil – plants-tree seedlings – symbionts of plants-mycorrhiza**. At the expense difference in mycorrhization roots coniferous trees – *Picea abies*, L, which is characterized by ektomycorrhiza and mycorrhization deciduous trees, with their inherent arbuscular mycorrhiza, there is a difference in the absorption of lead from the soil by these plants under the influence of ekotol.

Ekotol, introduced into the soil when planting tree seedlings deciduous trees has a positive impact on their physiological state with an excess of lead soil and, obviously, other heavy metals and contribute to their growth at high temperatures in drought conditions, that is the basis for recommendations ekotol application at planting cities, including sanitary protection zones.