

ФАИЗОВА ЛЕНА ИХСАНОВНА

**ОСОБЕННОСТИ МИКОРИЗООБРАЗОВАНИЯ  
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)  
НА ОТВАЛАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
(ПРЕДУРАЛЬЕ И ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Специальность: 03.02.08 – Экология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Работа выполнена на кафедре биологии ФГБОУ ВПО «Елецкий государственный университет им.И.А.Бунина» и в лаборатории лесоведения Учреждения Российской академии наук Института биологии Уфимского научного центра РАН

Научный руководитель: доктор биологических наук, доцент  
Зайцев Глеб Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор  
Янбаев Юлай Аглямович

кандидат биологических наук  
Веселкин Денис Васильевич

Ведущая организация: Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург

Защита состоится « 30 » марта 2012 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 002.136.01 при Учреждении Российской академии наук Института биологии Уфимского научного центра РАН по адресу: 450054, г.Уфа, Проспект Октября, 69. Тел./факс (347) 235-53-62. E-mail: ib@anrb.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии наук Института биологии УНЦ РАН, с авторефератом – в сети Интернет по адресу <http://www.anrb.ru/inbio/dissovet/index.htm> и на сайте ВАК Минобрнауки РФ.

Автореферат разослан « 28 » февраля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук, доцент



Р.В. Уразгильдин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время в связи с рекультивацией земель, нарушенных промышленностью, возникла необходимость изучения микотрофности в данных условиях, так как несомненно, что микориза как один из факторов, благоприятно влияющих на формировании естественных и искусственных фитоценозов в условиях произрастания на нарушенных территориях.

Исследование реакции микориз на техногенное воздействие представляет значительный теоретический и практический интерес, так как микоризы являются активной поглощающей частью корневой системы деревьев и их повреждение может рассматриваться в качестве одной из ведущих причин деградации лесов (Reich et al., 1985; Веселкин, 1999, 2002, 2004; и др.).

На сегодняшний день имеется ряд работ о влиянии атмосферного загрязнения на микотрофность растений (Stroo et al., 1988; Leyval et al., 1997; Ярмишко, 1987, 1990, 1997; Веселкин, 1999, 2002, 2004). Однако изменения строения эктомикориз, обусловленные воздействием загрязняющих веществ бурогоугольных и медно-колчеданных промышленных отвалов практически не изучены.

**Цель и задачи исследований.** Цель работы – изучение особенностей микоризообразования сосны обыкновенной при произрастании на отвалах горнодобывающей промышленности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить анатомические особенности строения эктомикориз сосны обыкновенной в естественных и техногенно нарушенных местообитаниях;
2. Изучить особенности строения поглощающих корней сосны обыкновенной в условиях техногенеза;
3. Оценить адаптивные изменения эктомикориз сосны обыкновенной при произрастании на отвалах горнодобывающей промышленности.

**Научная новизна** работы состоит в том, что впервые дана комплексная характеристика эктомикориз сосны обыкновенной при произрастании на отвалах горнодобывающей промышленности в Республике Башкортостан. Получены количественные данные, характеризующие анатомические особенности эктомикориз сосны обыкновенной в условиях техногенеза.

На защиту выносятся следующие **положения**:

1. На отвалах горнодобывающей промышленности отмечается увеличение интенсивности микоризообразования сосны обыкновенной на фоне снижения разнообразия микоризных чехлов.
2. При произрастании сосны обыкновенной на отвалах горнодобывающей промышленности отмечается увеличение доли бесструктурных чехлов и нарушений в анатомическом строении микориз и поглощающих корней.

**Практическая значимость работы** состоит в возможности использования результатов исследования для повышения устойчивости сосновых насаждений к техногенным воздействиям и создания высокопродуктивных насаждений сосны методом искусственной микоризации.

**Личный вклад автора.** Автором самостоятельно выполнены постановка цели и основных задач диссертационной работы, выбраны и обоснованы методы исследований. Сбор полевого материала и его обработка проводился совместно с сотрудниками кафедры биологии Елецкого государственного университета им.И.А.Бунина и лаборатории лесоведения Института биологии Уфимского научного центра РАН. Автором лично выполнена математическая обработка, анализ и обобщение полученных результатов. Подготовка к печати научных работ, отражающих результаты диссертации, осуществлялась самостоятельно или при участии соавторов.

**Организация исследований.** Отдельные этапы работы выполнялись при поддержке Гранта РФФИ №08-04-97017 «Восстановление и формирование лесных экосистем в критических ландшафтах Башкортостана», Гранта по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие», проект «Лесная рекультивация отвалов горно-добывающей промышленности: восстановление биологического разнообразия и продуктивности», Гранта «Адаптивный потенциал и устойчивость древесных растений в техногенных условиях» (Аналитическая ведомственная целевая программа МОН РФ «Развитие научного потенциала высшей школы», регистрационный номер: 2.1.1/11330).

**Апробация работы.** Результаты исследования были представлены на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы дендрэкологии и адаптации растений» (Уфа, 2009), Всероссийской научной конференции с международным участием «Устойчивость экосистем: теория и практика» (Чебоксары, 2010), V Всероссийской научно-практической конференции «Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий» (Оренбург, 2010), XV международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск, 2010), Международной конференции «Антропогенная трансформация природной среды» (Пермь, 2010), II Всероссийской заочной научно-практической конференции, посвященной столетию ПГСГА «Эколого-географические проблемы регионов России» (Самара, 2010), Международной научно-практической конференции «Современные проблемы биологии и экологии» (Махачкала, 2010), XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Ломоносов – 2010 (Москва, 2010), молодежной научной конференции «Актуальные проблемы экологии Волжского бассейна» (Тольятти, 2011), II Научно-практической конференции с международным участием «Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий» (Нижевартовск, 2011).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы (из 124 наименований, из них 12 на иностранном языке) и приложений. Работа изложена на 122 страницах машинописного текста, включая 33 рисунков, 12 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Обоснована актуальность темы, изложены цель и задачи исследований, показана научная новизна и практическая значимость работы.

### ГЛАВА 1. РОСТ И РАЗВИТИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Выполнен обзор работ отечественных и зарубежных авторов по теме диссертационной работы. Рассмотрены общие вопросы влияния промышленного загрязнения на древесные растения (Красинский, 1937; Ситникова, 1966; Порохневич, Калишевич, 1969; Антипов, 1970; Кулагин, 1974; Илькун, 1978 Николаевский, 1979 и др.). Рассмотрены функциональные и морфологические особенности микориз (Харли, 1963; Лобанов, 1971; Селиванов, 1981; Бигон и др., 1989; Danielson, Pruden, 1989; Коваленко, 1992; Каратыгин, 1993), и особенности микоризации растений в условиях техногенных нагрузок (Шубин, 1973; Чибрик, 1985; Ярмишко, 1987; Веселкин, 1999).

### ГЛАВА 2 ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

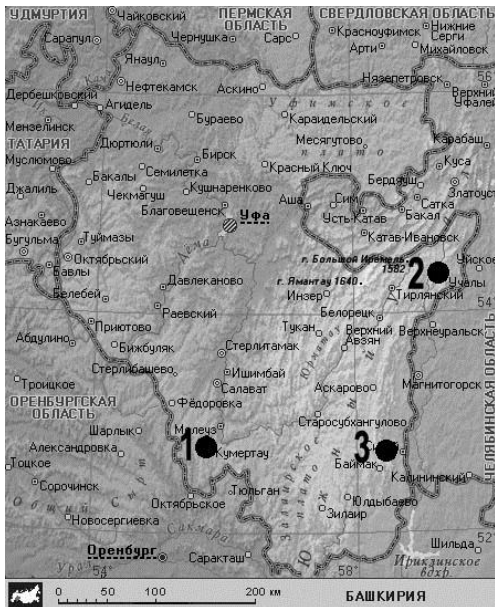


Рис.1. Карта-схема расположения районов проведения научно-исследовательских работ

На основе литературных данных и собственных исследований приведена краткая физико-географическая характеристика района исследования: приводится описание рельефа, климата, почв и растительности. Изучение особенностей микоризообразования сосны обыкновенно проводили на отвалах горнодобывающей промышленности в Предуралье и на Южном Урале (рис.1): 1 – отвалы Кумертауского буроугольного разреза; 2 – отвалы Учалинского горно-обогатительного комбината; 3 – отвалы

Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината.

### ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА РАБОТЫ

По данным отечественных и иностранных исследователей приведена эколого-биологическая характеристика объекта исследования- сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Выбор участков отбора проб проводился с учетом известных и общепринятых методических подходов (Сукачев, 1966). Пробные участки, где проводился отбор проб, закладывались с использованием почвенных карт, с учетом господствующих ветров, рельефа местности, возраста и фаз развития растений, удаленности от автодорог (более чем на 300 м). Пробные площади закладывались в насаждениях сосны обыкновенной, расположенных на отвалах горнодобывающей промышленности и в насаждениях вне отвалов («условный контроль»). Сбор материалов для изучения анатомического строения корней и особенностей микоризообразования в условиях промышленных отвалов проводился на территории Кумертауского бурогольного разреза (КБР), Учалинского горно-обогатительного комбината (УГОК) и на отвалах Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината (СФ УГОК), на заложенных пробных площадях.

На пробных площадях проведен таксационный учет всех деревьев сосны обыкновенной. Высота деревьев замерялась высотомером Haglof Electronic Clinometer (Haglof, Sweden) с точностью до 0,1 м, диаметр определялся на высоте 1,3 м мерной вилкой Mantax Precision Blue MA 800 (Haglof, Sweden) с точностью до 0,5 см.

Оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) насаждений лиственницы Сукачева проводилась по методике В.А.Алексеева (1990). Учитывались таксационные показатели древостоя, густота кроны, наличие мертвых сучьев, состояние хвои.

Почвенные исследования проводились по общепринятым методикам (Агрохимические методы..., 1975). Определялись основные агрохимические показатели почв на глубине 0-20 см (рН, содержание гумуса, общего азота, валового фосфора ( $P_2O_5$ ), валового калия ( $K_2O_5$ ), сумма поглощенных оснований).

Для того чтобы изучить анатомо-морфологическую структуру микориз и поглощающих корней, предварительно, изучаемый материал фиксировали в фиксирующих растворах (фиксаторах) (Яценко-Хмелевский, 1961; Барыкина, 1963).

Отбор образцов корневых систем проводили в конце вегетационного периода, образцы отбирались с глубины 0-20 см и фиксировали в этиловом спирте.

Поперечные срезы (толщиной 10-15 мкм) поглощающих корней готовили на санном микротоме МС-2 (Точмедприбор, Россия) (Згуровская, 1958). Постоянные и временные препараты поперечных срезов около 1800 окончаний просматривали на световом микроскопе исследовательского класса с реализацией ДИК-контраста «Axio Imager A2» (Carl Zeiss Jena, Germany).

Разнообразие эктомикориз исследовали в соответствии с классификацией подтипов микоризных чехлов, изложенной в работе И.А.Селиванова (1981).

Срезы просматривали без окрашивания. Фиксировали: тип сложения грибного чехла, его толщину, общий радиус микоризного окончания, радиус корня входящего в эктомикоризу, радиус центрального цилиндра, наличие или отсутствие отмерших, темно окрашенных клеток коры корня и корневые окончания потерявшие тургор.

Из количественных характеристик развития микориз определяли интенсивность микоризации (по И.А. Селиванову, 1981), индекс разнообразия Шеннона, долю грибного чехла в объеме эктомикоризного окончания, которую рассчитывали по формуле:

$$d = \frac{r_1^2 - r_2^2}{r_1^2} \cdot 100\%$$

где  $r_1$ - общий радиус микоризного окончания (от середины центрального цилиндра до наружной кромки чехла),  $r_2$  - радиус корня растения в микоризном окончании.

Полученные данные обрабатывались общепринятыми статистическими методами (Плохинский, 1970) с применением программы Excel 7.0.

#### **ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ МИКОРИЗООБРАЗОВАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ОТВАЛАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Сосновые насаждения на отвалах КБР характеризуются как «здоровые» ( $L_v=80,6$ ). Древостой сосны, произрастающий в условном контроле, характеризуется как «здоровый». Индекс жизненного состояния составляет 93,6%. В условиях относительного контроля «здоровых» деревьев отмечено больше, чем деревьев относящихся к категории «ослабленных» и «сильно ослабленных». Характерным является также полное отсутствие деревьев категорий «отмирающие» и «сухие».

На отвалах УГОК насаждения сосны обыкновенной, по индексу ОЖС относятся к «здоровым». Не обнаружены деревья, относящиеся к категории «сильно ослабленные», «отмирающие» и «сухие». Древостой сосны, произрастающий в условном контроле, характеризуется как «здоровый». Деревьев, относящихся к категории «ослабленные» и «сильно ослабленные», зарегистрировано 25% и 9%, соответственно. В данном древостое не имеются деревья, относящиеся к категории «отмирающие» и «сухие».

Оценка ОЖС насаждений сосны обыкновенной на отвалах СФ УГОК показала, что эти насаждения относятся к категории «ослабленное» ( $L_v=60\%$ ). Индекс ОЖС насаждений сосны обыкновенной в условиях относительного контроля - 80%, т.е. насаждения относятся к категории «здоровые».

Таким образом, относительное жизненное состояние насаждений сосны обыкновенной, произрастающих в условиях относительного контроля в целом

выше по сравнению с насаждениями, произрастающих на отвалах горнодобывающей промышленности.

### **Формирование и развитие микориз сосны обыкновенной на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза**

Исследование поглощающих корней сосны обыкновенной позволило установить факт возрастания интенсивности микоризообразования сосны обыкновенной на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза. На отвалах КБР интенсивность микоризации поглощающих корней сосны достигает 85%, а в условиях относительного контроля микоризу образовали 70-75% из всех исследованных корней.

У сосны обыкновенной представлены эумицетные хальмофаговые эктомикоризы с хорошо развитым грибным чехлом и сетью Гартига. В общей сложности обнаружены микоризы с чехлами: А, В, Е, ВF, F, Н, I, К, О, Р, Q и SR. Разнообразие грибных чехлов меняется в зависимости от условий произрастания. В районе промышленных отвалов снижается богатство наборов грибных чехлов и их разнообразие, судя по значениям индекса Шеннона. В условиях контроля значение индекса 1,37, а в условиях промышленных отвалов КБР 1,31. В условиях относительного контроля доля псевдопаренхиматических чехлов (F, H, I, K, O, P, Q) составляет 50,4%, а в условиях отвалов – 41,2%. Толщина псевдопаренхиматических чехлов в условиях техногенеза увеличивается на 20 % по сравнению с фоном. В условиях отвалов толщина чехлов 22,3 мкм, а в контроле - 17,7 мкм. Плектенхиматические чехлы (А, В, Е, ВF) в условиях контроля составляют 41,6% из всех микориз, образуемых корнями. В условиях промышленных отвалов доля плектенхиматических чехлов чуть больше - 44,3%. Также наблюдается изменения в толщине чехлов данного подтипа чехлов эктомикориз: в условиях контроля показатель составляет 14 мкм, а отвалах 24,2 мкм, что выше на 42%. Доля бесструктурных чехлов (SR) на отвалах КБР 14,5%, а на относительном контроле – 8%. Толщина данных типов чехлов сильно не варьирует: 12 и 14 мкм соответственно.

Проведенные нами анатомические исследования позволили выявить различия значений размерных параметров эктомикоризных корней сосны обыкновенной в зависимости от условия произрастания. В условиях отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза наблюдается увеличение общего радиуса микоризных окончаний сосны на 6-13% – на 13-16 мкм по сравнению с контролем (рис.2А).

В условиях отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза значение радиуса корня равно  $164,3 \pm 7$  мкм, а в условиях относительного контроля –  $153,7 \pm 9$  мкм, что ниже по сравнению с загрязнением на 7% (рис.2Б).



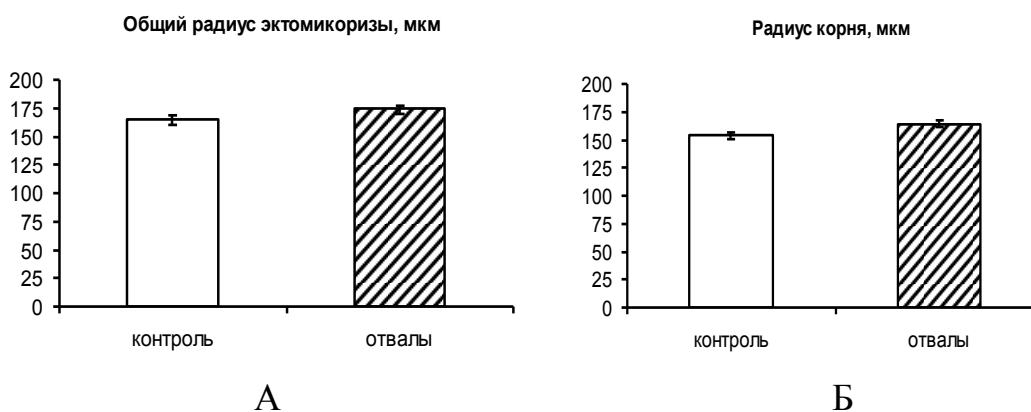


Рис.2. Общий радиус эктомикоризы (А) и радиус корня в эктомикоризе (Б) сосны обыкновенной в условиях отвалов КБР

Радиус центрального цилиндра корня не меняется в зависимости от условий произрастания сосны обыкновенной. Средний радиус центрального цилиндра в условиях Кумертауского буроугольного разреза и в условиях относительного контроля 65-68 мкм (рис. 3А).

По результатам исследований установлены различия и в толщине микоризного чехла. Средняя толщина грибного чехла у всех исследованных объектов при произрастании на отвалах Кумертауского буроугольного разреза увеличивается (рис.3А). На буроугольных отвалах толщина микоризного чехла 17-18 мкм, а в условиях относительного контроля – 10-12 мкм (рис. 3Б).

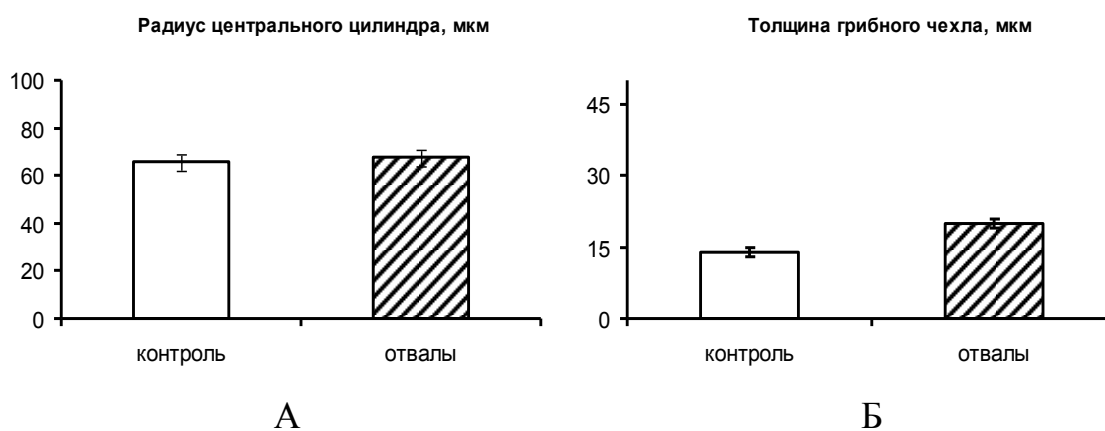


Рис. 3. Радиус центрального цилиндра корня (А) и толщина грибного чехла эктомикоризы (Б) сосны обыкновенной на отвалах КБР

Характеристикой, которая позволяет сравнить степень техногенной трансформации размеров собственно корня и грибного чехла, является доля чехла в общем объеме микоризного окончания. Исследования показали, что у сосны обыкновенной на отвалах КБР она составляет 23,1%, а в условиях контроля - 22,1%.

У большинства микориз на отвалах КБР в наружных слоях коры корня встречаются таниновые клетки. На отвалах примерно у 14% микориз клетки всех слоев коры корня утратили тургор, а около 8% микориз имеют на разрезе

форму многолучевой звезды, то есть характеризуются глубокой потерей тургора клеток коры корня.

### **Формирование и развитие микориз сосны обыкновенной на отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината**

Изучение особенностей микоризообразования сосны обыкновенной в неогенных условиях промышленных отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината позволило выявить особенность интенсификации микориз поглощающих корней. Так, если в условиях относительного контроля микоризовано 73% из всех исследованных корней, то на отвалах УГОК микоризовано 85% поглощающих корней сосны обыкновенной.

В условиях отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината сосна обыкновенная также образует эумицетные хальмофаговые эктомикоризы с сетью Гартига и грибным чехлом. В данном районе разнообразие грибных чехлов представлено следующими подтипами: А, В, ВF, F, Н, I, К, L, О, SR. Разнообразие грибных чехлов в условиях промышленных отвалов ниже по сравнению с относительным контролем. Индекс разнообразия Шеннона в условиях промышленных отвалов составляет 0,85, при относительном контроле 1,15. В условиях контроля доля псевдопаренхиматических чехлов составляет (F, H, I, K, L, O) 54,4%, в условиях отвалов доля псевдопаренхиматических чехлов ниже на 8-9% и составляет 45,7% из всех эктомикориз корня сосны. Толщина данного подтипа чехлов зависит от условий произрастания растения. В техногенных условиях роста они становятся толще, и составляют в среднем 29,6 мкм, а в условиях относительного контроля толщина чехлов 20,7 мкм. Доля плектенхиматических чехлов (А, В, ВF) корней сосны обыкновенной на данном отвале и относительном контроле сильно не отличаются. В условиях промышленных отвалов доля данного типа чехлов 34,9%, а в условиях контроля 33,4%. Однако меняется толщина данного типа грибных чехлов в зависимости от условий произрастания. В условиях относительного контроля толщина плектенхиматических чехлов в среднем 16,2 мкм, а в условиях отвалов УГОК 25,4 мкм.

Подтип SR, характеризующий бесструктурные грибные чехлы эктомикориз, составляют 19,4% из всех изученных корней в условиях отвалов УГОК. В относительном контроле доля такого типа чехлов ниже на 7-8%, и составляет 12,2%. Толщина грибных чехлов подтипа SR в зависимости от условий среды сильно не отличается: так, если в относительном контроле толщина грибных чехлов 14,2 мкм, то на отвалах УГОК 16,8 мкм.

Исследование влияния загрязнения отвалов УГОК на анатомическое строение эктомикоризы сосны обыкновенной произрастающей показало следующие результаты. В условиях медно-колчеданных отвалов наблюдается увеличение общего радиуса микоризных окончаний сосны на 12-17% (на 13-28 мкм) по сравнению с контролем. Общий радиус эктомикоризы сосны, произрастающей на отвалах УГОК,  $190,0 \pm 3$  мкм, в условиях относительного контроля –  $172,7 \pm 5$  мкм (рис. 4А).

В условиях отвалов УГОК радиус корня входящего в состав эктомикоризы  $169,3 \pm 5$  мкм. В условиях относительного контроля этот показатель снижается до  $155,2 \pm 4$  мкм, что показывает увеличение радиуса корня в условиях загрязнения на 13-15 мкм (рис. 4Б).

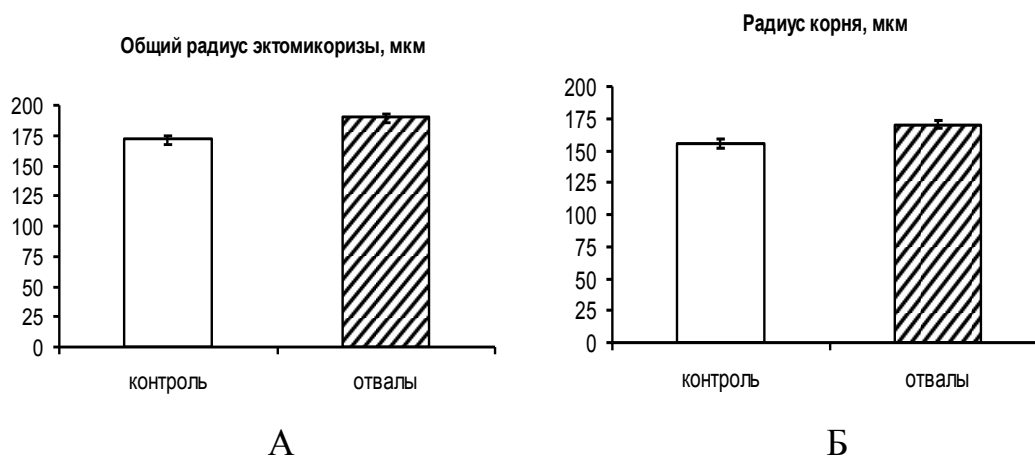


Рис.4. Общий радиус эктомикоризы (А) и радиус корня в эктомикоризе (Б) сосны обыкновенной на отвалах УГОК

Анатомическое исследование поглощающих корней сосны обыкновенной на отвалах УГОК и в относительном контроле позволило выявить размерное постоянство центрального цилиндра корня (71-75 мкм) (рис.5А).

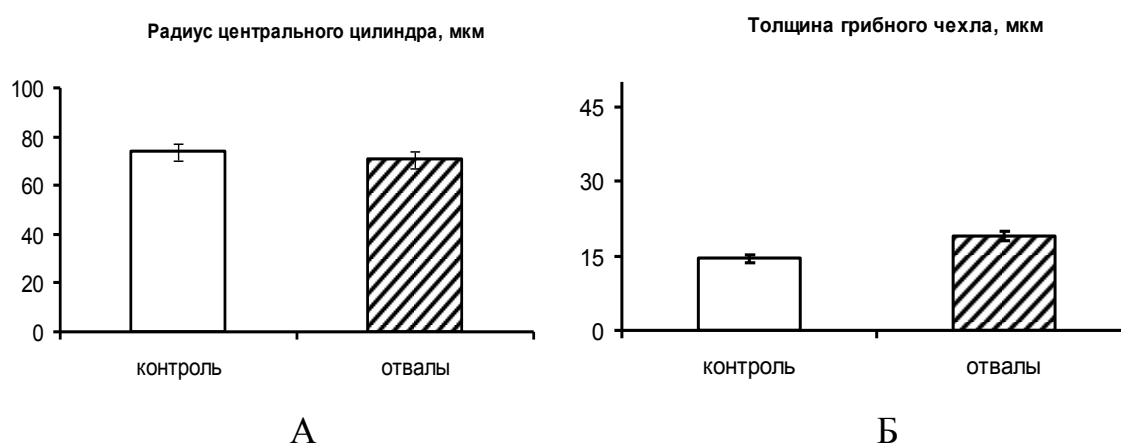


Рис. 5. Радиус центрального цилиндра корня (А) и толщина грибного чехла эктомикоризы (Б) сосны обыкновенной на отвалах УГОК

Особенности анатомического строения симбиотического корня зависят от микоризного чехла. Толщина грибного чехла меняется в зависимости от условий произрастания. В условиях отвалов УГОК данный показатель увеличивается на 8-10 мкм. В условиях промышленных отвалов она составляет 24-25 мкм, а в относительном контроле – 16-17 мкм (рис. 5Б).

Показателем техногенной трансформации размеров собственно корня и грибного чехла является доля чехла в общем объеме микоризного окончания. Исследования показали, что у сосны обыкновенной на отвалах УГОК доля грибного чехла эктомикоризы составляет 21,8%, а в условиях контроля – 17,8 %.

В условиях промышленных отвалов УГОК количество корней с танниновыми клетками в наружных слоях коры корня. На отвалах примерно 20% микориз клетки всех слоев коры корня утратили тургор, а около 5% микориз имеют на разрезе форму многолучевой звезды, то есть характеризуются глубокой потерей тургора клеток коры корня.

### **Формирование и развитие микориз сосны обыкновенной на отвалах Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината**

В древостое сосны обыкновенной на отвалах СФ УГОК интенсивность микоризации достигает 90%. В условиях относительного контроля микоризовано 76% из всех исследуемых корней.

На отвалах СФ УГОК внутреннее строение эктомикориз, как и в предыдущих случаях, является типичным эумицетно хальмофаговой. В данном районе исследования встречаются следующие типы микориз: А, В, ВF, Е, F, Н, I, К, L, О, SR. В районе промышленных отвалов разнообразие чехлов ниже по сравнению с относительным контролем. Показатель индекса Шеннона в относительном контроле 1,21, а на промышленных отвалах СФ УГОК 0,85.

Количественные признаки эктомикориз варьирует от условий произрастания. Суммарная доля чехлов псевдопаренхиматического типа (F, Н, I, К, L, О) в условиях загрязнения промышленных отвалов выше на 7-8% по сравнению с относительным контролем: на отвалах этот тип грибных чехлов составляет 32,7%, а в относительном контроле - 29,2%. Выявлена зависимость толщины псевдопаренхиматических чехлов от условий роста сосны обыкновенной: на промышленных отвалах это показатель выше на 34%. Так, если в относительном контроле толщина грибных чехлов данного типа 15,6 мкм, то на промышленных отвалах – 24 мкм.

Доля плектенхиматического типа чехлов (А, В, ВF, Е) в условиях относительного контроля составляет 55,3%, в условиях загрязнения отвалов СФ УГОК на 15% ниже (40,1%). Толщина данного типа чехлов эктомикориз варьирует в зависимости от условий произрастания сосны обыкновенной. На промышленных отвалах толщина плектенхиматических чехлов 20,6 мкм. На относительном контроле толщина таких типов чехлов 13,5 мкм, т.е. на 35% толще.

Доля бесструктурных типов чехлов (SR) на отвалах СФ УГОК составило 27,2%, а в условиях контроля 15,5% из всех изученных корней сосны обыкновенной. Толщина грибных чехлов подтипа SR в условиях техногенных отвалов 15 мкм, а в условиях относительного контроля сравнительно ниже (11,1 мкм).

Анатомические исследования, проведенные на медно-колчеданных отвалах Сибайского филиала УГОК показали увеличение абсолютных параметров (в мкм) эктомикоризы сосны обыкновенной. Наблюдается увеличение радиуса эктомикоризного окончания в условиях промышленных отвалов СФ УГОК. Общий радиус эктомикоризы здесь  $170,2 \pm 4$  мкм. В

условиях относительного контроля этот же показатель составляет  $144,1 \pm 5$  мкм (ниже на 15-20%) (рис. 6А.).

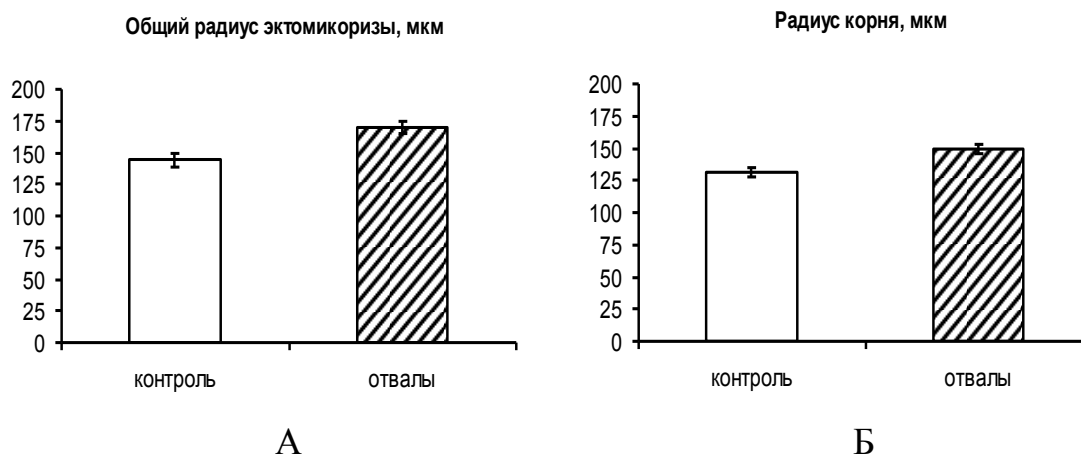


Рис. 6. Общий радиус эктомикоризы (А) и радиус корня в эктомикоризе (Б) сосны обыкновенной на отвалах СФ УГОК

На медно-колчеданных отвалах Сибайского филиала УГОК радиус корня, входящего в состав эктомикоризы составляет  $149,1 \pm 5$  мкм, в условиях относительного контроля –  $130,8 \pm 6$  мкм (рис. 6Б).

Изучение размерных параметров поглощающих корней сосны обыкновенной позволило выяснить, что радиус центрального цилиндра корня не зависит от условий произрастания сосны обыкновенной. Средний радиус центрального цилиндра при условиях контроля и на отвалах изменяется в пределах 58-63 мкм (рис.7А).

Исследование корней сосны обыкновенной произрастающей на медно-колчеданных отвалах СФ УГОК позволило установить следующие данные по размерным параметрам грибного чехла, оплетающего корень. В условиях отвального загрязнения его толщина составляет 19,4 мкм, а в условиях относительного контроля-  $14,5$  мкм (рис. 7Б.).

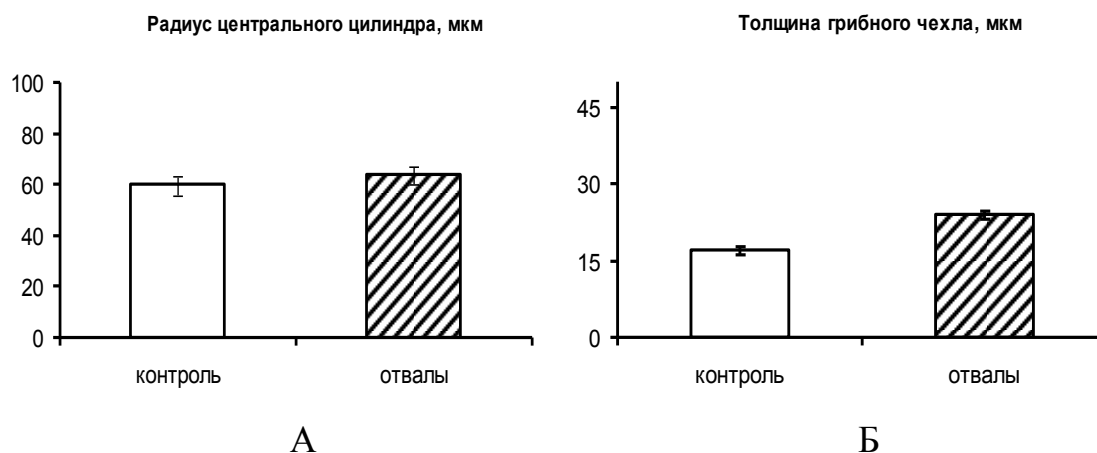


Рис. 7. Радиус центрального цилиндра корня (А) и толщина грибного чехла эктомикоризы (Б) сосны обыкновенной на отвалах СФ УГОК

В условиях отвалов СФ УГОК доля чехла в эктомикоризе составляет 23,7%, а в условиях контроля- 15,9%, т.е при загрязнении доля чехла в эктомикоризе увеличивается на 8%.

Анатомическое исследование срезов корней сосны обыкновенной позволили выявить различия в анатомическом строении корней в зависимости от условий произрастания. В условиях промышленного загрязнения увеличивается количество корней неправильной формы с отмершими и отмирающими клетками коры корня, с поврежденной микоризой. Доля корней утерявших тургор, в условиях загрязнения составляет 30%, а в контроле 17%. Количество корней имеющих на срезе форму многолучевой звезды в условиях медно-колчеданных отвалов достигает 15%, а в контрольных условиях не превышает 8% из всех исследуемых корней.

## **ГЛАВА 5. АДАПТАЦИЯ МИКОРИЗ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ПРОИЗРАСТАНИИ НА ОТВАЛАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**

В результате проведения исследований установлена зависимость ряда анатомо-морфологических параметров микориз от агрохимических свойств почв (рис.8).

Наиболее тесная связь отмечается с содержанием кальция в почве: с интенсивностью микоризообразования ( $r=0,7$ ), со значениями общего радиуса корня ( $r=0,65$ ), с толщиной микоризного чехла ( $r=0,73$ ), со значениями доли микоризных чехлов в общем радиусе корня ( $r=0,7$ ). Чем ниже содержание кальция в почвогрунтах, тем выше значения данных характеристик.

Кроме того отмечается высокая связь размерных параметров микориз с содержанием калия в почве: установлена тесная связь со значениями общего радиуса корня ( $r=0,94$ ), толщины микоризного чехла калия ( $r=0,70$ ) и значениями доли микоризных чехлов в общем радиусе корня ( $r=0,70$ ). Как и в случае с содержанием кальция в почвогрунтах, чем ниже содержание калия, тем выше значения данных характеристик.

Третий параметр почвогрунтов, с которым связаны ряд характеристик микориз является содержание фосфора. Установлена тесная связь значений толщины микоризного чехла ( $r=0,72$ ) и значений общего радиуса корня ( $r=0,61$ ) с содержанием фосфора в почвогрунтах – чем меньше фосфора в почвогрунтах, тем выше данные параметры.

Во всех исследуемых точках не обнаружена взаимосвязь размерных характеристик микориз с актуальной и гидrolитической кислотностью почв.

Установлена наиболее высокая связь содержания подвижного азота в почвогрунтах со значениями толщины микоризных чехлов ( $r=0,20$ ) и значений доли микоризных чехлов в общем радиусе корня ( $r=0,37$ ), взаимосвязь с остальными характеристиками микориз слабая.

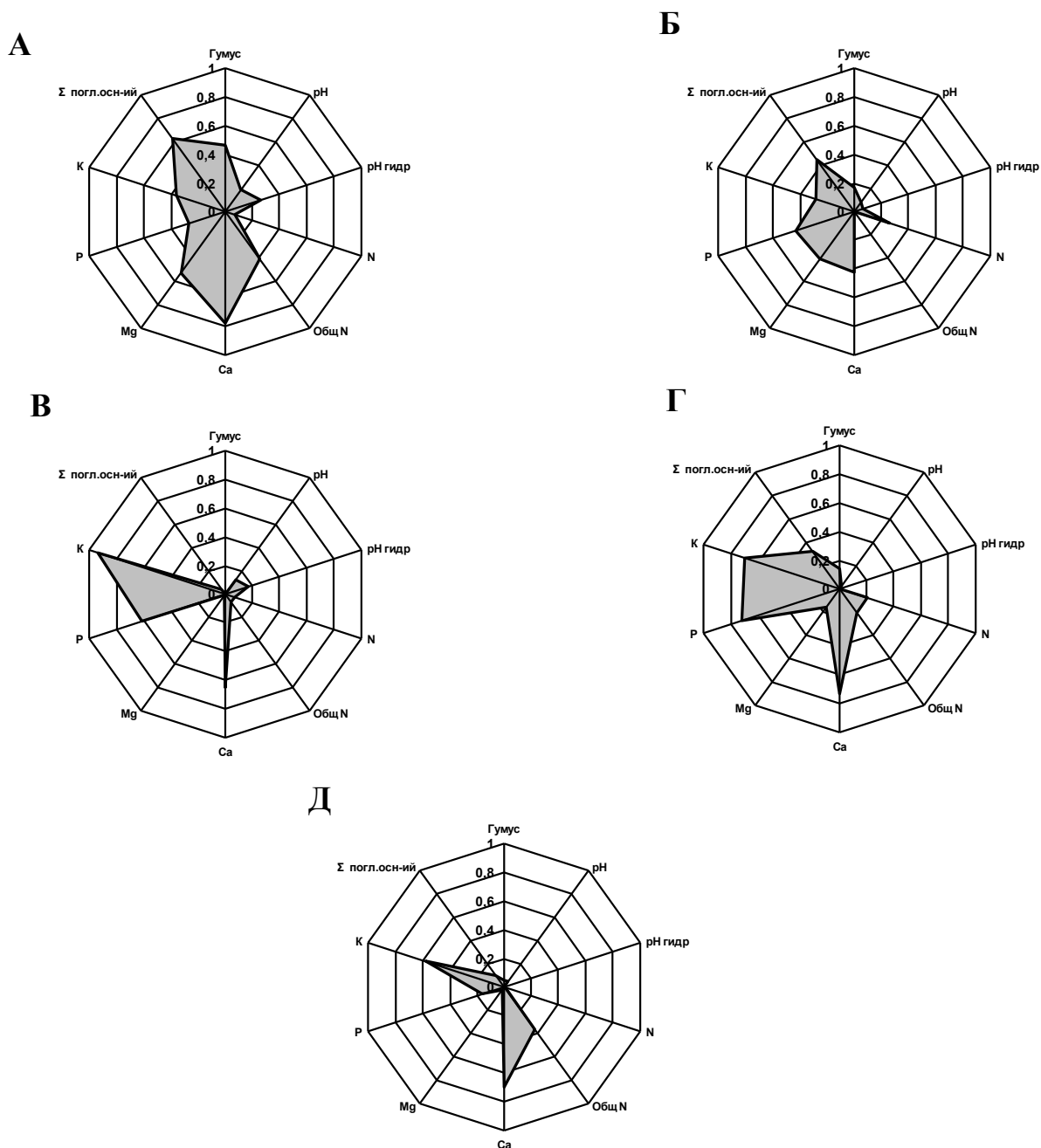


Рис.8. Зависимость ( $r$ ) размерных показателей микориз сосны обыкновенной от агрохимических свойств почвогрунтов: А – интенсивность микоризации, Б – индекс Шеннона, В – общий радиус корня, Г – толщина микоризных чехлов, Д – доля микоризных чехлов в общем радиусе корня

Анализ анатомического строения поглощающих корней сосны обыкновенной в условиях промышленных отвалов выявил некоторые изменения между контрольными и опытными образцами.

Исследования размерных признаков эктомикориз дали следующие результаты: при отвальном загрязнении окружающей среды наблюдается увеличение общего радиуса микоризных окончаний на 11-21% по сравнению с относительным контролем.

Изменение абсолютных (в мкм) поперечных размеров эктомикоризных окончаний прежде всего обусловлено изменением размеров корней растения, входящих в их состав. На отвалах горнодобывающей промышленности средний радиус корня увеличивается на 16-18% по сравнению с контролем.

Средняя толщина грибного чехла эктомикоризных окончаний у сосны обыкновенной произрастающей на отвалах возрастает на 27-45% по сравнению с относительным контролем.

Доля чехла в общем объеме микоризного корня является показателем степени техногенной трансформации размеров собственно корня и грибного чехла. В условиях промышленных отвалов этот показатель увеличивается на 1-8% по сравнению с относительным контролем. Следует отметить, что в условиях Кумертауского бурогоугольного разреза показатель доли чехла в общем корне увеличивается только на 1%.

В условиях промышленных отвалов микоризовано в среднем 83-90% из всех исследуемых корней при данных условиях. В условиях относительного контроля микоризу образовали 73-78% поглощающих корней сосны обыкновенной.

Следует отметить, что в условиях медно-колчеданных отвалов Сибайского филиала УГОК интенсивность микоризации корней наивысшая, здесь микоризовано 90% из всех исследуемых корней.

Также следует отметить, что в условиях загрязнения проявляются и другие анатомические особенности эктомикориз сосны обыкновенной: отмечаются признаки повреждения корней, увеличение количества корней, утерявших тургоросцентное состояние (рис.9), возрастание встречаемости отмерших клеток в корнях (число которых отрицательно коррелирует с физиологической активностью эктомикориз).

Физиологические механизмы техногенно обусловленного изменения размеров корней в составе эктомикориз могут быть различны. Например, таниновые клетки, как правило, сдавлены в радиальном направлении, и, следовательно, их высокая представленность может привести к уменьшению диаметра корня. Однако, в нашем случае, увеличение диаметра корня происходит в условиях загрязнения, где встречаемость в корнях таниновых клеток увеличивается. Обилие таниновых клеток – признак, по которому можно судить о жизнеспособности корней.

Другой возможный механизм возрастания или уменьшения размеров корня – изменение числа слоев живых клеток паренхимы корня или их общего числа. Средние размеры корня напрямую зависят от количества живых клеток эндодермы корня.





Рис.9. Анатомические срезы поглощающих корней сосны обыкновенной, утеравших тургосцентное состояние

На отвалах горнодобывающей промышленности отмечается увеличение микоризных чехлов, относящихся к типу SR (бесструктурные) (рис.10).

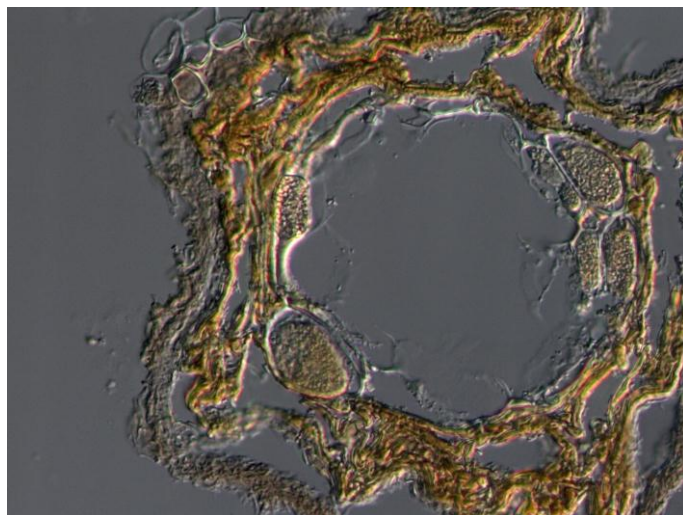


Рис.10. Микоризные чехлы сосны обыкновенной на отвалах горнодобывающей промышленности, относящиеся к типу SR (бесструктурные)

Утолщение грибного компонента симбиотической ассоциации в условиях загрязнения – возможно реакция корней на техногенез. В литературе данный феномен мало описан. Напротив, имеющиеся данные (Шкараба и др., 1991; Веселкин, 2002) свидетельствуют о снижении толщины чехлов в условиях техногенных воздействий.

## ВЫВОДЫ

1. На отвалах горнодобывающей промышленности происходит снижение индекса относительного жизненного состояния насаждений. Относительное жизненное состояние древостоя сосны обыкновенной на отвалах Кумертауского бурогольного разреза и Учалинского горно-обогажительного комбината оценивается как «здоровое», а на отвалах Сибайского филиала УГОК – как «ослабленное». В условиях относительного контроля относительное жизненное состояние древостоев сосны обыкновенной оценивается как «здоровое».

2. Впервые для отвалов горнодобывающей промышленности Республики Башкортостан получены количественные данные, характеризующие особенности анатомического строения поглощающих корней сосны обыкновенной. На отвалах увеличиваются размерные характеристики эктомикориз. Увеличивается общий радиус окончания, радиус корня входящего в состав эктомикоризы и толщина грибного чехла.

3. На отвалах горнодобывающей промышленности увеличивается количество микоризованных корней сосны обыкновенной. Наблюдается увеличение интенсивности микоризации поглощающих корней сосны обыкновенной на всех изученных отвалах.

4. На отвалах горнодобывающей промышленности увеличено количество корней с таниновыми клетками коры корня и корневых окончаний утерявших тургоросцентность и имеющих на срезе форму многолучевой звезды.

5. На отвалах горнодобывающей промышленности сосна обыкновенная образует эумицетно хальмофаговую микоризу. На отвалах разнообразие микоризных чехлов ниже по сравнению с относительным контролем. Суммарная доля чехлов псевдопаренхиматического и бесструктурного типа на отвалах выше по сравнению с относительным контролем. Толщина всех типов чехлов на отвалах увеличивается.

6. На отвалах горнодобывающей промышленности адаптация сосны обыкновенной к произрастанию в экстремальных лесорастительных условиях проявляется в увеличении степени микоризации корневых систем, в снижении разнообразии форм образуемых грибных чехлов и их толщины в зависимости от условий роста.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

### *Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

1. Фаизова Л.И., Зайцев Г.А. Особенности анатомического строения поглощающих корней хвойных в условиях промышленного загрязнения // Аграрная Россия. – 2009. – S.1. – С. 111-113.

2. Радостева Э.Р., Фаизова Л.И., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Процесс микоризации *Pinus sylvestris* L. в отвальных почвогрунтах Кумертауского

буроугольного разреза (Республика Башкортостан) // Лесной вестник. – 2011. - №3 (79). С. 55-57.

3. Фаизова Л.И., Зайцев Г.А. Исследование микоризации сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на промышленных отвалах Республики Башкортостан // Вестник Удмуртского университета. Серия 6: Биология. Науки о Земле. – 2011. - Выпуск 2. — С. 79-83.

4. Фаизова Л.И., Радостева Э.Р., Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Сравнительная характеристика анатомического строения эктомикориз *Pinus sylvestris* L. при произрастании на медно-колчеданных отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13, №1(4). – С. 930-932.

5. Фаизова Л.И., Зайцев Г.А. Микоризация сосны обыкновенной при произрастании на промышленных отвалах в Зауралье Республики Башкортостан // Вестник ОГУ. – 2011. – №4 – С.18-20.

### **Публикации в материалах конференций.**

1. Фаизова Л.И. Роль микоризообразования у сосны обыкновенной в формировании устойчивости и адаптационных реакций в различных техногенных условиях // Устойчивость экосистем: теория и практика: материалы докладов всероссийской научной конференции с международным участием. Том 2. – Чебоксары: Издательство ООО «Листок», 2010. – С.108-110.

2. Фаизова Л.И., Зайцев Г.А. Особенности формирования поглощающих корней сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях полиметаллического загрязнения (Стерлитамакский промышленный центр) // Труды Института биоресурсов и прикладной экологии. Выпуск 9: V Всероссийская научно-практическая конференция «Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий». – Оренбург, 2010. – С.147-148.

3. Фаизова Л.И. Особенности строения поглощающих корней хвойных в условиях полиметаллического типа загрязнения окружающей среды (Стерлитамакский промышленный центр, Россия) // Ломоносов- 2010: XVII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых; секция «Биология». – М., 2010. – С.320.

4. Фаизова Л.И. Экология эктомикоризы *Pinus sylvestris* L. на отвалах Кумертауского буроугольного разреза (Предуралье, Республика Башкортостан) // Материалы XV международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий». – Новосибирск: НГУ, 2010. – С.118-119.

5. Фаизова Л.И., Зайцев Г.А. Анатомическое строение эктомикориз *Pinus sylvestris* L. на отвалах Кумертауского буроугольного разреза (Предуралье, Республика Башкортостан) // Международная конференция «Антропогенная трансформация природной среды». – Пермь, 2010. – Т.3. – С.442-445.

6. Фаизова Л.И. Исследование эктомикориз *Pinus sylvestris* L. на Сибайских медно-колчеданных отвалах (Республика Башкортостан) // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы II Всероссийской

заочной научно- практической конференции, посвященной столетию ПГСГА. – Самара: ПГСГА, 2011. – С.142-143.

7. Фаизова Л.И. Оценка состояния эктомикориз *Pinus sylvestris* L. на отвалах Учалинского медно-колчеданного месторождения (Республика Башкортостан) // Экологический сборник 3: Труды молодых ученых Поволжья. – Тольятти: Кассандра, 2011. – С.240-242.

8. Фаизова Л.И. Эктомикориза сосны обыкновенной произрастающей на промышленных отвалах // Экологические проблемы промышленных городов: Сборник научных трудов. Часть 2. – Саратов, 2011. – С.157-159.

9. Фаизова Л.И. Формирование эктомикориз *Pinus sylvestris* L. на отвалах месторождений медно-колчеданных руд (Зауралье, Республика Башкортостан) // Современные проблемы биологии и экологии: Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – Махачкала, 2011. – С.391-392.

10. Фаизова Л.И. Особенности формирования эктомикоризы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях промышленных отвалов (Республика Башкортостан) // Материалы II Научно-практической конференции с международным участием «Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий». – Нижневартовск, 2011. – С.134-137.