

На правах рукописи

Мохначев Павел Евгеньевич

**ВОЗДЕЙСТВИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
НА ЖЕНСКУЮ ГЕНЕРАТИВНУЮ СИСТЕМУ И  
СЕМЕННОЕ ПОТОМСТВО СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

06.03.02 - Лесоведение и лесоводство, лесоустройство и лесная  
таксация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Екатеринбург - 2019

Работа выполнена в ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения  
Российской академии наук

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией экологии техногенных растительных сообществ  
Менщиков Сергей Леонидович

Официальные оппоненты: Шишикин Александр Сергеевич, доктор биологических наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленное подразделение ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН», лаборатория техногенных лесных экосистем, заведующий

Зайцев Глеб Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, лаборатория лесоведения, старший научный сотрудник

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Защита диссертации состоится «12» февраля 2020 г. в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» ([www.usfeu.ru](http://www.usfeu.ru))

Автореферат разослан «\_\_\_» декабря 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. с.-х. наук, доцент

Магасумова  
Альфия Гаптрауфовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В современном мире важнейшей экологической проблемой индустриально развитых стран является загрязнение природной среды промышленно-транспортными эмиссиями. В ряде старопромышленных регионов России, таких как Урал, под воздействием техногенных выбросов крупных предприятий погибли и повреждены леса на значительной территории. Лесовозобновление на данных территориях затруднено, и во многом зависит от способности генеративной системы растений продуцировать полноценные гаметофиты и семена.

К настоящему времени проведено большое количество исследований, касающихся изучения генеративной системы различных видов хвойных при разных типах аэротехногенного загрязнения (Шкарлет, 1974; Roquesandall, 1980; Тихомиров, Федотов, 1982; Федотов и др., 1983; Mejnartowicz, Lewandowski, 1985; Зуева, Камешков, 1989; Хромова и др., 1990; Зуева и др., 1991; Романовский, 1992, 1993, 1997; Кистерный, 1995; Аникеев и др., 2000; Скок, 2002, 2005а,б; Хромова, Романовский, 2002; Осколков, Воронин, 2003; Васфилов, 2005; Казанцева, 2005; Махнева, 2005; Носкова, Третьякова, 2006; Федотов и др., 2006; Гераськин и др., 2008; Паничева, 2009; Ибрагимова, 2010; Евсеева и др., 2011; Иванов и др., 2013; Ангальт, Жамурина, 2014; Бажина, Скрипальщикова, 2014 и др.), однако, данные о состоянии комплекса признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной при магнетитовом типе загрязнения в литературе отсутствуют. В отличие от других загрязнителей, данный тип эмиссий характеризуется своими специфическими особенностями воздействия на компоненты биогеоценозов – одновременное влияние высокощелочной магнетитовой пыли и газов, основные из которых окислы углерода и серы. Исследования комплекса структурных и функциональных показателей женской генеративной системы сосны актуальны как с теоретической точки зрения – для понимания механизмов повреждения и формирования устойчивости растений к техногенному фактору, так и с практической – для оценки потенциала деревьев, произрастающих в условиях загрязнения, к воспроизводству, решения проблем селекции и лесного семеноводства, связанных с лесовосстановлением техногенно нарушенных земель, а также для оценки ущерба лесам и биомониторинга.

**Степень разработанности проблемы.** Диссертационная работа является продолжением комплексного исследования состояния компонентов лесных биогеоценозов в условиях загрязнения аэротехногенными выбросами комбината «Магнетит». Исследования были проведены в районе г. Сатка Челябинской области на опытных участках, созданных сотрудниками Уральской лесной опытной станции Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства и механизации в градиенте магнетитового загрязнения в начале 80-х годов.

В научной литературе имеется большое количество работ, посвященных изучению процессов репродукции основных лесобразующих видов в условиях загрязнения среды. Однако, комплексные исследования по изучению признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной, включая состояние семян в разные периоды их развития, в условиях аэропромвыбросов, единичны (Романовский, 1997; Аникеев и др., 2000), а в условиях магнетитового загрязнения не проводились. Также в мировой литературе отсутствуют сведения о качестве семенного потомства сосны, произрастающей в условиях воздействия выбросов магнетитового производства и его реакции на почвы, загрязненные данным типом эмиссии.

Диссертация является законченным научным исследованием.

**Цель исследования:** изучить особенности воздействия выбросов магнетитового производства на женскую генеративную систему сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*

L.) и выявить специфику роста и развития семенных потомств сосны обыкновенной в условиях разного уровня техногенного загрязнения.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучить количественные и качественные показатели женской генеративной системы сосны обыкновенной в градиенте загрязнения выбросами магнезитового производства и фоновых условиях.
2. Оценить посевные качества семян сосны обыкновенной, сформированных в условиях разных уровней техногенного загрязнения и фоновых условиях.
3. Изучить зависимость состояния семенного потомства сосны обыкновенной от условий формирования семян и уровня техногенного загрязнения почв в вегетационном опыте.

**Научная новизна исследований.** Впервые в условиях воздействия аэротехногенных выбросов магнезитового производства получены новые данные о состоянии комплекса признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной; установлено влияние магнезитового загрязнения на динамику развития семяпочек; выявлено влияние уровня загрязнения почв и условий формирования семян на рост и развитие сеянцев сосны.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Проведенные исследования относятся к приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. В фундаментальном плане результаты работы вносят вклад в понимание механизмов функционирования женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях текущего и накопленного техногенного загрязнения в очагах поражения лесов. С точки зрения охраны природы, в том числе в отношении воспроизводства биологических ресурсов, значение работы связано как с целями диагностики и прогноза повреждений лесных сообществ в очагах загрязнения, так и с проблемой лесовосстановления нарушенных земель, сохранения лесов и повышения их устойчивости.

**Методология и методы исследования.** В ходе выполнения работ использовали общеизвестные методы исследований, применяемые в биологии, экологии и лесоведении. Визуальную оценку степени повреждения деревьев проводили по общепринятой методике (Санитарные правила, 2006), индекс повреждения древостоя рассчитывали по категориям состояния (Меншиков, 2001). Состояние семяпочек в разные периоды их развития оценивали по методике, предложенной М.Г. Романовским (1997). Посевные качества семян определяли согласно ГОСТ-13056.6-97. При проведении вегетационных опытов руководствовались методами лесокультурного выращивания, применяемыми на лесных питомниках (Редько и др., 1985). Все полученные результаты обрабатывали общеизвестными статистическими методами (Иберла, 1980; Зайцев, 1984; Лакин, 1990; Халафян, 2007).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Под влиянием выбросов магнезитового производства происходят изменения в состоянии показателей женской генеративной системы сосны обыкновенной.
2. Основные показатели посевных качеств семян (энергия прорастания и абсолютная всхожесть) слабо подвержены влиянию разных уровней магнезитового загрязнения.
3. На грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной, рост и развитие сеянцев из них в вегетационном опыте оказывают влияние, как условия формирования семян, так и почвенные условия.

4. Сеянцы из семян, сформированных в градиенте магнетитового загрязнения, имеют измененный фенотип, отстают в росте и развитии.

**Личный вклад автора.** Исследования на всех этапах работы – от постановки цели и составлении программы до сбора и анализа экспериментального материала, а также апробация полученных результатов, выполнены при личном участии автора.

**Апробация работы.** Основные результаты, полученные в ходе написания диссертации, обсуждались на форумах, конференциях, конгрессах и симпозиумах в России и за рубежом. В России результаты исследований автором доложены на Междунар. молодежной науч. конф. «Экология-2011» (Архангельск, 2011); Междунар. ботанической конф. молодых ученых (Санкт-Петербург, 2012); 2-й Всеросс. конф. «Биоразнообразии и культуроценозы в экстремальных условиях» (Апатиты, 2013); Всеросс. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН «Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика» (Красноярск, 2014); Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых «Ботанические сады: от фундаментальных проблем до практических задач» (Екатеринбург, 2014); VIII всеросс. науч.-практ. конф. студентов, молодых ученых и специалистов «Физиологические, психофизиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни» (Екатеринбург, 2015); IX всеросс. науч.-практ. конф. «Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни» (Екатеринбург, 2016); Всеросс. конгрессе «Промышленная экология регионов» (Екатеринбург, 2016); Конференции «Экологическая безопасность промышленных городов – повышение качества жизни» (Екатеринбург, 2016); V всеросс. науч.-практ. конф. «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования» (Нижний Тагил, 2017); X Всеросс. науч. конф. с междунар. участием «Биологическая рекультивация нарушенных земель» (Екатеринбург, 2017), Междунар. науч.-практ. конф. LXX Герценовские чтения, посвященной году экологии в России, 220-летию Герценовского университета, 85-летию факультета географии, 145-летию со дня рождения профессора Владимира Петровича Буданова «География: развитие науки и образования» (Санкт-Петербург, 2017). За рубежом материалы диссертации обсуждались на Междунар. науч. форуме «Реабилитация и восстановление деградированных лесов» (Астана, 2015); Междунар. школе-конф. молодых ученых «Лесная наука, молодежь, будущее» (Гомель, 2017); Междунар. симпозиуме по лесному хозяйству и окружающей среде (Трабзон, 2017); Междунар. науч.-практ. конф. «Биологическое разнообразие лесных экосистем: состояние, сохранение и использование» (Гомеле, 2018). Кроме того, результаты исследований легли в основу 9 отчетов о научно-исследовательской работе Ботанического сада УрО РАН (Екатеринбург, 2011-2019).

**Обоснованность и достоверность материалов исследований** подтверждается применением научно-обоснованных методик, статистической обработкой большого объема экспериментальных данных, апробацией полученных результатов.

**Публикации.** По результатам диссертационной работы в научных изданиях опубликовано 29 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах списка ВАК, 1 статья, индексируемая в базе данных Scopus, 2 – в базе данных Web of Science и Scopus, 5 в рецензируемых журналах базы РИНЦ, 17 – в сборниках материалов конференций российского и международного уровней.

**Благодарности.** Выражаю глубокую благодарность своему научному руководителю – заведующему лабораторией экологии техногенных растительных сообществ, д-

ру с-х. наук Сергею Леонидовичу Меншикову, а также старшему научному сотруднику, канд. биол. наук Светлане Георгиевне Махневой за всестороннюю помощь в проведении исследовательской работы, обобщении и интерпретации полученных результатов и представлении работы к защите; канд. с-х. наук Дмитрию Руслановичу Анিকেвицу за ценные консультации по методам обработки фактического материала; научному сотруднику, канд. с-х. наук Константину Евгеньевичу Завьялову, младшему научному сотруднику Надежде Александровне Кузьминой, старшему инженеру Виктории Дмитриевне Горбуновой за помощь в проведении полевых работ и сборе материала.

**Структура и объем диссертации.** Текст диссертации изложен на 120 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, который состоит из 299 источников, в том числе 43 иностранных, и 8 приложений. Материал иллюстрирован 13 таблицами и 48 рисунками.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Приведен обзор отечественных и зарубежных исследований, касающихся состояния компонентов лесных насаждений в условиях воздействия аэротехногенных выбросов. Описано негативное воздействие загрязнения на разных уровнях организации от субклеточного до популяционного. Отмечены наиболее существенные источники загрязнения окружающей среды и основные загрязняющие вещества. Рассмотрены основные факторы, обуславливающие степень поражения лесных насаждений в условиях аэротехногенного загрязнения. Отмечены принципы устойчивости древесных растений к техногенному стрессу.

Детально рассмотрен процесс развития женской генеративной системы сосны обыкновенной и влияние на него условий среды, в том числе аэротехногенного загрязнения. Подчеркнуто недостаточное количество комплексных исследований женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях загрязнения, включая период от состояния семян на этапе гамето- и эмбриогенеза до качества семян и проростков, и отсутствие таких исследований в условиях магнетитового загрязнения.

### Глава 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова (1969) район исследования расположен в Уральской горной области Юрюзанско-Верхнеайского округа Южноуральской провинции горных южнотаежных и смешанных лесов. Климат района исследования – континентальный. Зима умеренно холодная, лето теплое, иногда жаркое. Преобладают западные и юго-западные ветры, характеризующиеся слабой и умеренной скоростью. Рельеф среднегорного типа с мягкими, сглаженными контурами и относительно небольшой высотой хребтов. Почвенный покров представлен в основном серыми лесными почвами, которые в большинстве случаев имеют горный облик. Стоит отметить, что под длительным влиянием аэротехногенных выбросов магнетитового производства в лесном покрове произошли значительные изменения.

### Глава 3. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Женскую генеративную систему сосны обыкновенной исследовали на четырех опытных участках (ОУ) в районе г. Сатка Челябинской области. ОУ представлены лесными культурами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Dyl.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.), которые были созданы в 1980–1983 гг. в градиенте загрязнения аэропромвыбросами комбината «Магnezит» и фоновых условиях (Менщиков, 1985). ОУ-2 расположен в зоне сильного уровня загрязнения на расстоянии 1 км от источника выбросов, ОУ-5 - в зоне среднего уровня загрязнения (3 км), ОУ-4 - в зоне слабого уровня загрязнения (10 км), ОУ-К представляет условия фона, расположен в 25 км от комбината. Лесные культуры закладывали научные сотрудники Уральской лесной опытной станции ВНИИЛМ С.Л. Менщиков и Т.Б. Сродных под руководством Н.А. Луганского и Г.Г. Терехова для изучения пригодности почв и возможности лесовосстановления в условиях магnezитового загрязнения.

Оценку степени повреждения деревьев сосны проводили визуально по общепринятой методике (Санитарные правила, 2006). У каждого дерева определяли срок жизни хвои и дефолиацию кроны. Индекс повреждения древостоя на участке рассчитывали по категориям состояния (Менщиков, 2001).

На ОУ изучали относительную численность семеносящих деревьев, на каждом из которых подсчитывали количество шишек. С каждого дерева в течение трех наиболее урожайных лет (2009, 2011 и 2013 года) со средней и верхней части кроны собирали по 50-100 шишек, либо все имеющиеся шишки, но не менее 20 штук. Отобранные образцы шишек (для каждого дерева в отдельности) тщательно перемешивали и по принципу случайной выборки отбирали по 20-40 штук для анализа. В каждой шишке исследовали 35 количественных и функциональных признаков, из них 16 – признаки, характеризующие морфометрические параметры шишек, семенных чешуй и крылаток, 12 – состояние семяпочек в разные периоды их развития, 7 – качество семян и проростков.

Все линейные признаки элементов шишек измеряли с помощью лабораторного штангенциркуля с точностью до 0,01 см. Индекс формы шишек, семенных чешуй, щитков и крылаток рассчитывали, как отношение ширины к длине. Строение поверхности семенной чешуи, или форму апофиза, оценивали по шкале, предложенной С.А. Мамаевым (1972).

Для подсчета семян, фертильных и стерильных семенных чешуй каждую шишку разрушали механическим путем. Для этого высверливали ось шишки и разбирали на чешуи, начиная с базальных. Начало фертильного яруса фиксировали по появлению семенных чешуй с признаками развития семяпочек на первом и втором году: пустые и полные семена, недоразвитые семена (отделяющиеся или неотделяющиеся от семенной чешуи) размером более 1 мм. Удвоенное число фертильных семенных чешуй соответствовало исходному числу потенциально фертильных семяпочек (Романовский, Хромова, 1992; Абатурова и др., 1997; Романовский, 1997). По сумме пустых и полных семян определяли число оплодотворенных семяпочек. Число пустых семян соответствовало числу семяпочек, погибших в эмбриональный период развития. Число мелких недоразвитых семян свидетельствовало о количестве семяпочек погибших на протяжении второго года развития (Романовский, Хромова, 1992; Романовский, 1997).

Абсолютную всхожесть и энергию прорастания семян определяли в трехкратной повторности согласно ГОСТ – 13056.6-97.

Для проведения вегетационного опыта из верхнего корнеобитаемого слоя почвы (до глубины 15 см) на всех ОУ были отобраны почвенные образцы. Почвенные образцы отбирали в междурядьях культур по точкам, расположенным на трансекте. Расстояние

между точками отбора составляло 5м, объем почвы, взятой с каждой точки – 0,005 м<sup>3</sup>. Образцы почвы, взятые с каждого ОУ перемешивали, измельчали и отсеивали от крупных минеральных частиц и помещали в вегетационные ящики, которые были размещены в оранжерее в равных условиях освещения, температуры и влажности. При проведении вегетационных опытов руководствовались методами лесокультурного выращивания, применяемыми на лесных питомниках (Редько и др., 1985). Семена высевали построчно на глубину 0,5-0,7 см (Справочник лесничего, 1965). Сохранность (выживаемость) сеянцев в разные сроки опыта оценивали, как отношение числа живых сеянцев к их общему числу. Измерение морфометрических признаков сеянцев проводили в конце 1-го и 2-го вегетационных сезонов. Вариантами вегетационного опыта были как семена модельных деревьев, произрастающих в условиях разного уровня загрязнения, так и почвенные условия.

Полученные результаты подвергали статистической обработке с использованием методов вариационной статистики, применяемых в биологии и лесоведении (Зайцев, 1984; Лакин, 1990), а также многомерным методам, таким как факторный анализ (Иберла, 1980; Халафян, 2007). Расчеты проведены с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 6.0.

За время проведения исследований на опытных участках было обмерено и оценено состояние крон и параметры семеношения у 579 деревьев. Собрано для анализа более 9 тыс. шишек, из которых изъято около 200 тыс. полнозернистых семян ( $\approx 1,2$  кг), из которых более 50 тыс. штук пророщены (из них 3840 в вегетационном опыте), для проведения вегетационных опытов отобрано около 1 м<sup>3</sup> почвы.

#### **ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕНСКОЙ ГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГРАДИЕНТЕ МАГНЕЗИТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

В результате воздействия выбросов магnezитового производства на сосновый древостой на ряду с ухудшением таксационных показателей, увеличением дефолиации и степени повреждения, снижается его репродуктивная способность. В древостое в очаге загрязнения относительно фоновых условий снижается на 24-34% доля семеносящих деревьев и на 21-40% количество шишек на них.

##### **4.1. Изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной.**

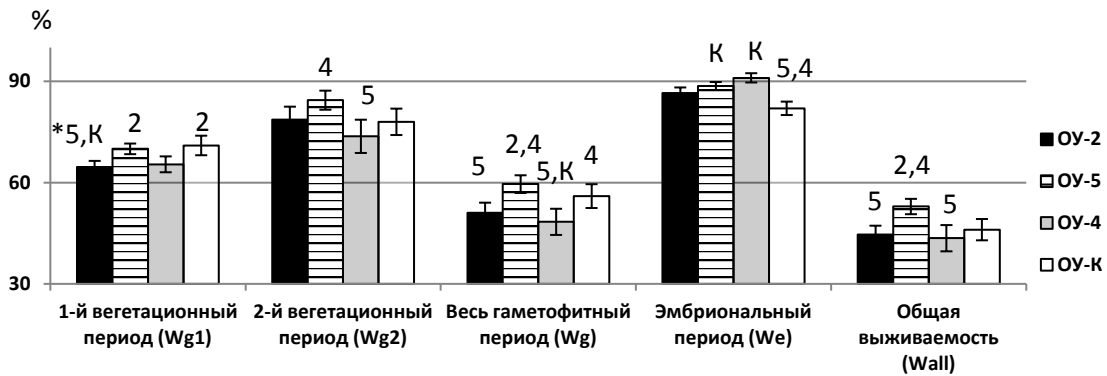
**4.1.1. Морфология шишек, семенных чешуй и крылаток.** В результате изучения морфологических признаков шишек сосны обыкновенной выявлено, что в условиях сильного загрязнения деревья формируют наиболее мелкие и легкие шишки по сравнению с участками с меньшим уровнем загрязнения и фоновыми условиями. В условиях сильного загрязнения индивидуальная (внутрипопуляционная) изменчивость размеров и формы шишек повышается до среднего уровня, тогда как на ОУ с меньшей техногенной нагрузкой и в фоновых условиях данные признаки варьируют на низком уровне. Форма шишек при этом сохраняется и, как и на всех ОУ характеризуется как «конусовидная» (индекс формы 0,48-0,51).

В условиях сильного загрязнения семенные чешуи имеют наименьшие линейные размеры. Однако, длина и ширина семенных чешуй, а также щитков на всех ОУ изменяются пропорционально, индекс их формы сохраняется. В соответствии с классификацией С.А. Мамаева (1972) семенные чешуи всех ОУ отнесены к категории «средних», основание щитка семенных чешуй «ромбическое». Выявлено, что в градиенте загрязнения апофиз более бугорчатый (2,93-3,18 балла), чем в фоновых условиях (2,6 балла).



Линейные размеры крылаток и семенных чешуй на всех ОУ достоверно коррелируют (при  $p < 0,05$ ) между собой ( $r = 0,54 \dots 0,92$ ). Наименьшая длина и ширина крылатки в зоне сильного загрязнения. Между остальными ОУ по данным признакам достоверных различий не выявлено. Форма крылатки остается постоянной на всех ОУ (индекс формы 0,31-0,34).

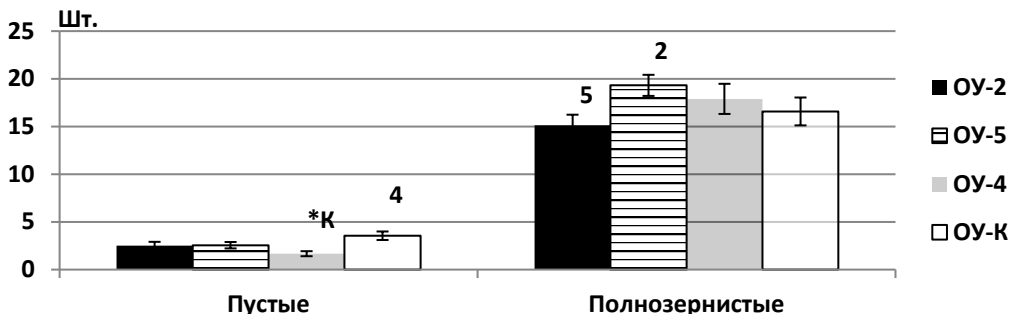
**4.1.2. Состояние семян и семенная продуктивность.** Так как семенная продуктивность соснового древостоя складывается не только из числа шишек на дереве, но и из числа семян, реализовавшихся в фертильной зоне каждой шишки, то для понимания закономерностей формирования семян, изучение структуры их урожая на уровне взаимоотношения гамет представляется наиболее перспективным (Абатурова и др., 1997). С этой целью была подсчитана выживаемость семян в разные периоды их развития (Рисунок 1).



**Рисунок 1.** – Выживаемость семян сосны (W) в разные периоды, %

Примечание: \* различия с номером соответствующего ОУ достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Выявлено, что в древостоях сосны в градиенте техногенного загрязнения и в фоновых условиях происходит интенсивная гибель семян, которая приурочена к разным периодам их развития. В целом в градиенте загрязнения отмечена интенсивная гибель семян в 1-й вегетационный период, наибольшая в условиях сильного загрязнения. Во 2-й вегетационный период отмечена высокая элиминация семян в условиях слабого загрязнения. Для фоновых условий характерна высокая гибель семян в эмбриональный период, что приводит к образованию большого количества пустых семян в шишках из фоновых условий (Рисунок 2).



**Рисунок 2.** – Количество семян в шишках сосны обыкновенной, шт./шишку

Примечание: \* различия с номером соответствующего ОУ достоверны при  $p \leq 0,05$ .

В научной литературе есть сведения о том, что в эмбриональный период развития семечки более защищены от внешних воздействий мутагенов-аэрополлютантов, ультрафиолетового облучения и даже бета-радиации, по сравнению с гаметофитным (Ро-

мановский, 1997). Мы считаем, что обнаруженная нами более низкая гибель семяпочек в эмбриональный период в очаге загрязнения относительно условий фона, обусловлена высокой интенсивностью их элиминации на предыдущих этапах развития.

Число полнозернистых семян в зонах среднего и слабого загрязнения и в фоновых условиях характеризуются высокой, а в зоне сильного загрязнения очень высокой индивидуальной изменчивостью. Наибольшие абсолютные значения данных признаков у шишек из зоны среднего загрязнения, наименьшие у шишек из зоны сильного загрязнения (Рисунок 2).

**4.1.3. Качество семян и развитие проростков на начальной стадии онтогенеза.** В условиях сильного уровня загрязнения образуются семена, имеющие достоверно самую низкую среди изученных древостоев массу, при этом уровень индивидуальной изменчивости возрастает до 24%, тогда как в фоновых условиях и условиях слабого и среднего загрязнения его значение составляет 13-15%, что может свидетельствовать о критическом воздействии условий формирования на данный признак.

Основные показатели качества семян сосны (энергия прорастания и всхожесть) слабо подвержены влиянию магнетитового загрязнения и в зонах загрязнения имеют высокие значения (энергия прорастания 84-91%, всхожесть 88-93%) сопоставимые с фоновыми условиями (86 и 91% соответственно) и видовым уровнем в целом.

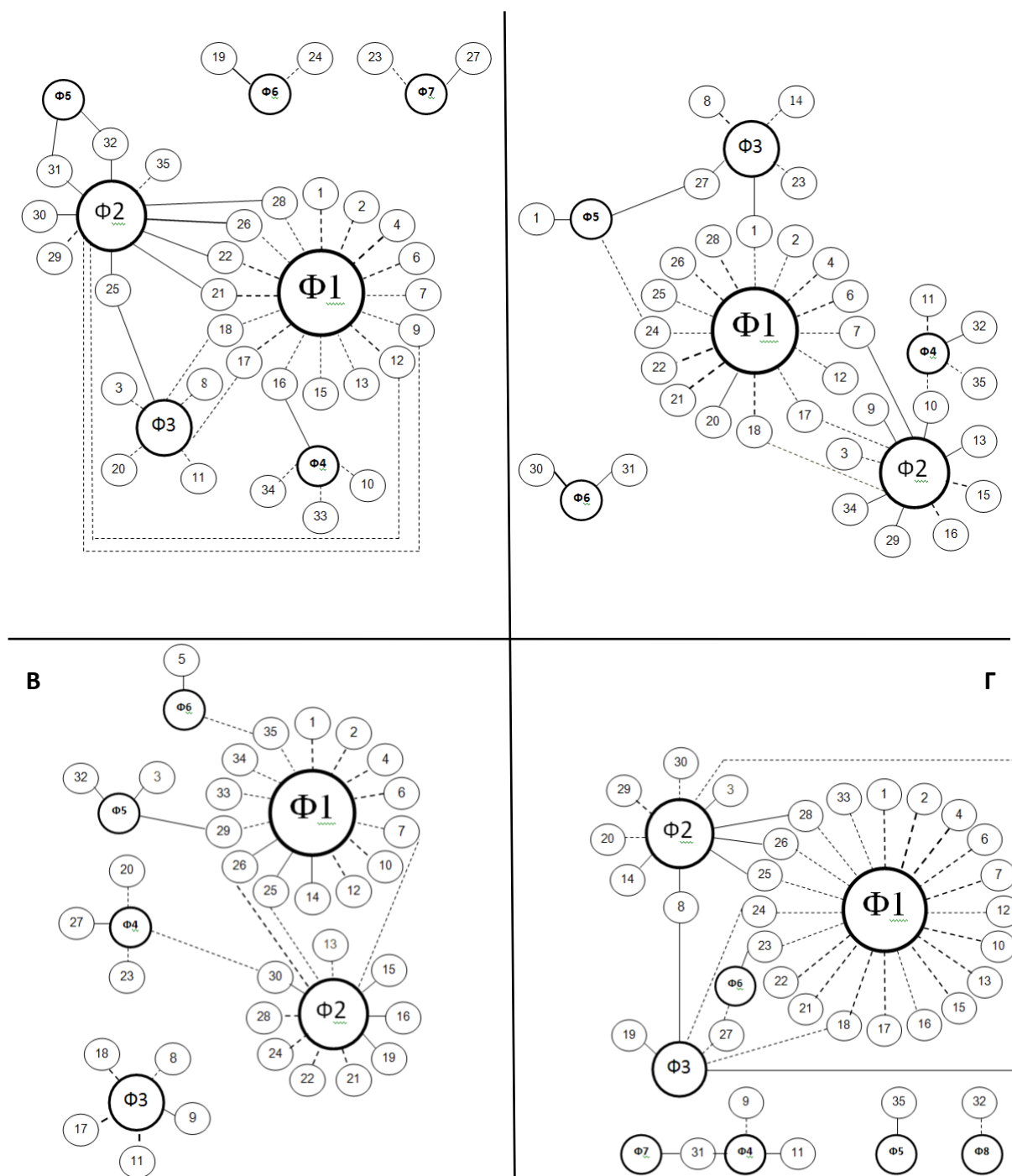
В своем развитии до 15-го дня наблюдений проростки сосны проходят несколько стадий: появление корешка, появление гипокотилия, удлинение корешка и гипокотилия, появление и удлинение семядолей, их раскрытие. Морфологические параметры проростков семян на данном этапе развития являются надежными критериями их качества, т.к. свидетельствуют о готовности семени к выходу из периода покоя и переходу на гетеротрофный тип питания. У семян, сформированных в условиях влияния выбросов, доля проростков с семядолями на момент определения всхожести (15-е сутки) возрастает, а коэффициент вариация снижается. В условиях сильного загрязнения выявлена достоверная отрицательная корреляция между данным признаком и массой семян, что свидетельствует о более раннем развитии проростков из мелких семян.

Длина корешка проростка семян из зон среднего и слабого загрязнения характеризуется повышенной, а в условиях сильного загрязнения и фоновых условиях высокой вариабельностью. Достоверные различия абсолютных значений данного признака между древостоями не выявлены. Длина гипокотилия в условиях всех ОУ варьирует на низком уровне. Абсолютные значения данного признака наименьшие для семян из зоны сильного загрязнения (достоверные различия со всеми ОУ при  $p < 0,05$ ).

Единственным из изученных признаков, варьирующем на очень низком уровне во всех представленных древостоях, является признак, характеризующий число семядолей. В зоне сильного загрязнения происходит достоверное снижение абсолютного значения данного признака (при  $p < 0,05$ ) по сравнению с остальными ОУ, что вероятно связано как с интенсивной элиминацией деревьев, так и с участием в репродукции определенной группы деревьев в данных условиях.

**4.2. Сопряженная изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной.**

В результате обработки полученных результатов методом факторного анализа выявлено, что в зависимости от уровня техногенной нагрузки происходит изменение структуры связей признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной (Рисунок 3).



**Рисунок 3.** – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной: А – в условиях сильного загрязнения; Б – в условиях среднего загрязнения; В – в условиях слабого загрязнения; Г – в фоновых условиях;

Примечание: обозначение признаков см. в главе 3.

— положительная связь; ---- отрицательная связь

-----  $0,7 > r > 0,5$ ; -----  $0,9 > r > 0,7$ ; -----  $r > 0,9$

Отметим, что взаимосвязь признаков, характеризующих размеры и массу шишек сосны, жестко генетически детерминирована, т.к. не нарушается в градиенте загрязнения. Однако выявлена трансформация структуры связей данных признаков с показателями семенных чешуй. Так, размеры и масса шишек в фоновых условиях и условиях сильного загрязнения коррелирует с размерами семенных чешуй и их количеством, а в

условиях среднего и слабого уровней загрязнения данные признаки связаны только с размерами семенных чешуй, что указывает на вариабельность закономерностей роста и развития шишек под воздействием техногенного загрязнения.

Установлено, что семенная продуктивность сосны всех древостоев находится в более тесной взаимосвязи с показателями выживаемости семяпочек в гаметофитный период, чем в период эмбрионального развития. Следует отметить, что в фоновых условиях выживаемость семяпочек в 1-й вегетационный и эмбриональный периоды сопряжены положительно, а в условиях загрязнения связь данных признаков отрицательная, что позволяет предположить существование эффективной элиминации аномальных гаметофитов и освобождение древостоя от них в градиенте загрязнения. В условиях сильного загрязнения выявлена отрицательная взаимосвязь между семенной продуктивностью и массой семян сосны. Причиной этого может быть сильное ослабление деревьев и малая доступность минеральных ресурсов в условиях высокой рН среды произрастания.

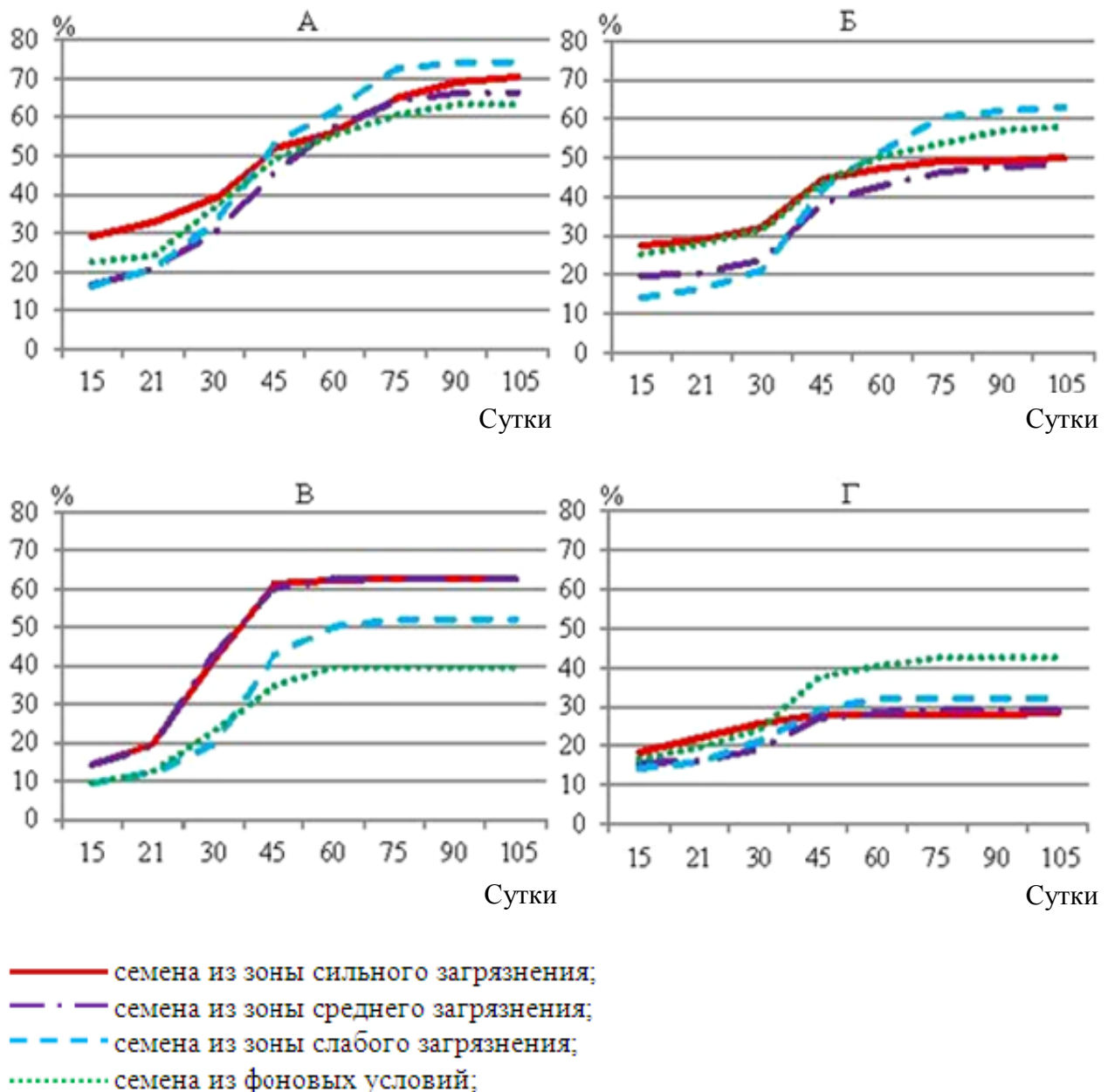
С увеличением техногенной нагрузки изменяется структура связи показателей массы семян и их посевных качеств. Связь массы семян с энергией прорастания и всхожестью в фоновых условиях и в условиях слабого загрязнения является положительной, в условиях среднего загрязнения отсутствует, в условиях сильного загрязнения выявлена достоверно значимая отрицательная связь данных признаков.

У проростков семян, сформированных в градиенте загрязнения, изменяется структура связей между их линейными показателями и показателями массы и качества семян. Так, показатели, характеризующие длину корешка и гипокотили проростков у семян, сформированных в фоновых условиях не связаны с их энергией прорастания, всхожестью и массой, у семян, из условий слабого и среднего загрязнения положительно связаны с их массой и не зависят от основных показателей качества, а у семян, из условий сильного загрязнения положительно связаны с основными показателями качества и отрицательно – с их массой.

### **Глава 5. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЯН СОСНЫ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН, РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕЯНЦЕВ (ВЕГЕТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ)**

В условиях воздействия аэротехногенных выбросов комбината «Магнезит» установлено превышение на 0,83-3,12 единицы показателя рН верхнего корнеобитаемого слоя почвы относительно фонового участка. Анализ содержания обменных катионов в почве показал существенное превышение обменного магния, соотношения между  $Mg^{++}$  и  $Ca^{++}$  в почве из зон загрязнения, а также увеличение содержания тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn) в зоне сильного загрязнения.

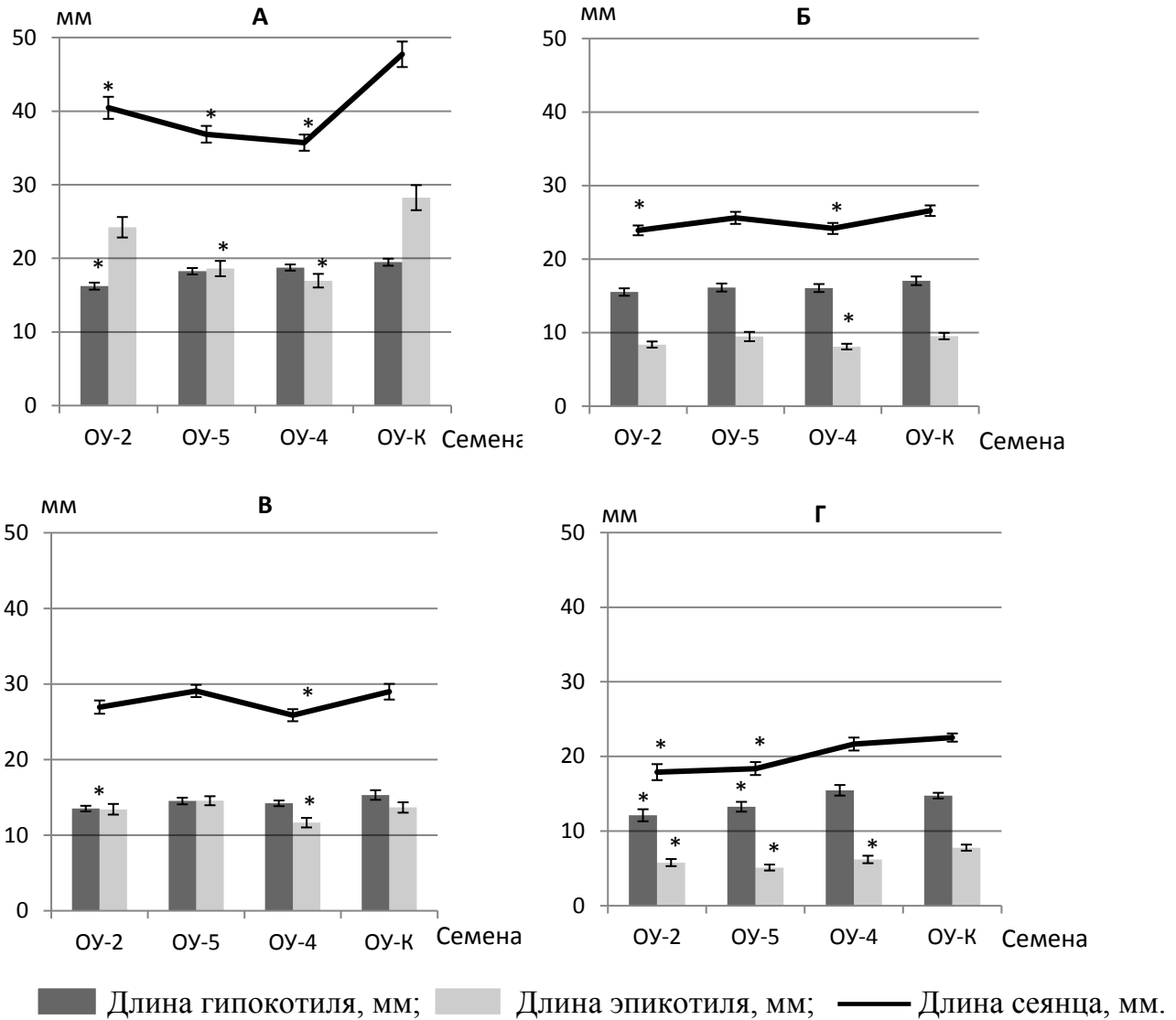
В результате проведения вегетационного опыта установлено, что почвы из зон загрязнения негативно влияют на грунтовую всхожесть семян сосны всех происхождений (Рисунок 4). Наиболее низкие значения данного показателя в почве из зоны сильного загрязнения. В силу высокой вариабельности показателя грунтовой всхожести достоверных различий между семенами разных происхождений в одном варианте почвы не выявлено.



**Рисунок 4.** – Всхожесть семян сосны обыкновенной: А – в почве из фоновых условий, Б – в почве из зоны слабого загрязнения, В – в почве из зоны среднего загрязнения, Г – в почве из зоны сильного загрязнения.

В 1-й вегетационный период сеянцы развивались следующим образом: 1. Появление всхода и рост гипокотыля; 2. Раскрытие семядолей; 3. Появление и рост первичной хвои; 4. Рост эпикотыля и формирование верхушечной почки в конце вегетационного периода. Выявлено ингибирование роста сеянцев семян всех происхождений в техногенно загрязненных почвах (Рисунок 5). Также выявлено отставание в росте сеянцев семян из условий загрязнения по сравнению со всходами семян из фоновых условий во всех вариантах почв.

Во 2-й вегетационный период продолжается рост сеянца в высоту (365-470 сутки с момента посадки), ювенильная хвоя подсыхает (380-410 сутки), развивается вторичная (настоящая) хвоя (380-450 сутки), гипокотиль одревесневает, формируется мутовка почек на вершине (450-470 сутки).



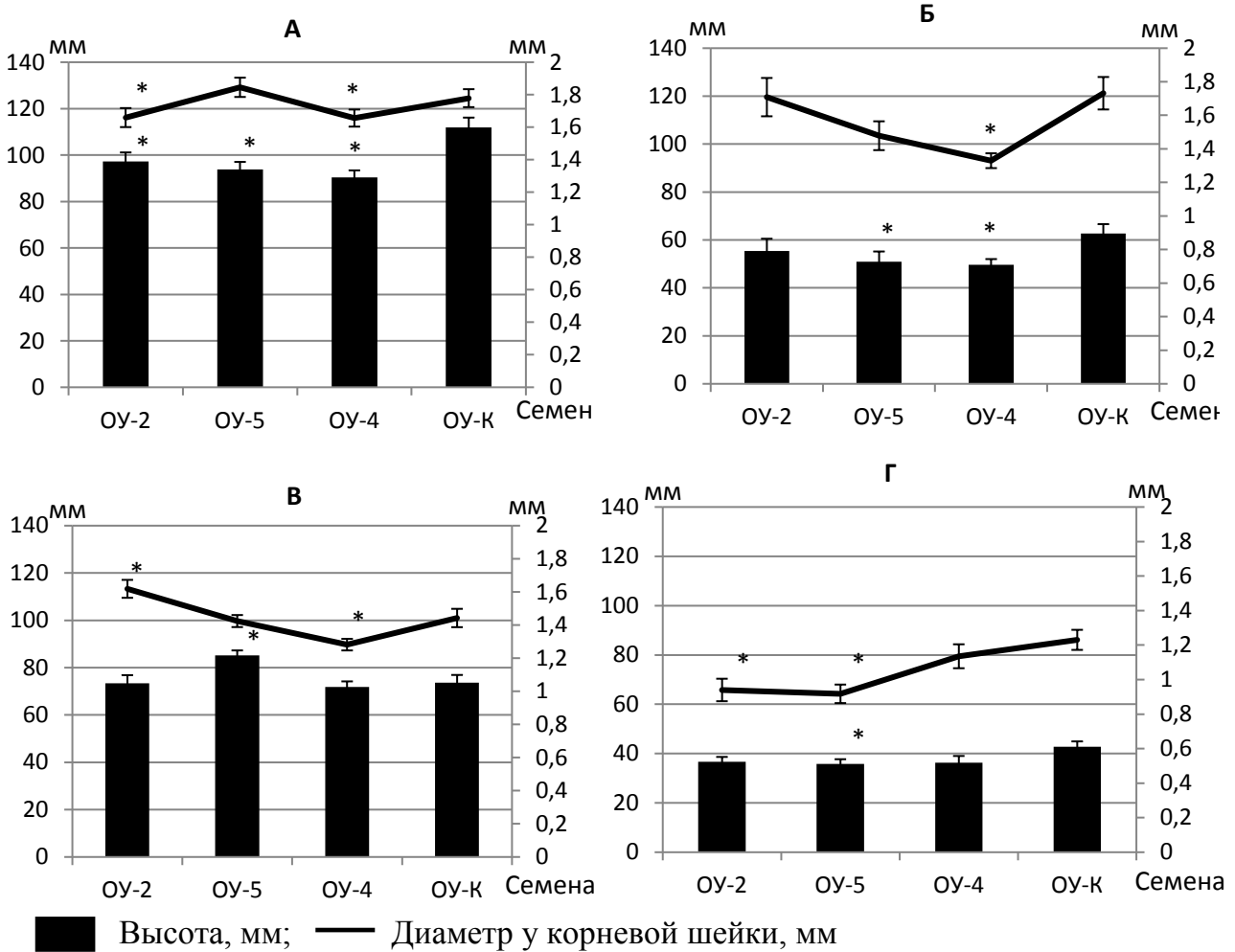
**Рисунок 5.** – Особенности роста сеянцев сосны обыкновенной в 1-й вегетационный период: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения. Примечание: \* различия с фоновыми условиями достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Сеянцы семян всех происхождений по-прежнему имеют сниженные ростовые показатели в техногенно загрязненных почвах по сравнению с почвами из фоновых условий (Рисунок 6).

К концу 2-го вегетационного периода выявлена положительная реакция сеянцев семян из зоны среднего загрязнения на почву материнского древостоя – по показателю высоты данные сеянцы достоверно превосходят сеянцы семян других происхождений.

В почвах из фоновых условий, а также зоны слабого и сильного загрязнения сеянцы семян из зон загрязнения по-прежнему отстают в росте по длине, а также диаметру стволика у корневой шейки, от сеянцев семян из фоновых условий.

Техногенно загрязненные почвы негативно влияют на выживаемость сеянцев семян всех происхождений в 1-й и во 2-й вегетационные периоды (Рисунок 7).



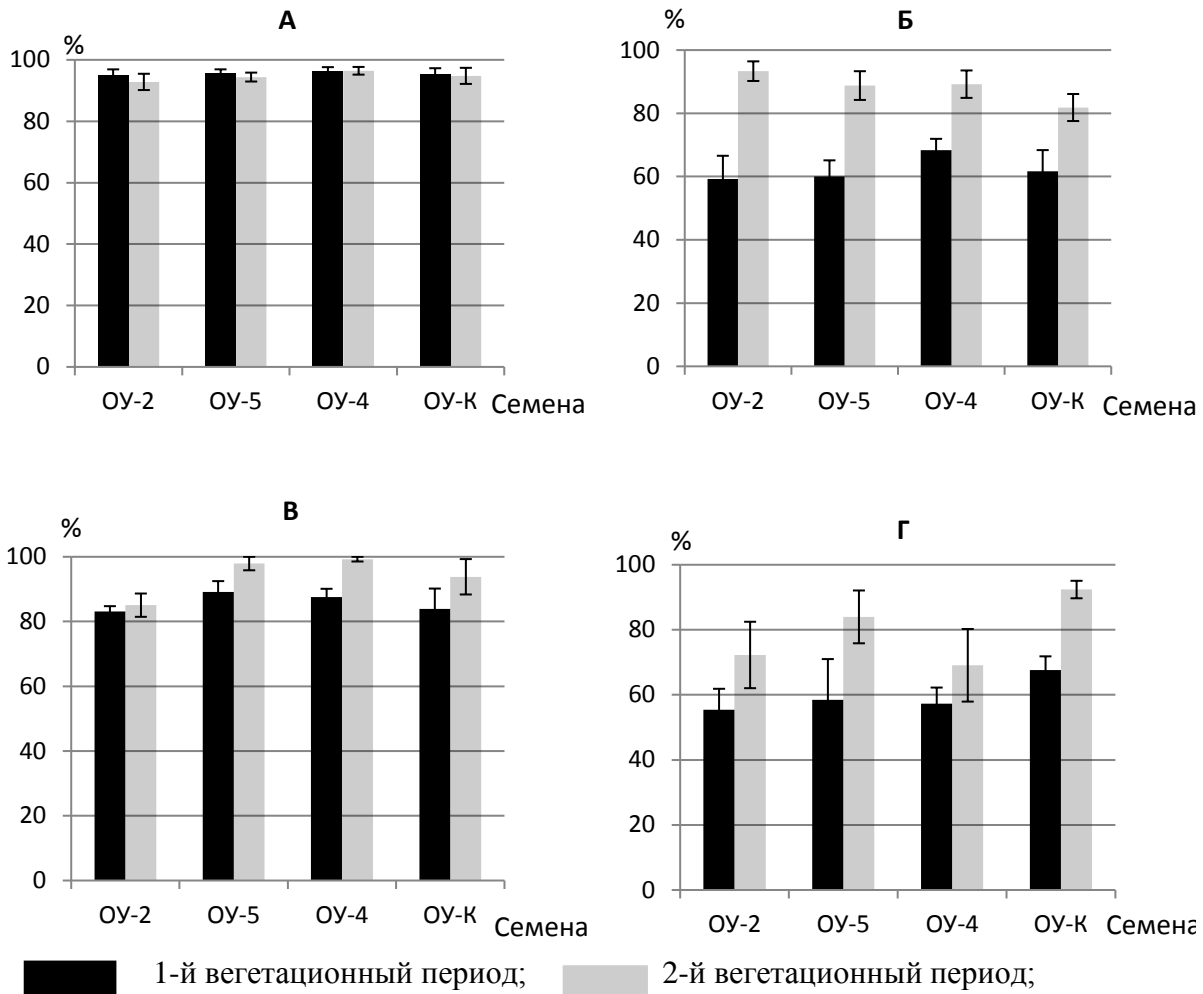
**Рисунок 6.** – Особенности роста сеянцев сосны обыкновенной во 2-й вегетационный период: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения. Примечание: \* различия с фоновыми условиями достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Отметим высокую выживаемость сеянцев семян из зон загрязнения сопоставимую с сеянцами семян из фоновых условий в одном варианте почв.

У сеянцев семян из фоновых условий в почве из фоновых условий и из зон сильного и слабого загрязнения формируется большее число пар хвои, чем сеянцев из семян из зон загрязнения (Рисунок 8).

В самых пессимальных для развития сеянцев почвенных условиях зоны сильного загрязнения, сеянцы семян из фоновых условий имеют еще и большую длину хвои по сравнению с сеянцами семян из зон загрязнения (Рисунок 9).

Однако, сеянцы из семян, сформированных в зоне среднего загрязнения в некоторых вариантах почв, в том числе и в почве произрастания материнского древостоя, по данным показателям сопоставимы с сеянцами из семян из фоновых условий, что в совокупности с показателями высоты и диаметра дают обоснование рекомендовать использование семян материнского древостоя для лесовозобновления в зоне среднего загрязнения.

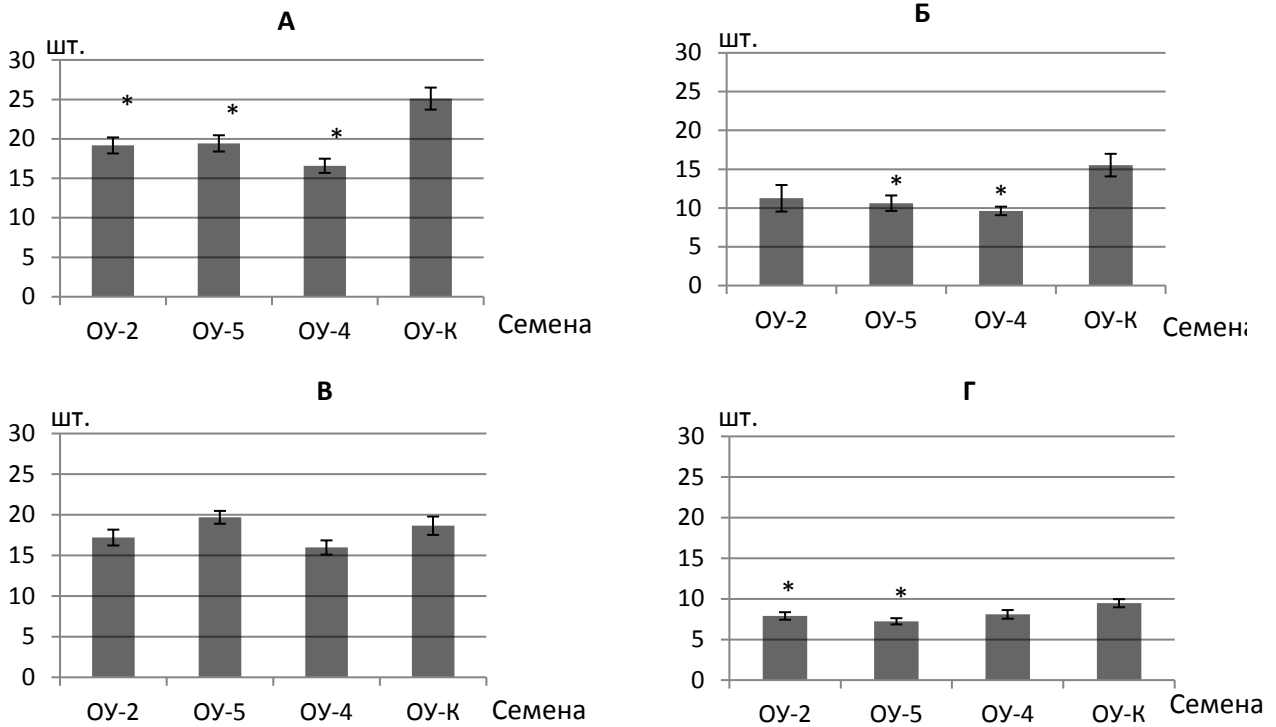


**Рисунок 7.** – Выживаемость сеянцев сосны в 1-й и 2-й вегетационные периоды: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

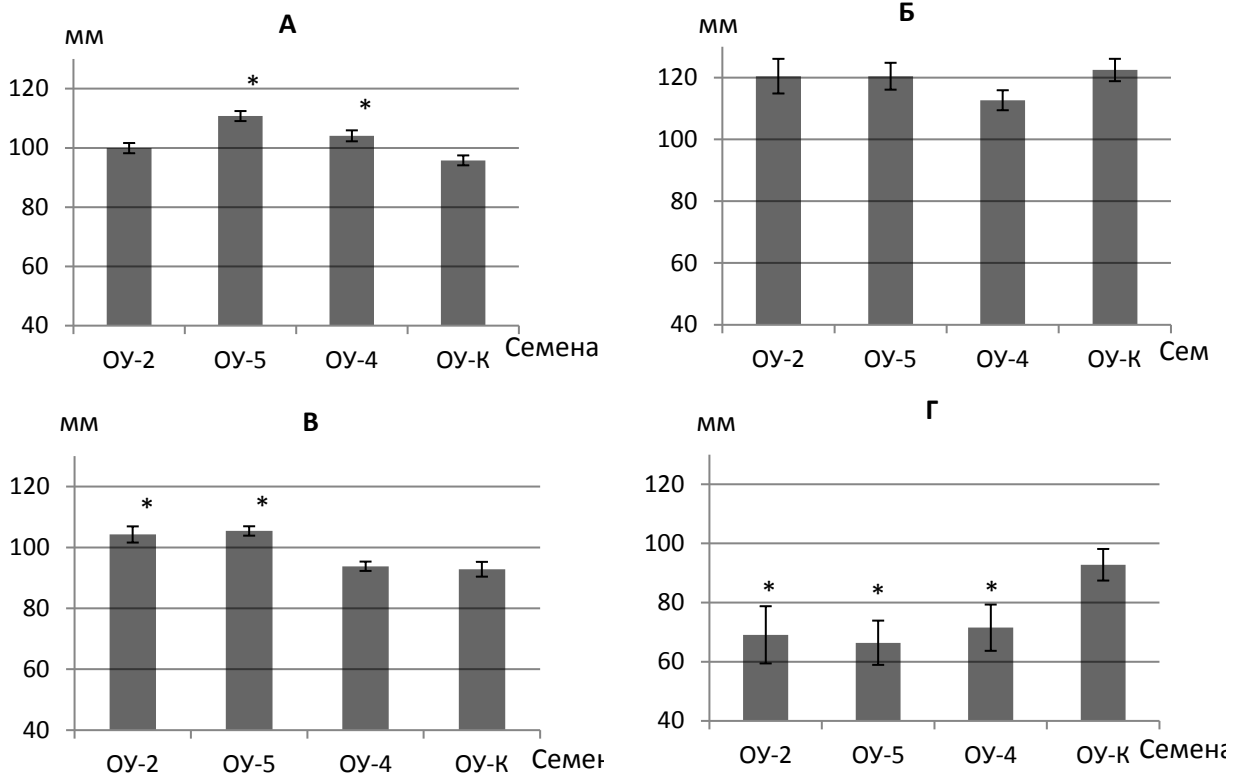
Результаты исследований по актуальной проблеме воздействия аэротехногенного загрязнения на женскую генеративную систему и семенное потомство сосны обыкновенной показали, что в зависимости от уровня загрязнения выбросами магnezитового производства происходят выраженные в разной степени изменения процессов репродукции. В условиях влияния поллютантов у деревьев ослаблена репродуктивная способность – семенная продуктивность древостоя снижается главным образом за счет уменьшения доли семеносящих деревьев и количества шишек на них. Основные показатели качества семян, характеризующие энергию прорастания и всхожесть, слабо подвержены влиянию магnezитового загрязнения и имеют высокие значения. Даже при сильном уровне загрязнения, в крайне неблагоприятных для произрастания сосны условиях, возможно формирование семян, которые, несмотря на меньшую массу, имеют высокую всхожесть. С увеличением техногенной нагрузки изменяется структура связи показателей массы семян и их посевных качеств. Основное отличие заключается в том, что в условиях сильного загрязнения связь показателя массы семян с энергией прорастания и всхожестью – отрицательная.





**Рисунок 8.** – Число пар хвои у сеянцев сосны: А – в почве из фоновых условий; Б – в почве из зоны слабого загрязнения; В – в почве из зоны среднего загрязнения; Г – в почве из зоны сильного загрязнения.

Примечание: \* различия с фоновыми условиями достоверны при  $p \leq 0,05$ .



**Рисунок 9.** – Длина хвои у сеянцев сосны в почве: А – фоновых условий; Б – зоны слабого загрязнения; В – зоны среднего загрязнения; Г – зоны сильного загрязнения.

Примечание: \* различия с фоновыми условиями достоверны при  $p \leq 0,05$ .

В насаждениях, подверженных влиянию поллютантов, гибель семян сосны происходит на более ранних стадиях их развития. В условиях сильного загрязнения интенсивная элиминация семян происходит в 1-й вегетационный период, в условиях слабого – во 2-й, тогда как в фоновых условиях – в эмбриональный период.

Существенные изменения состояния многих показателей женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях сильного загрязнения может быть связано с высоким отпадом деревьев в данных условиях и выборка представлена выжившими особями – более устойчивыми к техногенному стрессу.

На грунтовую всхожесть семян и развитие сеянцев сосны обыкновенной оказывают влияние, как условия формирования семян, так и почвенные условия. Из семян, сформированных в условиях влияния выбросов магнезитового производства в благоприятных почвенных условиях, развиваются сеянцы с низкими значениями показателей роста и развития. В техногенно загрязненных почвах снижается всхожесть семян и ростовые показатели сеянцев семян всех происхождений.

Для лесовосстановления на территориях, подверженных влиянию сильного и слабого уровней магнезитового загрязнения, нежелательно использование семян материнских древостоев, т.к. при данных сочетаниях условий формирования семян и почвенных условий, сеянцы сосны развиваются со сниженной жизнеспособностью и ростовыми показателями. В данных условиях предпочтительно использование семян из условий фона. В условиях среднего уровня загрязнения возможно лесовосстановление семенами материнского древостоя.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Менщиков, С.Л. Распределение деревьев опытных культур *Betula pendula* Roth. по ступеням толщины и уровень загрязнения почвы в зоне действия выбросов комбината «Магнезит» / С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, **П.Е. Мохначев**, И.С. Цепордей // Успехи современного естествознания. – 2016. – №10. – С. 84-89.
2. **Мохначев, П.Е.** Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях загрязнения магнезитовой пылью / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – №3(41). – С.8-9.
3. Махнева, С.Г. Влияние почвенных условий и происхождения семян сосны обыкновенной на их лабораторную и грунтовую всхожесть / С.Г. Махнева, **П.Е. Мохначев**, С.Л. Менщиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – №3(41). – С.10-12.
4. Менщиков, С.Л. Воздействие атмосферных выбросов магнезитового производства на почвы и снеговой покров / С.Л. Менщиков, Н.А. Кузьмина, **П.Е. Мохначев** // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – №5(37). – С. 221-223.

### В изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus:

1. Makhniova, S. Seed germination and seedling growth of scots pine in technogenically polluted soils as container media / S. Makhniova, **P.E. Mohnachev**, S. Ayan // Environmental Monitoring and Assessment. – 2019. – Т. 191, № 2. – P. 113.
2. **Mohnachev, P.** Scotch pine regeneration in magnesite pollution conditions in South Ural, Russia / P. Mohnachev, S. Menshikov, S. Makhniova, K. Zavyalov, N. Kuzmina, A. Potapenko, S. Ayan, S. Laaribya // South-East European Forestry. – 2018. – Т. 9, № 1. – P. 55-60.
3. Zavyalov, K. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Sukachyov's larch (*Larix sukaczewii* Dylis) and Silver birch (*Betula pendula* Roth.) to magnesite dust in satkinsky industrial hub / K. Zavyalov, S. Menshikov, **P. Mohnachev**, N. Kuzmina, A. Potapenko and S. Ayan // Forestry Ideas. – 2018. – Vol. 24, №1. – P. 23-36.

### В прочих изданиях:

1. **Мохначев, П.Е.** Особенности естественного возобновления сосны обыкновенной в условиях магнетитового загрязнения среды / П.Е. Мохначев, С.Л. Менщиков, С.Г. Махнева, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Биологическое разнообразие лесных экосистем: состояние, сохранение и использование: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2018. – С. 223-226.
2. Махнева, С.Г. Показатели пыльцы и семян сосны обыкновенной в биомониторинге техногенного загрязнения среды / С.Г. Махнева, Н.А. Кузьмина, **П.Е. Мохначев** // География: развитие науки и образования: коллект. моногр. по матер. ежегод. междунар. науч.-практ. конф. LXX Герценовские чтения, посвященной году экологии в России, 220-летию Герценовского ун-та, 85-летию факультета географии, 145-летию со дня рождения проф. В.П. Буданова. – Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 2017. – Ч.1– С. 372-376.
3. **Мохначев, П.Е.** Влияние условий формирования семян сосны обыкновенной на качество семенных потомств / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, А.М. Потапенко // Лесная наука, молодежь, будущее: матер. междунар. школы-конф. молодых ученых. – Гомель: ООО «Типография «Белдрук», 2017. – С. 206-210.
4. Кузьмина, Н.А. Накопленное техногенное воздействие в очагах загрязнения лесных экосистем на Южном Урале / Н.А. Кузьмина, С.Л. Менщиков, **П.Е. Мохначев** // Биологическая рекультивация нарушенных земель: матер. X Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 160-166.
5. Завьялов, К.Е. Анализ динамики ширины годичных колец (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения магнетитового производства / К.Е. Завьялов, **П.Е. Мохначев** // Биологическая рекультивация нарушенных земель: матер. X Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 115-124.
6. **Мохначев, П.Е.** Особенности развития сеянцев сосны обыкновенной в почвах из зон магнетитового загрязнения / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Биологическая рекультивация нарушенных земель: матер. X Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 226-232.
7. Мохначев, П.Е. Особенности развития сеянцев *Pinus silvestris* L. в техногенно загрязненных почвах / **П.Е. Мохначев**, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Леса России и хозяйство в них. – 2017. – №4(63). – С. 61-67.
8. Завьялов, К.Е. Радиальный прирост опытных культур (*Pinus sylvestris* L.) в условиях загрязнения комбинатом магнетит на Южном Урале / К.Е. Завьялов, С.Л. Менщиков, **П.Е. Мохначев** // Леса России и хозяйство в них. - 2017. – №4(63). – С. 41-48.
9. Menshikov, Sergey. Some transformation patterns of pre-tundra and taiga boreal forests in conditions of the aerotechnogenic pollutions / Sergey Menshikov, Nadezda Kuzmina, **Pavel Mohnachev** // Climat change & Tree migration: International Fore-stry & Environment Symposium. – Trabzon-Turkey, 2017. – P. 156.
10. **Мохначев, П.Е.** Использование показателей качества семян сосны обыкновенной для биоиндикации аэротехногенного загрязнения среды / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, А.М. Потапенко, И.Е. Корчагин // Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни: сб. науч. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: РГППУ, 2016. – С. 226-229.
11. Завьялов, К.Е. Оценка повреждения опытных культур (*Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях загрязнения комбинатом «Магнетит» на Южном Урале / К.Е. Завьялов, С.Л. Менщиков, **П.Е. Мохначев**, Н.А. Кузьмина // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – №4(59). – С. 35-41.
12. **Мохначев, П.Е.** Посевные качества семян сосны обыкновенной в условиях аэротехногенных выбросов магнетитового производства / П.Е. Мохначев, С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, А.М. Потапенко // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – №4(59). – С. 42-48.
13. Кузьмина, Н.А. Уровень загрязнения снега и почвы в зонах поражения лесной растительности под воздействием выбросов магнетитового производства / Н.А. Кузьмина, С.Л.

Менщиков, С.Г. Махнева, К.Е. Завьялов, **П.Е. Мохначев** // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – №4(59). – С. 49-55.

14. **Mohnachev, P.E.** Differentiation of *Pinus silvestris* L. trees by the female generative system in conditions of the strong magnesite pollution / P.E. Mohnachev, A.M. Potapenko // Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests: International scientific forum. - Astana, 2015. – P. 22-23.

15. Makhniova, S.G. Growth and development of seed progenies of Scots Pine in soils from areas of man-made pollution and background condition / S.G. Makhniova, **P.E. Mohnachev** // Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests: International scientific forum. - Astana, 2015. – P. 37-38.

16. **Мохначев, П.Е.** Сосна обыкновенная как биоиндикатор аэротехногенного загрязнения среды / П.Е. Мохначев, А.М. Потапенко, И.Е. Корчагин // Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни: сб. науч. трудов IX Всерос. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: РГППУ, 2015. – С. 126-131.

17. **Мохначев, П.Е.** Женская генеративная сфера сосны обыкновенной в условиях магнетитового загрязнения / П.Е. Мохначев // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Красноярск, 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 348-351.

18. Махнева, С.Г. Качество семенных потомств сосны обыкновенной разных происхождений на выровненном экологическом фоне / С.Г. Махнева, **П.Е. Мохначев** // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. – Красноярск, 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 343-346.

19. **Мохначев, П.Е.** Сохранность семян сосны обыкновенной *Pinus silvestris* L. в условиях магнетитового загрязнения / П.Е. Мохначев // Ботанические сады: от фундаментальных проблем до практических задач: сб. статей участников Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Екатеринбург, 2014. – С. 75-77.

20. Мохначев, П.Е. Морфометрические параметры шишек сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в условиях аэротехногенного загрязнения / **П.Е. Мохначев**, И.Е. Онучин // Ботанические сады: от фундаментальных проблем до практических задач: сб. статей участников Всерос. науч.-практ. конф. мол. уч.. – Екатеринбург, 2014. – С. 78-80.

21. Махнева, С.Г. Всхожесть семян сосны обыкновенной в почвах из зон техногенного загрязнения. / С.Г. Махнева, **П.Е. Мохначев**, С.Л. Менщиков // Биоразнообразии и культуроценозы в экстремальных условиях: матер. 2 Всерос. конф. – Апатиты, 2013. – С. 126-131.

22. **Мохначев, П.Е.** Характеристика морфологических и функциональных параметров семян и проростков сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения / П.Е. Мохначев, Н.А. Кузьмина // II (X) Междунар. Ботаническая конф. молодых ученых: тезисы докладов. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 124.

Отзывы на автореферат просим направлять в трех экземплярах по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37. УГЛТУ ученому секретарю диссертационного совета Д 212.281.01 Магасумовой А.Г.;  
e-mail: [dissovet.usfeu@mail.ru](mailto:dissovet.usfeu@mail.ru).

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2019 г. Заказ № \_\_\_\_\_. Объем 1 авт. л. Тираж 100 экз.  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». РИО, сектор оперативной полиграфии.