

ФГБУН "Ботанический сад УрО РАН"

На правах рукописи

**Мохначев Павел Евгеньевич**

**Воздействие аэротехногенного загрязнения на женскую  
генеративную систему и семенное потомство сосны  
обыкновенной**

Специальность 06.03.02 – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная  
таксация

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:  
доктор сельскохозяйственных наук  
Сергей Леонидович Менщиков

Екатеринбург – 2019

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	11
1.1. Состояние компонентов лесных насаждений в условиях воздействия аэротехногенных выбросов	11
1.2. Развитие женской генеративной системы сосны обыкновенной	17
1.3. Влияние условий среды на генеративную систему сосны обыкновенной	20
Глава 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ	25
2.1. Климатические условия	25
2.2. Рельеф	27
2.3. Гидрография	28
2.4. Почвы	28
2.5. Лесорастительные условия	28
Глава 3. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ	30
3.1. Объекты исследований	30
3.2. Методы исследований	38
3.3. Объем выполненных работ	41
Глава 4. ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНЕЗИТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЖЕНСКУЮ ГЕНЕРАТИВНУЮ СИСТЕМУ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ	42
4.1. Изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной	42
4.1.1. Морфология шишек, семенных чешуй и крылаток	42
4.1.2. Состояние семяпочек и семенная продуктивность	48

4.1.3. Качество семян и развитие проростков на начальной стадии онтогенеза	51
4.2. Сопряженная изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной	54
Глава 5. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЯН СОСНЫ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН, РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕЯНЦЕВ	65
5.1. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из фоновых условий	66
5.2. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из зоны слабого загрязнения	69
5.3. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из зоны среднего загрязнения	72
5.4. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из зоны сильного загрязнения	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	82
ПРИЛОЖЕНИЯ	113

## ВВЕДЕНИЕ

**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; 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, 2005б; Хромова, Романовский, 2002; Осколков, Воронин, 2003; Васфилов, 2005; Казанцева, 2005; Махнева, 2005; Федотов и др., 2006; Гераськин и др., 2008; Паничева, 2009; Ибрагимова, 2010; Евсеева и др., 2011; Иванов и др., 2013; Ангалът, 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 связана с продолжением комплексного исследования состояния компонентов лесных биогеоценозов в условиях загрязнения аэротехногенными выбросами комбината «Магнезит». Исследования ведутся в районе г. Сатка на опытных участках, созданными в градиенте магнезитового загрязнения в начале 80-х годов сотрудниками Уральской лесной опытной станции Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства и механизации.

В научной литературе имеется большое количество работ, посвященных изучению процессов репродукции основных лесообразующих видов в условиях разных типов загрязнения среды в основном предприятиями цветной и черной металлургии. 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; Паничева, 2009), а в условиях магнезитового загрязнения вовсе не проводились. Также в мировой литературе отсутствуют сведения о качестве семенного потомства сосны, произрастающей в условиях воздействия выбросов магнезитового производства и его реакции на почвы, загрязненные данным типом эмиссии.

Диссертация является законченным научным исследованием.

**Цель исследования:** изучить особенности воздействия выбросов магнезитового производства на женскую генеративную систему сосны обыкновенной (*Pinus silvestris L.*) и определить перспективы использования семенных потомств сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения для лесовосстановления.

**Задачи:**

1. Изучить количественные и качественные показатели женской генеративной системы сосны обыкновенной в градиенте магнезитового загрязнения 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 проведены исследования комплекса признаков, характеризующих состояние женской генеративной системы сосны обыкновенной; изучено влияние магнезитового загрязнения на динамику развития семяпочек; получены новые данные о влиянии загрязненных 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. В плане охраны природы и воспроизводства биологических ресурсов, значение работы связано с оценкой повреждений лесов в очагах загрязнения и с вопросами 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 (Романовский, 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. В условиях хронического многолетнего воздействия 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 магнезитового загрязнения.
3. На грунтовую всхожесть семян, рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной оказывают влияние, как условия формирования семян, так и почвенные условия древостоев.
4. Сеянцы семян, сформированных в градиенте магнезитового загрязнения, имеют измененный фенотип, отстают в росте и развитии и их применение для лесовосстановления не целесообразно.

**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 доложены на следующих научных мероприятиях:

1. Международной Ботанической Конференции молодых ученых в г. Санкт-Петербург (2012 г.);
2. 2-й Всероссийской конференции «Биоразнообразие и культуроценозы в экстремальных условиях» в г. Апатиты (2013 г.).
3. Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН: "Лес-

- ные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика" в г. Красноярск (2014 г.);
4. Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Ботанические сады: от фундаментальных проблем до практических задач» в г. Екатеринбург (2014 г.);
  5. VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Физиологические, психофизиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни» в г. Екатеринбург (2015 г.);
  6. IX Всероссийской научно-практической конференции «Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни» в г. Екатеринбург (2016 г.);
  7. Всероссийском конгрессе «Промышленная экология регионов» в г. Екатеринбург (2016 г.);
  8. Конференции «Экологическая безопасность промышленных городов – повышение качества жизни» в Екатеринбурге (2016 г.);
  9. V всероссийской научно-практической конференции «биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования» в Нижний Тагил (2017 г.);
  10. Международной научно-практической конференции 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» в г. Санкт-Петербург (2017 г.).
  11. X Всероссийской научной конференции с международным участием «Биологическая рекультивация нарушенных земель» в г. Екатеринбург (2017 г.).
- За рубежом материалы диссертации обсуждались на:
1. Международном научном форуме «Реабилитация и восстановление деградированных лесов» в г. Астана (Республика Казахстан) (2015 г.);



2. Международной школе-конференции молодых ученых «Лесная наука, молодежь, будущее» в г. Гомель (Республика Беларусь) (2017 г.);
3. International Forestry & Environment Symposium «Climat change & Tree migration» in Trabzon (Turkey) (2017 г.);
4. Международной научно-практической конференции «Биологическое разнообразие лесных экосистем: состояние, сохранение и использование» в г. Гомель (Республика Беларусь) (2018 г.).

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, разносторонней 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 С. Л. Меншикову, а также старшему научному сотруднику канд. биол. наук С. Г. Махневой за всестороннюю помощь в проведении исследовательской работы, обобщении и интерпретации полученных результатов и представлении работы к защите; канд. с-х. наук Д. Р. Аникееву за ценные консультации по методам обработки фактического материала; научному сотруднику канд. с-х. наук К. Е. Завьялову, младшему научному сотруднику Н. А. Кузьминой, старшему инженеру В. Д. Горбуновой за помощь в сборе материала.

**Структура и объем диссертации.** Текст диссертации изложен на 120 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, который состо-

ит из 299 источников, в том числе 43 иностранных, и 8 приложений. Материал иллюстрирован 13 таблицами и 48 рисунками.

## Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

**1.1. Состояние компонентов лесных насаждений в условиях воздействия аэротехногенных выбросов.** Леса в промышленно развитых регионах постоянно находятся под воздействием аэротехногенного загрязнения. Загрязнение в широком смысле – это поступление в биосферу любых веществ или энергии в количествах, способных изменить состав и свойства компонентов среды, а также оказать вредоносное воздействие на человека, флору и фауну (Проблемы экологии растительных сообществ, 2005).

Наиболее существенные источники загрязнения окружающей среды – автомобильный транспорт, предприятия черной и цветной металлургии и энергетики (Кулагин, 1980; Махнев, Любашевский, 1991; Афанасьева и др., 2004; Гридин, Ефимов, 2007; Стуканов и др., 2012; Государственный доклад..., 2017, 2018). Сернистый ангидрид, оксиды углерода, окислы азота, хлор, углеводороды, фенолы, соединения цветных металлов являются основными загрязнителями (Менщиков, Ившин, 2006; Желтов, Дорожкин, 2015; Государственный доклад..., 2017, 2018).

В условиях аэротехногенного загрязнения степень поражения лесных насаждений зависит, прежде всего, от качественного состава, концентрации и длительности воздействия токсикантов (Фоменко, Стрекалова, 1973; Vortiz, 1974; Воронцов, Исаев, 1979; Николаевский, 1979; Смит, 1985; Мартынюк, Данилов, 1989; Тарханов, 2010). Наиболее агрессивными по отношению к растениям являются газы (Луганский и др., 1996). Оказывают свое влияние климатические (Davis, 1975; Мюльгаузен, Панкратова, 2016) и погодные условия (Менщиков, Ившин, 2006; Шишкин, 2012б), рельеф местности (Шяптяене, 1988; Фомин, Шавнин, 2004; Базарский, Фонова, 2015), принцип перемещения воздушных масс (Brennan, Leone, 1968), возраст, структура и полнота древостоя (Тарханов, 2004; Довлетярова и др., 2012) и другие факторы. «Точечные» источники эмиссии предприятий могут создавать площадной эффект воздействия на биогеоценозы на разных уровнях от локального до регионального (Тарханов, 2010).

Поллютанты оказывают свое воздействие на растения, начиная от клеточных структур. Так, при воздействии двуокиси серы ультраструктурные нарушения

хлоропластов отмечены даже при отсутствии визуальных симптомов повреждения листьев растений (Godzik, Sassen, 1974). Рядом исследований выявлено, что хлоропласты являются наиболее чувствительной к загрязнению клеточной органеллой (Malhotra, Hocking, 1976; Илькун, 1978; Vodka, Bilyavs'ka, 2016) и именно в них в наибольшем количестве концентрируются токсические вещества, изменяя их структуры и подавляя выполняемые ими функции (Werner, 1981; Fink, 1983). При воздействии промышленных выбросов нарушаются процессы накопления хлорофилла, перестраивается клеточная структура мезофилла, вследствие чего нарушается метаболизм у деревьев (Grill et al., 1981; Завьялова и др., 1991; Тужилкина и др., 1998). В условиях загрязнения изменяется проницаемость клеточных мембран (Мамаев, Макаров, 1976; Неверова, 2003; Сарбаева и др., 2013). В зонах интенсивного техногенного загрязнения выявлено сильное ингибирование синтеза большинства фенольных соединений (Шавнин и др., 2014).

Отмечено, что листья являются чувствительными к поллютантам органами растений (Roy, Stanton, 1999; Полонский, 2016). В условиях аэротехногенного загрязнения выявлены видимые и скрытые нарушения ассимилирующих органов растений, снижается эффективность их деятельности (Болтнева и др., 1982; Рязанцева и др., 1999; Коновалов и др., 2001). Нарушается водообмен в листьях и хвое (Цветков, Цветков, 2003; Сенькина, 2017). Наблюдается снижение продуктивности хвои (Усольцев и др., 2012), сроков ее жизни, появление точечных и апикальных некрозов (Меншиков, Власенко, 2004; Ковылина и др., 2008; Бозшатаева и др., 2017). Хвоя у сосны вместо 5-7 лет, в условиях промвыбросов живет до 2-х лет, у ели соответственно эти показатели 8-10 и 2-3 года (Луганский и др., 1996). В зонах загрязнения происходит снижение приростов побегов (Махнева и др., 2017), торможение роста ассимиляционных органов, т.е. проявляется мелколистность (Кулагин, 1985), появляются признаки ксероморфности листьев (Ситников и др., 2016). В условиях воздействия силикатной пыли у сосны выявлено увеличение доли отмерших и недоразвитых спящих почек (Михеев, 1996). При воздействии поллютантов у поврежденных листьев снижается фотосинтетическая активность (Мальхорта, Хан, 1988; Воронкова, Прилуцкий, 1989; Русак и др.,

2018). Усиливаются процессы отмирания побегов различного порядка ветвления (Ярмишко, 1997), отмечается более раннее осеннее раскрашивание листьев и их опадение (Илькун, 1971; Васфилов, 1990; Залесов и др., 2018). Высокий уровень загрязнения приводит к структурным преобразованиям и деградации крон сосны (Ярмишко, 2007). Исследователи отмечают, что в вегетативных органах загрязняющие вещества накапливаются в больших количествах (Ostrolucka, Mankovska, 1986; Третьякова, 1996).

В условиях загрязнения у деревьев происходит снижение осевого и радиального прироста ствола (Kisser, 1965; Vacek et. al., 2017). С увеличением техногенной нагрузки уменьшается ширина годичного кольца (Щекалев, Тарханов, 2007; Завьялов, 2018), появляются случаи выпадения годичных слоев (Ярмишко, 1997).

Корневая система растений также является восприимчивой к воздействию поллютантов. Так, в результате воздействия кислых газов происходит снижение биомассы корневой системы (Marshall, Furnier, 1981; Jones, Mansfield, 1982). Повреждение корней может привести к снижению способности деревьев поддерживать буферность в листьях (Ulrich, 1983). Отмечено, что в корневой системе деревьев тяжелые металлы накапливаются в больших количествах, чем в коре и листьях (Кулагин, Шагиева, 2005; Лянгузова, 2010). Корневая система способна поглощать значительное количество тяжелых металлов, выводя тем самым их из биологического круговорота (Зайцев и др., 2017).

Аэротехногенные выбросы воздействуют на лес как непосредственным путем, контактируя с растениями (Николаевский, 1964; Кулагин, 1974; Болтнева и др., 1982; Schulz, 1986), так и опосредованно через негативное влияние на лесорастительные свойства почвы (Кулагин, 1964; Рябинин, 1965; Ulrich, 1983). Наибольшая аэротехногенная нагрузка приходится на верхние слои почв, именно в них наблюдаются максимальные концентрации аэротехногенных поллютантов (Рассеянные элементы..., 2004). Биохимическим барьером нисходящей миграции химических элементов, а также аккумулятором техногенных загрязнений являются органногенные горизонты лесных почв (Кислотные осадки..., 1999). Данные горизонты почвы являются основным источником питания растений в бореальных ле-

сах (Тарханов, 2010). Почва, аккумулируя загрязняющие вещества, может стать вторичным источником загрязнения приземного воздуха (Хазиев и др., 2000). Выявлена прямая зависимость накопления токсических соединений в вегетативных органах от их содержания в почве (Ostroluka, Mankovska, 1986; Supuka, 1993) и воздухе (Supuka, 1993; Кулагин, Шагиева, 2005).

Многими авторами выявлена высокая чувствительность живого напочвенного покрова к аэропромвыбросам (Дончева, 1978; Филипчук, Ковалев, 1990; Юсупов и др., 1999). Отмечается, что в условиях влияния промышленных выбросов снижается продуктивность и фитомасса травяно-кустарничкового яруса и лишайников, а также возможно полное выпадение из состава живого напочвенного покрова мхов (Ярмишко, 2012). Есть сведения о том, что изменения в травяно-кустарничковом ярусе происходят раньше древесного, когда уровень загрязнения превышен в 2,8-3,3 раза от фоновых условий, для древостоя этот показатель находится в пределах 3,4-4,5 раза (Воробейчик, Хантемирова, 1994).

В результате воздействия аэрополлютантов происходит деградация лесных сообществ ксилотрофных грибов. Сокращается их таксономический состав, подавляются генеративные функции, уменьшается конкурентная способность. В зонах аэротехногенного загрязнения отмечено усиление активности фитопатогенного компонента микобиоты и увеличение фауны древесного, что связано с ухудшением лесорастительных условий (Ставищенко, 2010).

Под влиянием аэротехногенных выбросов происходит уменьшение видового разнообразия почвенных водорослей (Новаковская, Патова, 2007).

Многими авторами отмечено, что по мере приближения к объекту эмиссий увеличивается мощность лесной подстилки (Воробейчик, 1995, 2003; Кайгородова, Воробейчик, 1996; Ворон и др., 2000; Агиков, 2012; Залесов и др., 2017). В некоторых случаях выявлено накопление лесной подстилки в буферных зонах (от 33 до 100% в сравнении с фоновыми условиями), в то время как в импактных зонах подстилка может полностью отсутствовать (Агиков, 2012). Увеличение мощности лесной подстилки авторы связывают с рядом причин, во-первых, с увеличением интенсивности опада (Кайбияйнен и др., 1998). Во-вторых, с тем, что резко сни-

жается численность беспозвоночных сапрофагов, а также происходят изменения в их трофической структуре, которые выражаются в смене доминирования сапрофагов на фитофагов и хищных беспозвоночных (Танасевич и др., 2009; Агиков, 2012; Воробейчик и др., 2012). Вследствие этого, измельчение и увлажнение растительных остатков, т.е. подготовительный этап деструкции, затормаживается, либо вовсе прекращается, что накладывает свой отпечаток на непосредственную деструкцию и возврат минеральных соединений в почву по средствам мицелиально-бактериального комплекса (Агиков, 2012). Под воздействием поллютантов уменьшается длина грибного мицелия, а также снижается численность грибов, благодаря которым осуществляется деструкция органических веществ (Bowen, 1973; Коваленко, Бабушкина, 2003; Ставищенко, 2010). В лесной почве создаются условия для бактериальной группы микроорганизмов, которые характеризуют подстилку с ее медленным разложением (Шебалова и др., 1990). Сужение соотношения концентраций химических элементов в растворах из подстилки и иллювиальных горизонтов, указанное в некоторых работах (Копчик и др., 2007), свидетельствует о частичной потере в зонах загрязнения биогеохимической функции подстилки. Также вблизи промышленных предприятий отмечено замедление темпов деструкции крупных древесных остатков, что приводит к накоплению валежа в градиенте загрязнения (Бергман, Воробейчик, 2017).

Отмечено неблагоприятное санитарное состояние насаждений, примыкающих к крупным источникам атмосферного загрязнения (Кулагин, 1985; Степанчик, 1998; Менщиков, Ившин, 2006; Бачурина, 2008; Паничева и др., 2009; Шишкин и др., 2014; Дубровина, Зайцев, 2015), увеличивается пораженность гнилевыми болезнями (Колтунов и др., 2008; Колтунов, 2008, 2011, 2013). В условиях загрязнения снижается разнообразие древесно-кустарниковой растительности (Залесов и др., 2014). По мере приближения к источникам загрязнения снижается фитомасса древостоев (Завьялов, 2009; Усольцев и др., 2017). При воздействии поллютантов на растения происходит их ускоренное старение, сокращение сроков жизни (Heath, 1980; Николаевский, 1999).

Показано, что в условиях аэротехногенного загрязнения снижается устойчивость растений к некоторым неблагоприятным факторам среды, таким как засоление почв, засуха, заморозки (Vortiz, 1968; Федорков, 2002; Ворон, Бологов, 2015).

Таким образом, поллютанты отрицательно воздействуют на все компоненты насаждений, что приводит к гибели как отдельных видов и сообществ растений, так и к деградации насаждения в целом (Алексеев и др., 1989; Васильева, Гитарский, Карабань, Назаров, 2000), образованию техногенных ценозов и пустошей (Трубина, Махнев, 1997; Горчаковский и др., 2004; Менщиков, Ившин, 2006; Шишкин, 2012а, 2016).

Некоторыми учеными установлены принципы устойчивости древесных растений к техногенному стрессу. Так, устойчивость к загрязнению воздуха тесно связана с видом. Наименьшая устойчивость отмечена для пихты сибирской (*Abies sibirica Ledeb.*), сосны обыкновенной (*Pinus silvestris L.*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica Ledeb.*), ели сибирской (*Picea obovata Ledeb.*), ели европейской (*Picea obovata L.*). Более устойчивыми к воздействию поллютантов считаются лиственные виды – представители семейства ивовых (*Salicaceae*), осина обыкновенная (*Populus tremula L.*), береза повислая (*Betula pendula Roth.*), береза пушистая (*Betula pubescens Ehrh.*) (Рожков, Казак, 1989; Ситникова, 1990; Рунова, 1999).

Хвойные породы, особенно представители семейства Pinaceae, наиболее подвержены воздействию токсикантов (Илькун, 1971; Keller, 1975; Гудериан, 1979; Рожков, Михайлова, 1989; Ярмишко, 1997; Осколков, Воронин, 2003; Менщиков, Ившин, 2006). Высокую повреждаемость хвойных видов связывают с большой продолжительностью жизни хвои и повышенной поражаемостью грибами и энтомофагами (Антипов, 1979).

Большой устойчивостью обладают молодые растения с интенсивным ростом (Красинский, 1950; Чжан, 1999). У древесных видов отмечена наибольшая устойчивость хвои и листьев в молодом возрасте, в период активного роста (Гудериан, 1979; Karhu, Huttunen, 1986). Установлена положительная связь между устойчивостью вида к экстремальным условиям произрастания и факторам техногенного загрязнения (Кулагин, Зайцев, 2008). Отмечена обратная связь между скоростью



фотосинтеза и устойчивостью растений к диоксиду серы (Баракхенова, 1980). Более устойчивыми к воздействию выбросов являются высокополнотные насаждения (Молчанов, 1968; Harle, 1984).

Отмечено, что лесные экосистемы отличаются сильными буферными свойствами и способны противостоять воздействию поллютантов и обеспечивать поддержание стабильной природной обстановки в условиях слабого и среднего уровня загрязнения (Бусько, 1995).

Среди видов промышленных производств и соответствующих им типам аэротехногенных выбросов, особое место занимает магнезитовое производство, характеризующееся загрязнением окружающей среды пылью, состоящей из окиси магния, которая имеет сильнощелочную реакцию (Кулагин, 1964а, 1964б; Vublinc, 1977; Kaleta, 1977; Менщиков, 1985; Кузьмина, Менщиков, 2015; Fazekasova et al., 2017). В условиях данного типа загрязнения обнаружено превышение предельных значений тяжелых металлов в почве (Hulicova et al., 2017), изменение кислотности почвенного раствора в сторону увеличения показателя pH (Менщиков и др., 2012; Fazekasova et al., 2017; Fazekas et al., 2018), нарушение естественного соотношения между элементами в почвенном поглощающем комплексе (Кузьмина и др., 2016), снижение органического углерода и азота (Joshi, 1997). Магнезитовая пыль образует корку на поверхности почвы, что ухудшает ее пористость и проницаемость (Zhang et al., 2018). У деревьев наблюдается ухудшение жизненного состояния (Завьялов и др., 2016; Менщиков и др., 2016), сокращение сроков жизни хвои (Менщиков, 1985), нарушение процессов фотосинтеза (Кулагин, 1964а), снижение радиального прироста (Zavyalov et al., 2018). Отмечено изменение видового разнообразия растительного покрова (Fazekas et al., 2017, 2018).

**1.2. Развитие женской генеративной системы сосны обыкновенной.** Известно, что женская генеративная система сосны обыкновенной имеют сложное анатомическое строение репродуктивных структур, характеризуется многостадийностью развития и длительностью формирования.

В апикальной меристеме в конце вегетационного периода (за два года до опыления) образуются примордия чешуй, выделяющих новую почку (Некрасова,

1960; Михалевская, 1963). Внутри почек в пазухах фертильных кроющих чешуй за год до опыления происходит заложение зачатков микро- и макростробилов (Некрасова, 1960; Михалевская, 1963). Макростробилы, укрытые почечными чешуями, расположены в верхней части побега, среди боковых мутовчатых вегетативных почек. В этот же год в конце вегетации в генеративных почках формируются мужские стробилы с дифференцированными зачатками микроспорофиллов и женские стробилы с зачатками кроющих чешуй. На следующий год почти одновременно с нижерасположенными брахибластами макростробилы трогаются в рост, тогда как соседствующие почки, содержащие вегетативные мутовчатые побеги, еще один год сохраняют покой. Два года до опыления составляют «скрытую фазу» формирования урожая семян сосны обыкновенной (Романовский, 1997).

Развитие женских гаметофитов у сосны обыкновенной длится два года (Хромова и др., 1990). Весной в год опыления заключенные в почках побеги начинают рост, удлиняются и выносят на свет стробилы. В женских стробилах в это время заканчивается формирование семяпочек, которые приходят в состояние готовности улавливания пыльцы (Романовский, 1997). В нуцеллусе ко времени опыления можно наблюдать первые этапы формирования зародышевого мешка (Козубов, 1974). В макростробилах четко выделяется фертильная зона. Величина фертильной зоны различна у разных шишек и содержит 12-24 чешуи (Некрасова, 1983). На каждой чешуе находятся две совершенно одинаковые по морфологии семяпочки (Абатурова и др., 1997). Готовые к опылению семяпочки имеют хорошо сформированную микропилярную трубку, завершающейся двумя микропилярными выростами-«руками». Клейкие «руки» улавливают пыльцу, которая доставляется в пыльцевую камеру семяпочки, и там, на поверхности нуцеллуса прорастает. Образуется короткая ветвящаяся пыльцевая трубка. В пыльцевую трубку входит вегетативное ядро и останавливается перед ее разветвлением. На этой фазе мужские гаметофиты прекращают развитие до следующей вегетации (Романовский, 1997). Опыленные семяпочки в свободноядерном макрогаметофите в результате пяти синхронных делений увеличиваются в размерах до 0,1 мм длины и в таком состоянии остаются зимовать. Неопыленные семяпочки останавливаются

в развитии, на их месте в зрелых шишках остаются неотделяющиеся от семенной чешуи крылатки (Романовский, 1989, 1997; Ставрова, 1990). Макростробилы на данном этапе увеличиваются незначительно: от 5-6 до 6-9 мм (Минина, Ларионова, 1979). Зародышевый мешок к концу вегетационного периода заполняется вязкой плазмой, в которой в постенном слое располагаются свободные ядра (Козубов, 1974). Через месяц после опыления семенные чешуи шишек сосны плотно смыкаются, в местах их соприкосновения образуется «сшивка» из зубчатых тонкостенных клеток, которые закупоривают полость между семенными чешуями, изолируя семяпочку от внешней среды (Козубов, 1974).

Весной в год оплодотворения начинается сначала медленный, затем интенсивный рост макрогаметофитов, семяпочек, макростробилов. На фазе медленного роста в макрогаметофите возобновляются синхронные деления ядер. Семяпочки достигают размера 1,5-2,5 мм, макростробилы 1-2 см (Романовский, 1997). Женские гаметофиты посредством интенсивных делений переходят к клеточному строению и формированию архегониев. После созревания яйцеклетки микрогаметофиты переходят к ускоренному росту, пыльцевые трубки через ткань нуцеллуса устремляются к архегониям, происходит деление генеративного ядра, выход спермиев и оплодотворение яйцеклетки (Романовский, 1997). После оплодотворения в результате ряда делений зиготы образуется сначала 8-ядерный первичный проэмбрио, затем проэмбрио I и проэмбрио II (Козубов, 1974).

В семяпочке из оплодотворенных яйцеклеток вырастает от 1 до 4 проэмбрионов. Макрогаметофит после оплодотворения преобразуется в запасную ткань – эндосперм, в центре которой выделяется зародышевая полость. Зародыши врастают в эту полость и питаются, поглощая из нее органические вещества. К моменту созревания семени из конкурирующих в зародышевой полости эмбрионов выживает один, который превращается из округлой структуры в удлиненную, несущую на вершине апикальную меристему, окруженную зачатками семядолей (Романовский, 1997). В зрелом семени эмбрион состоит из эпикотилия, семядолей, гипокотилия и корня (Козубов, 1974).

Таким образом, процесс формирования семян сосны обыкновенной характеризуется длительностью и сложностью процессов развития.

**1.3. Влияние условий среды на генеративную систему сосны обыкновенной.** Генеративную систему основных лесообразующих хвойных пород изучали в различных экологических и географических условиях: в условиях Севера (Sarvas, 1967; Козубов, 1974; Земляной, Барановский, 2007), в условиях Сибири (Некрасова, 1983; Тихонова, 2007), в горах (Третьякова и др., 2003; Бажина и др., 2007; Белова, Бажина, 2007; Велисевич и др., 2009; Квитко, Муратова, 2009), при засухе (Тихонова, 2005; Кузнецова, 2010), при переувлажнении (Петрова, Санников, 1996; Пименов и др., 2011; Кочубей, 2017), в условиях дендрария (Бажина и др., 2005; 2007а), в условия изменения климата (Носкова, Третьякова, 2011), в условиях генетических резерватов (Лебедев, 2017). Авторами отмечена высокая зависимость генеративных процессов от условий внешней среды.

В условиях аэротехногенного загрязнения состояние генеративной системы хвойных растений, в том числе сосны обыкновенной, было изучено в условиях произрастания в крупных городах (Казанцева, 2005; Ангальт, Жамурина, 2014; Бажина, Скрипальщикова, 2014; Садакова, Колясникова, 2014), вблизи автодорог (Романовский, 1992, 1993, 1997; Ибрагимова, 2010), под действием выбросов предприятий черной и цветной металлургии (Шкарлет, 1974; Федотов и др., 1983; Васфилов, 2005; Коршиков и др., 2015), цементного производства (Хромова, Романовский, 2002; Иванов и др., 2013), фтористых выбросов (Зуева, Камешков, 1989; Зуева и др., 1991; Аникеев и др., 2000; Махнева, 2005; Паничева, 2009), загрязнения радионуклидами (Тихомиров, Федотов, 1982; Хромова и др., 1990; Хромова, Духарев, 1993; Кистерный, 1995; Скок, 2002, 2005а, 2005б; Федотов и др., 2006; Гераськин и др., 2008; Евсеева и др., 2011). Авторами выявлены геномные и хромосомные нарушения на разных этапах генеративного процесса, увеличение частоты генных мутаций, снижение выживаемости семян в гаметофитный и эмбриональный периоды, замедление темпов роста и уменьшение размеров женских шишек, снижение выхода полнозернистых семян и увеличение числа

пустых семян в шишках, ухудшение посевных качеств семян, задержку роста проростков семян.

Выявлено, что мутации наиболее активно образуются в репродуктивной системе (Алтухов, 1989; Хромова и др., 1990; Федорков, 1994; Бахтиярова, 1997; Калашник, 2017). В результате чего может накапливаться генетический груз данного и последующих поколений, что может привести к снижению их жизненного потенциала и изменению генофонда популяции (Романовский, 1997; Micieta, Murin, 1997; Муратова, Седельникова, 2004; Нахаева и др., 2015).

Установлено, что воздействие техногенного загрязнения на генеративную систему растений идет как прямым, так и косвенным путем через ухудшение процессов фотосинтеза (Илькун, 1978; Николаевский, 1979), уменьшение размеров и повреждения ассимиляционного аппарата (Wolters, Martens, 1987).

Установлена зависимость наступления фенологических фаз и этапов развития генеративных органов от условий загрязнения. В условиях загрязнения по всем фенофазам наблюдается отставание в развитии генеративных органов (Шкарлет, 1974).

Исследования показывают, что в условиях промышленных загрязнений у хвойных изменяется периодичность в шишконошении (Моложавский, 2001). Снижается урожайность, как у деревьев индивидуально, так и насаждения в целом (Луганский, Калинин, 1990; Palowski, 2000).

О.Д. Шкарлет (1974) отмечает, что в условиях загрязнения уменьшается исходное количество генеративных зачатков. Особенно велик отпад однолетних шишечек (до опыления), а также двухлетних шишек после перезимовки. В условиях сильного загрязнения формируются невызревающие шишки, у которых не раскрываются семенные чешуи в период вылета семян.

Размеры шишек, являясь интегральным показателем, отражают как биологические особенности деревьев, так и условия их произрастания (Седельникова, Муратова, 1991). Под действием аэротехногенного загрязнения происходит снижение длины и диаметра женских шишек, уменьшается их масса (Sidhu, Staniforth, 1986; Осколков, Воронин, 2003; Ибрагимова, 2010). Исследователи свя-

зывают это с недостаточным питанием растущих почек с зачатками женских шишек (Шкарлет, 1974).

В условиях загрязнения в шишках уменьшается число семенных чешуй (Ибрагимова, 2010) и относительное число фертильных чешуй (Абатурова и др., 2002), увеличивается число неразвитых чешуй (Носкова, Третьякова, 2005).

Отмечено, что пол дерева зависит от условий произрастания (Мамаев, 1973; Минина, 1975; Тихонова, 2007). Для загрязненных территорий характерно увеличение доли женских и смешаннополых деревьев, уменьшается численность деревьев, формирующих мужские генеративные органы (Шкарлет, 1974).

В условиях загрязнения у хвойных нарушается микроспорогенез – выявлен асинхронный мейоз, отставание и фрагментация хромосом, появление триад микроспор (Федорков, 1995; Ясофиева и др., 2000). При аэротехногенном загрязнении отмечено снижение продуктивности пыльцы и ее жизнеспособности у разных видов *Pinus* (Подзоров, 1965; Houston, Dochinger, 1977; Cela Renzoni et al., 1990; Ostrolucka et al., 1995; Третьякова, 1996; Осколков, 1999; Федорков, 1999; Третьякова, Носкова, 2004; Махнева, 2005; Korshikov et al., 2015). Также в условиях загрязнения снижается интенсивность женского «цветения» и тем больше, чем выше степень загрязнения (Шкарлет, 1974).

В условиях загрязнения цементной пылью выявлено, что пылевые частицы попадают на нуцеллус семязачатка и «конкурируют» с пыльцой в процессе опыления (Хромова, Романовский, 2002). Считается, что в экологически неблагоприятных условиях произрастания основной причиной гибели семян недостатком пыльцы, либо ее низкого качества (Frankel, Galun, 1966; Кузнецова, 1991; Романовский, 1997; Носкова, Третьякова, 2006 и др.). Вероятно, что благополучное опыление семян зависит от количества пыльцы, однако, некоторыми авторами (Некрасова, 1983) выявлено, что семяпочки остаются неопыленными даже в условиях высокого насыщения воздуха пылью. Опыление является успешным лишь в результате взаимодействия двух важных факторов: полноценной пыльцы, которая соответствует генотипу опыляемого дерева, и семяпочки, физиологически способной и генетически «согласной» стимулировать её

проращение. Таким образом, в процессе опыления семяпочка играет активную роль и является одним из факторов успешного опыления, а эффективность опыления имеет зависимость от степени сформированности семяпочки (Абатурова и др., 1997). Причиной гибели семяпочек может являться нарушения трофических функций в них и конкуренция за питательные вещества, а не недоопыление и плохое качество пыльцы (Шкарлет, 1974).

После оплодотворения семяпочки переходят к эмбриональному периоду развития. Отмечено, что эмбриональный период развития семяпочек более защищен от внешних воздействий, нежели гаметофитный. Если в начале развития женских гаметофитов выделяется уязвимый момент: фаза открытой шишки и начало мейоза, то развитие эмбрионов проходит под защитой семенных чешуй. Эмбрионы недоступны прямому действию мутагенов-аэрополлютантов, защищены от ультрафиолетового облучения, бета-радиации (Романовский, 1997). Также выявлено, что наиболее интенсивная отбраковка исходных нарушений и мутаций происходит в гаметофитный период и на эмбриологический период, как правило, приходится незначительная степень гибели семяпочек (Ставрова, 1990; 1992; Романовский, 1993, 1997; Аникеев, 2000; Аникеев и др., 2000).

Отмечено, что выход пустых семян сильно зависит от внешних условий (Чернодубов, 1994). В условиях загрязнения число пустых семян может составлять: 55% у лиственницы сибирской, 87% у сосны обыкновенной, до 100% у пихты сибирской (Третьякова и др., 2001). Возможной причиной гибели эмбрионов и появления пустых семян является несовместимость зародышей и эндоспермов. Вследствие самонесовместимости множество пустых семян образуется при самоопылении (Романовский, Хромова, 2013).

В целом в условиях загрязнения семенная продуктивность снижается, в шишках уменьшается как число, так и доля полнозернистых семян (Шкарлет, 1974; Бабушкина и др., 1993; Аникеев, 2000; Осолов, Воронин, 2003; Казанцева, 2005; Ибрагимова, 2010; Ангалът, Жамурина, 2014 и др.). При этом возможно снижение (Подзоров, 1965; Шкарлет, 1974), так и увеличение массы семян (Аникеев, 2000; Носкова, Третьякова, 2006; Махнева, Менщиков, 2012; Бажина, Скрипальщикова,

2014), а также отсутствие различий с фоновыми условиями (Казанцева, 2005; Махнева, Менщиков, 2012).

Отмечено, что семена больше защищены от воздействия негативных факторов по сравнению с ранними структурами мужской и женской генеративных систем и вегетативными органами (Wolters, Martens, 1987). Влияние слабых концентраций загрязнения на развитие семян несущественно и практически не отражается на энергии прорастания и всхожести (Шкарлет, 1974). С увеличением степени загрязнения среды посевные качества семян снижаются (Аникеев и др., 2000; Ибрагимова, 2010; Лянгузова, 2011).

Окраска семенной кожуры у сосны и других видов хвойных является наследственным признаком, имеющим адаптивное значение (Седельникова, Муратова, 1991). В условиях аэротехногенного загрязнения отмечается высокая всхожесть темных семян сосны (81-85%) в не зависимости от степени загрязнения участка, однако, встречаемость деревьев, формирующих такие семена, с приближением к источнику загрязнения снижается (Валетова, Егоркина, 2008). Другие авторы не выявили зависимости между окраской семян и степенью загрязнения участков (Вахнина, 2009).

Некоторыми авторами отмечена высокая толерантность женской генеративной системы к влиянию аэротехногенных выбросов – даже при сильном повреждении деревьев формирование женских шишек не прекращается и продукция семян продолжается до тех пор, пока окончательно не засохнет ветка, несущая шишки (Третьякова, 1997; Ибрагимова, 2010).



## Глава 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

**2.1. Климатические условия.** Климат Саткинского района Челябинской области, в пределах которого находится район исследования, континентальный. Его особенности связаны с расположением области в центре Евразии, на большом удалении от морей и океанов. Зима, как правило, в меру холодная, лето иногда теплое, иногда жаркое. Весной возможны резкие перепады температуры (Т), как в отрицательную сторону, так и в положительную. Вегетационный период начинается в третьей декаде апреля. В мае и даже в июне часто бывают возвраты холодов, нередко сопровождаемые обильным выпадением снега, что связано с вторжением арктического воздуха. Поздне-весенние заморозки отмечены в конце мая – начале июня, ранне-осенние – в первой декаде сентября. Осень, как правило, довольно теплая. Начало осени характеризуется устойчивой ясной погодой. В первой половине ноября образуется устойчивый снежный покров, его разрушение происходит в начале апреля. Таким образом, средняя продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 164 дня (Справочник по климату..., 1966).

Климатическую характеристику района исследования дают многолетние данные метеостанцией: Миньяр, Кропачево, Златоуст, Бердяуш. Наиболее близко-расположенной к району исследований является метеостанция Бердяуш. По данным ее многолетних наблюдений климат района исследований характеризуется следующими показателями: среднегодовая Т воздуха –  $+0,7^{\circ}\text{C}$ ; сумма плюсовых среднесуточных Т от 0 до  $+5^{\circ}\text{C}$  –  $2101^{\circ}\text{C}$ , то  $+5$  до  $+10^{\circ}\text{C}$  –  $2007^{\circ}\text{C}$ , выше  $+10^{\circ}\text{C}$  –  $1666^{\circ}\text{C}$ ; длительность периода с Т выше  $+5^{\circ}\text{C}$  – 158 дней, выше  $10^{\circ}\text{C}$  – 114 дней; среднемесячная Т воздуха июля (самого теплого месяца)  $+16,6^{\circ}\text{C}$ , января (самого холодного месяца)  $-16^{\circ}\text{C}$  (Таблица 2.1); сумма осадков за год – 555 мм, 45% осадков выпадает в летний период (максимум в июле), зимой их количество резко уменьшается и составляет 26% годовой суммы (минимум в феврале).

**Таблица 2.1.** – Среднемноголетняя температура воздуха

Месяц	T, °C
1	-16,0
2	-14,3
3	-7,7
4	+2,3
5	+10,0
6	+14,8
7	+16,6
8	+14,4
9	+8,4
10	+1,2
11	-7,7
12	-14,1

Район исследования характеризуется следующим ветровым режимом: летом преобладают северные и северо-западные ветры, зимой наблюдается увеличение юго-западных и западных ветров. В течение года преобладают западные и юго-западные ветры (Таблица 2.2).

**Таблица 2.2.** – Среднемноголетняя повторяемость направлений ветра, %

Месяц	С	С-В	В	Ю-В	Ю	Ю-З	З	С-З
1	2	10	15	4	3	21	42	3
2	1	11	17	4	4	20	38	5
3	2	7	15	4	3	20	44	5
4	3	6	13	5	5	18	40	10
5	5	7	12	6	5	15	38	12
6	6	7	12	5	4	14	39	13
7	10	10	14	4	3	10	36	13
8	6	9	15	4	3	9	38	16
9	3	6	7	3	5	16	50	10
10	2	4	6	3	5	22	51	7
11	1	5	11	2	3	20	54	4
12	1	6	11	2	2	23	50	5
Средняя за год	4	7	12	4	4	17	43	9

Для данного района характерны слабые и умеренные ветры. Максимальная скорость ветра наблюдается в марте, мае и октябре и составляет 2,2 м/с.

Следует отметить, что именно в северо-восточном направлении от источника выбросов магнезитового производства и проявляется негативное воздействие поллютантов на окружающую среду.

Учитывая вышеизложенное, следует заключить, что для произрастания основных лесообразующих видов данной лесорастительной зоны, климат района исследования является благоприятным.

**2.2. Рельеф.** Регион исследования расположен на хребте Уральском в северной части Южного Урала. Рельефные формы данного района образуют ландшафт среднегорного типа (Гарань, 1938). Рельеф носит однотипный характер с мягкими, сглаженными контурами и сравнительно небольшой высотой хребтов (500-700 м). Геологические образования составляют Саткинскую свиту, которая сложена преимущественно карбонатными породами и относятся к докембрийским и нижнепалеозойским периодам (Львов, 1939; Геология..., 1969). Данная свита по литологическим признакам разделена на 5 подсвит. Верхняя толща наполнена главным образом темно-серыми и черными мраморовидными битуминозными доломитами, переходящими кверху в доломитовые и чистые известняки. Среди карбонатных пород встречаются слои черных и зеленовато-серых известковых филлитов, а в северо-восточной части района доломиты переслаиваются с песчаниками и песчанистыми сланцами. Именно в этом слое находятся Саткинские месторождения кристаллических магнезитов. В районе исследований суммарная мощность Саткинской свиты достигает 2400 м. Наиболее распространены диориты, диабазы, габбро.

Коренные породы, перечисленные выше, трудно поддаются процессу выветривания, а образующиеся мелкоземлистые частицы сносятся с верхних частей склонов в долинные, что способствует образованию недоразвитых, скелетных, каменистых или щебенчатых почв на возвышенных частях. На отлогих склонах происходит формирование мелкоземлистого горизонта небольшой мощности (20-25 см). За счет неоднородности пород по скорости выветривания происходит со-

четание грубоскелетных почв с мелкоземлистыми, наблюдаются частые выходы коренных пород.

**2.3. Гидрография.** Гидрологическая сеть северо-западной части челябинской области характеризуется большой густотой и разветвленностью. Основные реки: Уфа, Ай, Большая Сатка, Юрюзань, Сим и другие относятся к Волжско-Камскому бассейну. Для данных рек, как горных, характерны быстрое течение, каменистое дно, обрывистые берега, узкие долины, резкие коленчатые изгибы. Река Большая Сатка является самой полноводной рекой, пересекающей территорию Саткинского района. Ее основные притоки: реки Черная, Малая Сатка, Большой Бердюш. Глубина реки Большая Сатка 0,1-1,0 м, местами до 3,5 м. Вода гидрокарбонатная с преобладанием ионов  $\text{Ca}^{++}$  (Ресурсы..., 1973).

**2.4. Почвы.** В районе исследований преобладают серые лесные почвы (Погодина, Розова, 1968; Национальный атлас..., 2011). Также встречаются горные дерново-лесные почвы с маломощным гумусовым и слабо выраженным иллювиальным горизонтами. На склонах формируются серые и темно-серые лесные почвы, очень часто с высоким содержанием щебня и с низкой степенью оподзоливания. Равнины представлены выщелаченными черноземами и дерново-луговыми почвами (Богатырев, Ногина, 1962).

Таким образом, в основном почвенный покров района исследования представлен серыми лесными почвами, которым в большинстве случаев свойственен горный облик.

**2.5. Лесорастительные условия.** По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова опытные участки расположены в Уральской горной области Юрюзанско-Верхнеайского округа Южноуральской провинции горных южнотаежных и смешанных лесов (Колесников, 1969). Основные лесообразующие виды – береза и сосна (Коростелев, 1975).

По классификации уральских ученых в районе исследования преобладают вторая и третья группы лесорастительных условий (Фильрозе, Прокопов, 1974). Вторая группа отличается крайне неустойчивым водным режимом почвогрунтов. Для нее свойственны участки как с пологими, так и с покатыми склонами, а также

участки на плоских вершинах с неглубокими почвами (до 50 см), расположенные на водопроницаемом «рухлике» и крупных глыбах горных пород. Также характерны незначительные запасы влаги в почве. Третья группа – группа с устойчивым водным режимом. Для данной группы типичны участки на вогнутых элементах рельефа, пологих склонах и в долинах, с почвами, имеющими глубокий профиль. Преобладает атмосферное увлажнение и частично почвенно-грунтовое. Ресурсы почвенной влаги значительные. Данным группам лесорастительных условий по генетической классификации Б.П. Колесникова соответствуют сосняки ягодниковые и разнотравные (Колесников и др., 1973).

#### Выводы:

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. Район исследования расположен в подзоне хвойно-широколиственных лесов лесной зоны Южного Урала. В целом, лесорастительные условия района исследований благоприятные для произрастания лесообразующих видов данной подзоны. Отметим, что под длительным воздействием аэропромвыбросов магнезитового производства в лесном покрове произошли значительные изменения.

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

**3.1. Объекты исследований.** Женскую генеративную систему сосны обыкновенной исследовали на территории Саткинского лесничества 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 берёзы повислой (*Betula pendula Roth.*), которые были созданы в 1980–1983 гг. рядовой посадкой в градиенте загрязнения аэропромвыбросами комбината «Магнезит» (Рисунок 3.1) и фоновых условиях.



**Рисунок 3.1.** – Комбинат «Магнезит»

При создании лесных культур использовали несколько вариантов мелиорантов: азотно-фосфорно-калийные удобрения (NPK-30 и NPK-90 кг/га по д.в.), низинный торф слоем 2 см, низинный торф слоем 12 см (только для березы), слабый раствор серной кислоты (для снижения щелочности почвы). Обработка почвы велась плугами ПЛП-135 и ПЛН-3-35 с фрезерованием ФЛУ-0,8. Лесные культуры закладывались 2-х летними отборными сеянцами, выращенными в лесном питомнике на

базе Саткинского лесхоза (в настоящее время Саткинское лесничество) из семян местного происхождения. Закладывали данные культуры научные сотрудники Уральской лесной опытной станцией Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства и механизации (в настоящее время – отдел Лесоведения Ботанического сада УрО РАН) С.Л. Менщиков и Т.Б. Сродных под руководством Н.А. Луганского и Г.Г. Терехова для изучения пригодности почв и возможности лесовосстановления в градиенте магnezитового загрязнения.

Характеристика ОУ (Менщиков, 1985; Сродных, 1986):

ОУ-2 характеризуется сильным уровнем загрязнения, расположен в северо-восточном направлении на расстоянии 1 км от источника поллютантов на склоне южной экспозиции в средней части, крутизна склона 8-10°. Тип почвы – горная серая лесная сильно-оподзоленная, легко-суглинистая, каменистая. Тип леса – Сяг. Экземпляры сосны обыкновенной на момент исследования сохранились небольшими куртинами в варианте опыта с торфом (Рисунок 3.2).



**Рисунок 3.2.** – Культуры сосны обыкновенной в зоне сильного загрязнения (ОУ-2, вариант с торфом), фото июль 2013 г.

ОУ-5 характеризуется средним уровнем загрязнения, расположен в северо-восточном направлении в 3 км от источника поллютантов на верхней части скло-

на южной экспозиции, крутизна склона 3-5°. Тип почвы – горная серая лесная легко-суглинистая неполно развитая. Тип леса – Сяг. На момент исследования культуры сосны обыкновенной сохранились во всех вариантах опыта и представляют собой сомкнутый древостой (Рисунок 3.3).



**Рисунок 3.3.** – Культуры сосны обыкновенной в зоне среднего загрязнения (ОУ-5), фото июль 2013 г.

ОУ-4 характеризуется слабым уровнем загрязнения, расположен в северо-восточном направлении в 10 км от источника поллютантов на средней части склона восточной экспозиции, крутизна склона составляет 3°. Тип почвы горная серая лесная средне-оподзоленная, средне-суглинистая. Тип леса – Сяг. На момент исследования культуры сосны обыкновенной сохранились во всех вариантах опыта и представляют собой сомкнутый древостой (Рисунок 3.4).

ОУ-К расположен с заветренной стороны в юго-западном направлении в 25 км от источника выбросов вне зоны загрязнения (фоновые условия) на средней части склона западной экспозиции, крутизна склона составляет 3°. Тип почвы – горная серая лесная средне-оподзоленная, средне-суглинистая. Тип леса – Сяг. На



момент исследования культуры сосны обыкновенной представляют собой сомкнутый древостой (Рисунок 3.5).



**Рисунок 3.4.** – Культуры сосны обыкновенной в зоне слабого загрязнения (ОУ-4), фото июль 2013 г.



**Рисунок 3.5.** – Культуры сосны обыкновенной в фоновых условиях (ОУ-К), фото июль 2013 г.

Возраст древостоя на момент проведения исследований составил 30-35 лет. Таксационная характеристика исследуемых насаждений опытных культур сосны обыкновенной приведена в таблице 3.1.

**Таблица 3.1.** – Таксационная характеристика насаждений опытных культур сосны обыкновенной

Признак	ОУ-2	ОУ-5	ОУ-4	ОУ-К
Высота, м	5,90±0,26*	6,90±0,20*	12,70±0,27*	14,70±0,33
Диаметр, см	9,7±0,50*	7,2±0,33*	16,1±0,52*	20,1±0,79
Густота, тыс.шт./га	0,09	4,42	2,39	2,42
Срок жизни хвои, лет	2,46±0,08	2,77±0,06	3,34±0,10	3,52±0,07
Дефолиация, %	68,97±1,89	49,51±1,87	32,76±3,67	27,16±2,33
Индекс повреждения	3,75±0,07	2,98±0,07	2,09±0,15	1,87±0,11
Доля семеносящих деревьев, %	68,57	58,02	59,30	92,63
Количество шишек, шт./дерево	70,52±9,89	59,10±9,66	78,37±7,87	98,74±8,96

\* Zavyalov et al., 2018

Объемы выбросов комбината «Магнезит» с 1980 г. по 2013 г. представлены на рисунке 3.6.

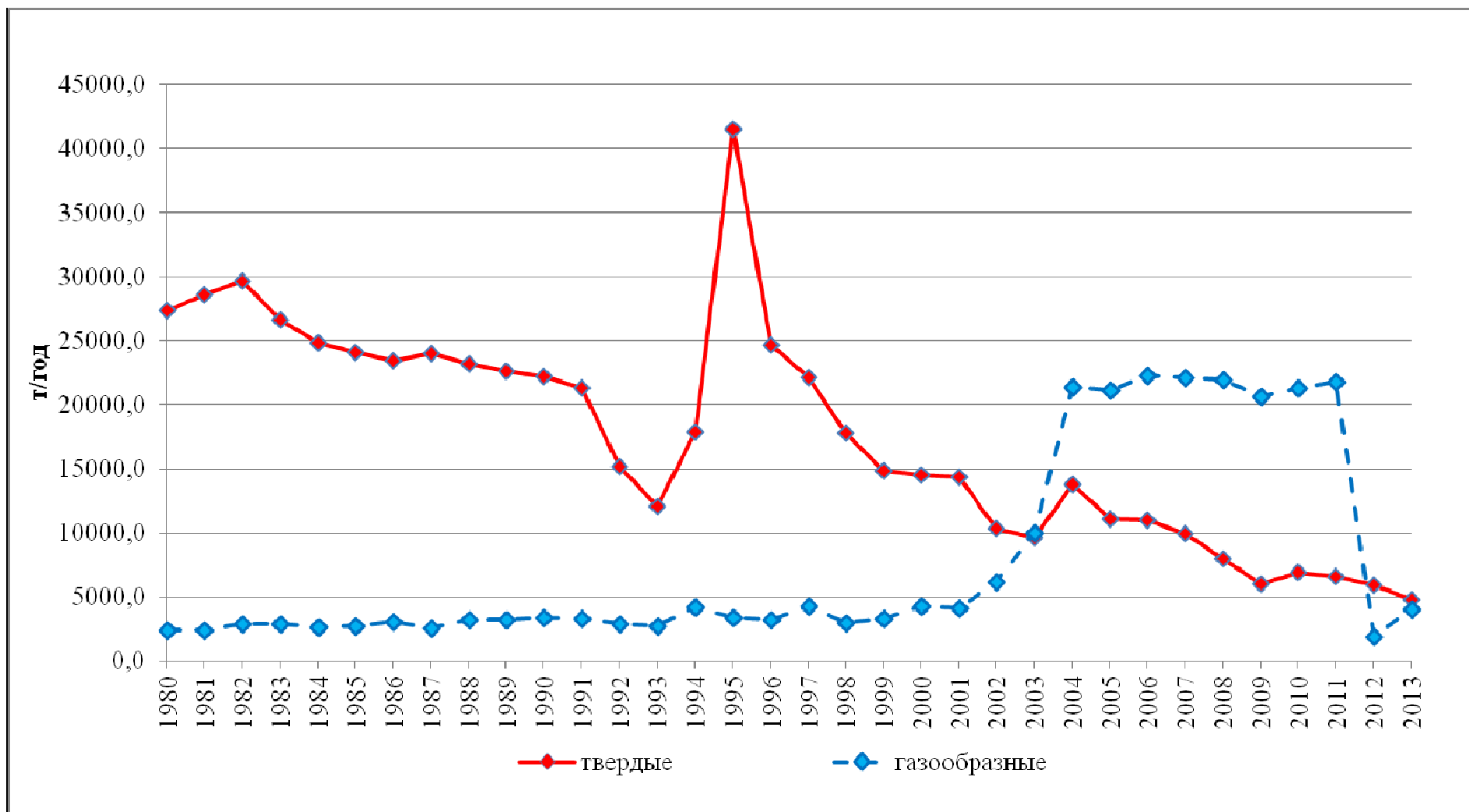


Рисунок 3.6. – Выбросы в атмосферу ОАО «Комбинат «Магнезит» (Менщиков и др., 2016)

Результаты исследования снежного покрова на ОУ представлены в таблицах 3.2-3.4.

**Таблица 3.2.** – Показатель рН и содержание взвешенных веществ в снеговой воде (Менщиков и др., 2012)

Опытный участок	рН	Масса взвешенного вещества	
		г/м <sup>2</sup>	г/л
ОУ-2	10,3 ± 0,02	29,51 ± 1,15	0,5 ± 0,06
ОУ-5	10,0 ± 0,02	15,25 ± 0,79	0,23 ± 0,01
ОУ-4	9,7 ± 0,05	2,9 ± 0,46	0,05 ± 0,006
ОУ-К	7,4 ± 0,09	0,96 ± 0,15	0,02 ± 0,003

**Таблица 3.3.** – Содержание макроэлементов в фильтрате снеговой воды, мг/м<sup>2</sup> (Кузьмина, Менщиков, 2015)

Место отбора	Макроэлементы в фильтрате			
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
ОУ-2	576,55±62,4	7202,99±1179,3	57,01±14,4	233,01±37,0
ОУ-5	247,23±11,0	2975,03±37,3	47,77±11,7	324,86±30,6
ОУ-4	39,85±5,4	1057,43±104,1	16,34±2,0	190,25±17,1
ОУ-К	162,29±17,1	208,15±24,5	4,79±1,4	91,74±14,8

**Таблица 3.4.** – Содержание тяжелых металлов в фильтрате снеговой воды, мг/м<sup>2</sup> (Кузьмина Н.А., Менщиков С.Л., 2015; Кузьмина и др., 2016)

Элемент	ОУ/расстояние, км			
	ОУ-2/1	ОУ-5/3	ОУ-4/10	ОУ-К/25
Fe	2,41±0,56	4,53±2,21	1,86 ± 0,09	2,27±0,72
Mn	0,21±0,07	0,77±0,52	1,08 ± 0,09	0,90±0,17
Zn	0,34±0,08	2,16±1,72	0,02 ± 0,01	0,80±0,21
Pb	н/о	н/о	0,18 ± 0,02	н/о
Cu	0,27±0,07	0,67±0,45	0,09 ± 0,01	0,20±0,05
Ni	0,12±0,02	0,09±0,006	0,03 ± 0,01	0,04±0,015

Примечание: н/о - не обнаружено

Результаты исследования почвы представлены в таблицах 3.5-3.6.

**Таблица 3.5.** – Содержание обменных катионов и pH почв в районе магнетитового загрязнения (Менщиков и др., 2012)

Опытный участок	Глубина взятия образца, см	Сумма Ca <sup>++</sup> и Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Соотношение Mg <sup>++</sup> /Ca <sup>++</sup>	pH <sub>H2O</sub>
		мг/экв на 100г почвы				
ОУ-2	0 - 3	77,5	20	57,5	2,9	9,20
	3 - 5	42,5	30	12,5	0,4	9,00
	5 - 14	87,5	32,5	55	1,7	8,74
	14 - 27	77,5	12,5	65	5,2	8,46
	27 - 40	40	20	20	1,0	8,22
	40 - 55	20	12,5	7,5	0,6	9,32
ОУ-5	0 - 1,5	72,5	15	57,5	3,8	8,87
	1,5 - 2,5	47,5	12,5	35	2,8	8,55
	2,5 - 13	62,5	17,5	45	2,6	8,45
	13 - 36	137,5	20	17,5	0,9	8,63
	36 - 60	92,5	25	67,5	2,7	8,62
ОУ-4	0 - 2,5	50	25	25	1,0	7,25
	2,5 - 4	40	22,5	17,5	0,8	7,43
	4 - 20	40	15	25	1,7	7,23
	20 - 31	30	22,5	7,5	0,3	7,80
	31 - 56	15	10	5	0,5	7,70
	56 - 67	20	12,5	7,5	0,6	7,73
	67 - 76	27,5	20	7,5	0,4	7,85
ОУ-К	0 - 2,5	52,5	25	27,5	1,1	6,42
	2,5 - 8	50	22,5	27,5	1,2	5,81
	8 - 13	25	17,5	7,5	0,4	6,00
	13 - 42	42,5	27,5	15	0,5	5,85
	42 - 55	35	25	10	0,4	6,13

**Таблица 3.6.** – Содержание металлов в почве на ОУ (Менщиков и др., 2016)

Опытный участок	Глубина взятия образца, см	Элементы, n*10 <sup>-3</sup> %							
		Zn	Pb	Cd	Co	Ni	Cu	Fe	Mn
ОУ-2	0-10	4,4	1,1	0,15	2,3	0,6	0,1	18,4	46,3
	10-20	2,4	0,3	0,005	1,6	0,3	0,1	11,0	25,7
	20-30	0,4	0,02	0,003	1,7	0,2	0,05	19,7	11,7
ОУ-5	0-10	4,6	1,1	0,05	0,7	0,3	0,09	5,0	18,9
	10-20	0,4	0,3	н/о	0,6	0,1	н/о	5,6	13,5
	20-30	0,3	н/о	н/о	0,5	0,08	0,02	2,1	3,6

	30-40	0,2	0,06	н/о	0,7	0,1	0,01	1,2	2,7
	40-50	0,2	0,1	н/о	0,9	0,1	0,02	0,4	24,6
ОУ-4	0 - 10	1,4	н/о	0,03	0,6	0,3	0,07	3,5	14,8
	10 - 20	0,2	0,4	н/о	0,7	0,1	0,04	1,2	2,3
	20 - 30	0,09	0,2	н/о	1,4	0,2	н/о	0,8	4,7
	30 - 40	0,08	0,5	н/о	0,6	0,2	0,01	н/о	н/о
	40 - 50	0,04	0,3	н/о	0,7	0,07	0,00	0,8	3,4
	50 - 60	0,05	0,2	н/о	0,8	0,1	0,02	2,4	2,7
	60 - 70	0,06	0,2	н/о	2,1	0,1	0,01	2,4	19,1
ОУ-К	0-1	2,9	0,4	0,01	0,02	н/о	0,05	1,0	41,2
	1-11	0,6	0,2	н/о	н/о	0,08	0,09	0,3	36,2
	11-17	0,2	0,02	н/о	н/о	0,07	0,07	0,4	13,0
	17-34	0,04	н/о	н/о	н/о	0,08	0,1	0,6	6,5
	34-60	0,03	н/о	н/о	н/о	0,10	0,08	0,9	6,6

Примечание: н/о – не обнаружено.

Данные, полученные в результате проведения химических анализов почвы и снежного покрова, свидетельствуют о том, что на момент исследования уровень техногенного загрязнения ОУ соответствует выделенным ранее зонам.

**3.2. Методы исследований.** Изучение женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях с разным уровнем магnezитового загрязнения проведено на четырех ОУ. На всех ОУ была изучена относительная численность семеносящих деревьев, на которых подсчитано количество шишек. На каждом ОУ было отобрано и промаркировано 26-33 семеносящих деревьев, со средней и верхней части кроны которых в течение трех наиболее урожайных лет (2009, 2011 и 2013 года) 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 морфологические параметры шишек, семенных чешуй и крылаток (признаки 1-16), 12 – состояние семяпочек в разные периоды их развития (признаки 17-28), 7 – качество семян и проростков (признаки 29-35) (Таблица 3.7).

**Таблица 3.7.** – Количественные и функциональные признаки женской генеративной системы сосны обыкновенной

№	Признак	Ед. измерения
1	Длина шишки	мм
2	Ширина шишки	мм
3	Форма шишки (2-й / 1-й признаки)	-
4	Масса шишки	г
5	Форма апофиза семенных чешуй (по С.А. Мамаеву, 1973)	балл
6	Длина семенной чешуи в средней части шишки	мм
7	Ширина семенной чешуи в средней части шишки	мм
8	Форма семенной чешуи (7-й / 6-й признак)	-
9	Высота щитка в средней части шишки	мм
10	Ширина щитка в средней части шишки	мм
11	Форма щитка (10-й / 9-й признаки)	-
12	Длина крылатки в средней части шишки	мм
13	Ширина крылатки в средней части шишки	мм
14	Форма крылатки (13-й / 12-й признаки)	-
15	Число семенных чешуй	шт.
16	Число стерильных семенных чешуй	шт.
17	Число семяпочек потенциально фертильных	шт.
18	Число семяпочек, доживших до начала 2-й вегетации (число опыленных семяпочек) (20-й + 21-й признак)	шт.
19	Число семяпочек, погибших в 1-й вегетационный период (число неопыленных семяпочек) (17-й - 18-й признаки)	шт.
20	Число семяпочек, погибших во 2-й вегетационный период (число неоплодотворенных семяпочек)	шт.
21	Общее число семян (22-й + 23-й признак) (число оплодотворенных семяпочек)	шт.
22	Число полнозернистых семян	шт.
23	Число пустых семян	шт.
24	Выживаемость семяпочек в 1-й вегетационный период (18-й / 17-й признаки)	%
25	Выживаемость семяпочек во 2-й вегетационный период (21-й / 18-й признаки)	%
26	Выживаемость семяпочек за весь гаметофитный период (21-й / 17-й признаки)	%
27	Выживаемость семяпочек в эмбриональный период (22-й / 21-й признак) (доля выполненных семян)	%
28	Общая выживаемость семяпочек за гаметофитный и эмбриональный периоды (22-й / 17-й признаки)	%
29	Масса 1000 шт. семян	г.
30	Энергия прорастания семян	%
31	Абсолютная всхожесть семян	%
32	Доля проростков, имеющих семядоли на момент определения всхожести	%
33	Длина корешка проростков с семядолями	мм
34	Длина гипокотеля проростков с семядолями	мм
35	Число семядолей	шт.

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 (Мамаев, 1972).

Для подсчета семян, фертильных и стерильных семенных чешуй каждую шишку разрушали механическим путем. Для этого у шишки высверливали ось 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 свидетельствует 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 одних 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) семян в разные сроки опыта оценивали как отношение числа живых семян к их общему числу. Измерение линейных признаков семян проводили в конце 1-го и 2-го вегетационных периодов. Вариантами вегетационного опыта были как семена модельных деревьев, произрастающих в условиях разного уровня загрязнения, так и почвенные условия.

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 (Меншиков, 2001).

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). Изменчивость признаков оценивали по коэффициентам вариации ( $C_v$ ) по шкале, предложенной С.А. Мамаевым (Мамаев, 1972), где уровень изменчивости – очень низкий при  $C < 7\%$ , низкий при  $C = 8-12\%$ , средний при  $C = 13-20\%$ , повышенный при  $C = 21-30\%$ , высокий при  $C = 31-40\%$ , очень высокий при  $C > 40\%$ .

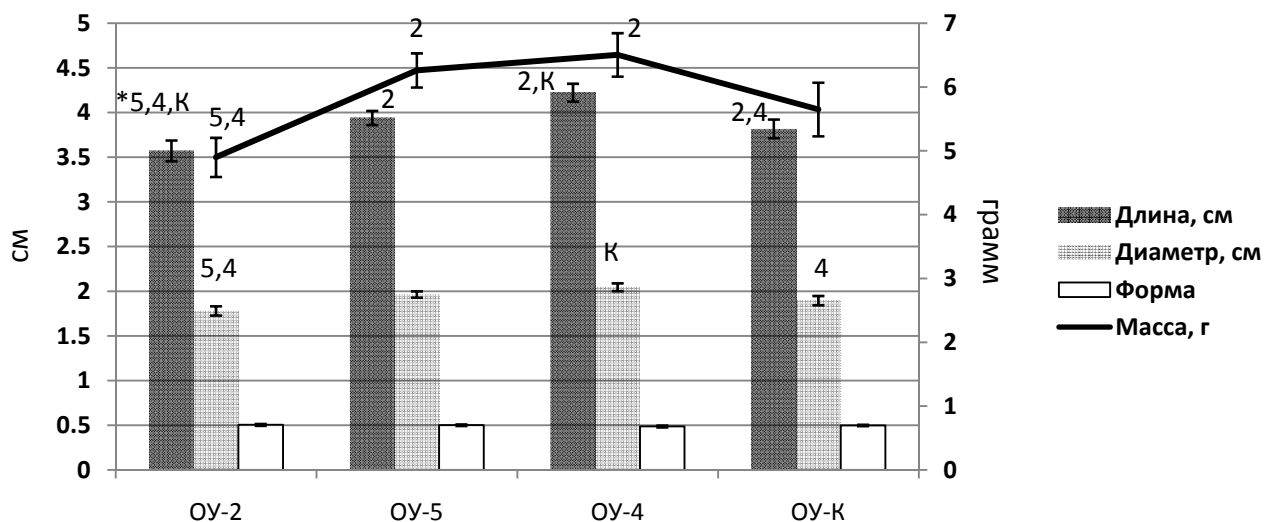
Расчеты проведены с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 6.0.

**3.3. Объем выполненных работ.** За время проведения исследований на опытных участках было обмерено и оценено состояние кроны 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  $1 \text{ м}^3$  почвы. Всего в процессе исследования было сделано около 320000 различных измерений.

## ГЛАВА 4. ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНЕЗИТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЖЕНСКУЮ ГЕНЕРАТИВНУЮ СИСТЕМУ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

**4.1. Изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной.** Изучение изменчивости количественных и функциональных признаков в природных популяциях – одно из основных направлений популяционно-биологических исследований. Фундаментальной основой адаптации животных и растений являются исходная гетерогенность и функциональная разнокачественность особей в популяции (Четвериков, 1926; Безель и др., 2001; Жуйкова, Безель, 2009). В условиях промышленного загрязнения происходит усиление вариабельности признаков растений (Мамаев, 1972; Прокопьев и др., 2014), что может свидетельствовать о появлении несбалансированных фенотипов и начале потери устойчивости системы (Казнина и др., 2009; Лайдинен и др., 2011), ее переходе в новое функциональное состояние (Веселова и др., 1993). При техногенном загрязнении среды увеличение вариабельности показателей воспроизводства способствует сохранности в популяции особей, максимально приспособленных к изменению природно-климатических условий, а также может вызвать повышенную элиминацию неполноценных особей (Безель и др., 2001). Известно, что у живых организмов уровень изменчивости признаков тесно связан с условиями обитания (Мамаев, 1972; Безель и др., 2001) и, следовательно, может быть использован для оценки этих условий. В связи с этим в градиенте магнезитового загрязнения и фоновых условиях была изучена индивидуальная изменчивость количественных признаков женской генеративной системы.

**4.1.1. Морфология шишек, семенных чешуй и крылаток.** В результате изучения морфологических признаков шишек (признаки 1-4) выявлено, что в условиях сильного загрязнения деревья формируют наиболее мелкие и легкие шишки. При этом форма шишек не изменяется и, как и на всех ОУ, характеризуется как «конусовидная» (индекс 0,48-0,51) (Таблица 4.1; Рисунок 4.1).



**Рисунок 4.1.** – Размер, форма и масса шишек сосны;

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

Многими исследователями отмечено, что размеры шишек сосны обыкновенной в большинстве популяций варьируют на низком и среднем уровне (Петров, 1963; Мамаев, 1973; Вахнина, 2014; Вахнина, Макаров, 2014 и др.). Индивидуальная (внутрипопуляционная) изменчивость как размеров, так и формы шишек ОУ-5, ОУ-4 и ОУ-К находится на низком уровне (Таблица 4.2). Исключением являются шишки из зоны сильного загрязнения (ОУ-2), где изменчивость их длины и ширины повышается до среднего уровня, что связано с расширением диапазона варьирования за счет участия в репродукции деревьев с низкими значениями данных признаков. Отмечено, что масса шишек характеризуется более высокой индивидуальной изменчивостью по сравнению с их размерами (Мамаев, 1973). Данный признак характеризуется на ОУ-5 и ОУ-4 повышенной, а на ОУ-2 и ОУ-К высокой степенью индивидуальной изменчивости. Масса шишек на всех ОУ в высокой степени коррелирует с ее шириной ( $r=0,79...0,98$ ) и длиной ( $r=0,75...0,88$ ) (Приложения 1-4).

**Таблица 4.1.** – Абсолютные значения признаков женской генеративной системы сосны

Признак	Опытные участки			
	ОУ-2	ОУ-5	ОУ-4	ОУ-К
1	3,57±0,12* <sup>5,4,K</sup>	3,94±0,08	4,22±0,10	3,82±0,10* <sup>2,4</sup>
2	1,78±0,05* <sup>5,4</sup>	1,96±0,04* <sup>2</sup>	2,05±0,04* <sup>4,K</sup>	1,90±0,05* <sup>4</sup>
3	0,51±0,01	0,50±0,01	0,49±0,01	0,50±0,01
4	4,90±0,31* <sup>5,4</sup>	6,26±0,27* <sup>2</sup>	6,50±0,34* <sup>2</sup>	5,65±0,42
5	3,09±0,19	3,18±0,16	3,06±0,17	2,60±0,23* <sup>5</sup>
6	1,89±0,05* <sup>5</sup>	2,03±0,03* <sup>2</sup>	2,01±0,05	2,00±0,04
7	0,80±0,02* <sup>5,4</sup>	0,86±0,02* <sup>2</sup>	0,88±0,02* <sup>2</sup>	0,86±0,03
8	0,43±0,01	0,43±0,01	0,44±0,01	0,43±0,01
9	0,83±0,02	0,85±0,01	0,81±0,02	0,85±0,01
10	0,70±0,01	0,71±0,01	0,73±0,01	0,69±0,02
11	0,85±0,02	0,84±0,02	0,91±0,02	0,82±0,02
12	1,20±0,04* <sup>5</sup>	1,30±0,03* <sup>2</sup>	1,30±0,05	1,23±0,04
13	0,37±0,01* <sup>5,4</sup>	0,40±0,01* <sup>2</sup>	0,44±0,01* <sup>2</sup>	0,40±0,02
14	0,31±0,01	0,31±0,01	0,34±0,01	0,33±0,01
15	65,35±1,74* <sup>5,4</sup>	70,44±1,56	74,75±1,45	64,51±1,95* <sup>5,4</sup>
16	48,64±1,37* <sup>5,4</sup>	52,40±1,29* <sup>2,K</sup>	53,90±1,21* <sup>2,K</sup>	46,89±1,38* <sup>5,4</sup>
17	33,43±1,09* <sup>4</sup>	36,08±0,97* <sup>4</sup>	41,70±1,55* <sup>2,5,K</sup>	35,25±1,40* <sup>4</sup>
18	22,16±1,06* <sup>5,4</sup>	25,58±1,04* <sup>2</sup>	27,33±1,43* <sup>2</sup>	25,37±1,69
19	11,27±0,45* <sup>4</sup>	10,49±0,50* <sup>4</sup>	14,37±1,21* <sup>2,5,K</sup>	9,88±0,82* <sup>4</sup>
20	4,52±0,87* <sup>4</sup>	3,71±0,67* <sup>4</sup>	7,77±1,45* <sup>2,5</sup>	5,24±0,97
21	17,64±1,29* <sup>5</sup>	21,87±1,26* <sup>2</sup>	19,56±1,65	20,13±1,67
22	15,14±1,1* <sup>5</sup>	19,31±1,11* <sup>2</sup>	17,90±1,58	16,58±1,46
23	2,49±0,42	2,56±0,34	1,67±0,26* <sup>K</sup>	3,55±0,45
24	64,61±1,82* <sup>5,K</sup>	69,99±1,57* <sup>2</sup>	65,41±2,35	70,69±2,94* <sup>2</sup>
25	78,69±3,8	84,41±2,82* <sup>4</sup>	73,70±4,92* <sup>5</sup>	78,14±3,96
26	51,09±2,96* <sup>5,4</sup>	59,55±2,62* <sup>2,4</sup>	34,64±6,15* <sup>2,5,K</sup>	55,86±3,56* <sup>4</sup>
27	86,56±1,63	88,61±1,18* <sup>K</sup>	91,03±1,37* <sup>K</sup>	81,93±2,07* <sup>5,4</sup>
28	44,58±2,66* <sup>5</sup>	52,91±2,28* <sup>2,4</sup>	43,53±3,89* <sup>5</sup>	46,06±3,15
29	5,41±0,23* <sup>5,4,K</sup>	6,76±0,18* <sup>2</sup>	7,19±0,22	6,31±0,20* <sup>2</sup>
30	87,29±2,48	90,93±1,61	83,83±4,09	85,50±2,68
31	91,74±1,91	93,21±1,06	87,83±3,77	90,67±1,67
32	75,84±3,73* <sup>4</sup>	70,65±3,83	59,04±5,22* <sup>2</sup>	64,37±6,35
33	14,44±0,78	15,73±0,73	14,03±0,78	15,60±1,08
34	28,49±0,56* <sup>5,4,K</sup>	31,01±0,54* <sup>2</sup>	31,05±0,63* <sup>2</sup>	31,39±0,79* <sup>2</sup>
35	5,58±0,07* <sup>5,4,K</sup>	5,81±0,07* <sup>2</sup>	5,81±0,08* <sup>2</sup>	5,80±0,07* <sup>2</sup>

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$ ;

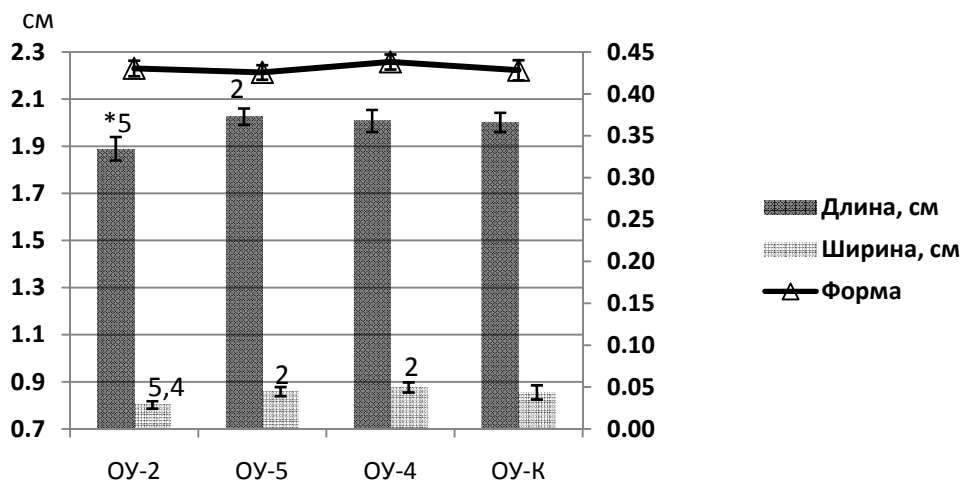
обозначение признаков см. в табл. 3.7.

**Таблица 4.2.** – Индивидуальная изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной на опытных участках (коэффициенты вариации, %)

Признак	Опытные участки			
	ОУ-2	ОУ-5	ОУ-4	ОУ-К
1	18	12	10	12
2	17	10	9	12
3	11	9	9	7
4	35	25	22	33
5	34	29	24	40
6	15	10	10	9
7	11	13	10	16
8	12	12	9	13
9	13	10	11	7
10	10	10	8	11
11	11	11	11	10
12	18	12	15	14
13	16	17	13	17
14	16	17	15	16
15	15	13	8	14
16	16	14	9	13
17	19	15	16	18
18	27	23	22	30
19	23	27	36	37
20	109	104	79	83
21	41	33	36	37
22	41	33	37	39
23	94	75	67	56
24	16	13	15	19
25	27	19	28	23
26	33	25	34	28
27	11	8	6	11
28	34	25	38	31
29	24	15	13	14
30	16	10	21	14
31	12	7	18	8
32	28	31	38	44
33	31	27	24	31
34	11	10	9	11
35	7	7	6	6

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

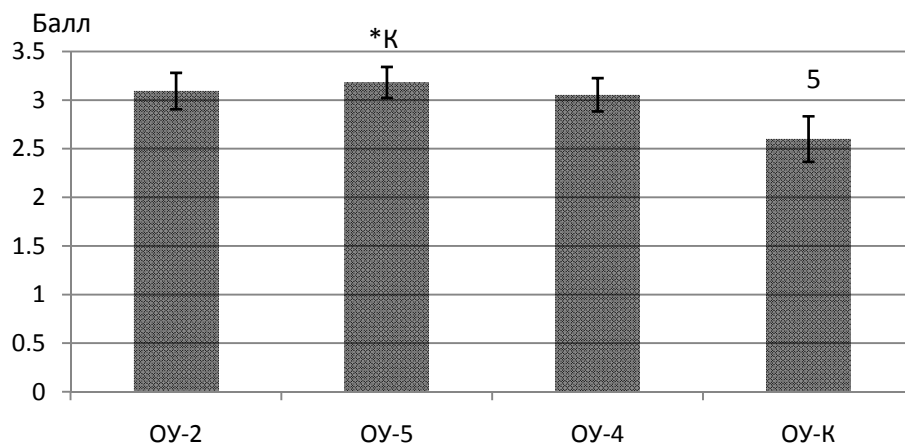
Большинство признаков, характеризующих морфологию семенных чешуй и щитков (признаки № 5-11), на всех ОУ имеют низкий уровень индивидуальной изменчивости (Таблица 4.2). Наименьшие линейные размеры (признаки 6 и 7) у семенных чешуй из зоны сильного загрязнения (Рисунок 4.2; Таблица 4.1).



**Рисунок 4.2.** – Размер и форма семенных чешуй

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

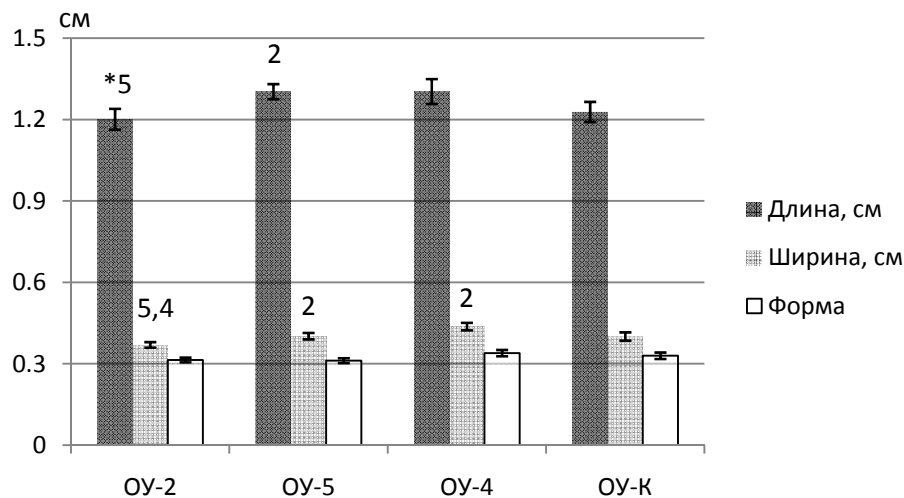
По размерам щитков различий между древостоями не выявлено, коэффициент вариации находится на низком уровне (Таблицы 4.1 и 4.2). Длина и ширина семенных чешуй изменяются пропорционально, индекс формы чешуй (признак 8) сохраняется. По классификации С.А. Мамаева (Мамаев, 1972) семенные чешуи всех ОУ отнесены к категории «средних», основание щитка семенных чешуй (признак 11) «ромбическое». Величина выступа апофиза (признак 5) варьирует сильнее, чем другие признаки чешуй. Данный признак характеризуется на ОУ-5 и ОУ-4 повышенной, а на ОУ-2 и ОУ-К высокой индивидуальной изменчивостью. В целом, в фоновых условиях апофиз менее бугорчатый (2,6 балла) (достоверные различия с ОУ-5 при  $p < 0,05$ ), чем в условиях загрязнения (2,93-3,18 балла) (Рисунок 4.3; Таблица 4.1).



**Рисунок 4.3.** – Форма апофиза семенных чешуй

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Отмечено, что размеры и форма крылаток (признаки 12-14) являются очень изменчивыми признаками (Правдин, 1964; Мамаев, 1973; Кузьмина, 1990). Размеры и форма крылаток на всех ОУ характеризуются средним уровнем индивидуальной изменчивости (Таблица 4.2). Наименьшая длина и ширина крылатки в зоне сильного загрязнения (ОУ-2) (Рисунок 4.4; Таблица 4.1).

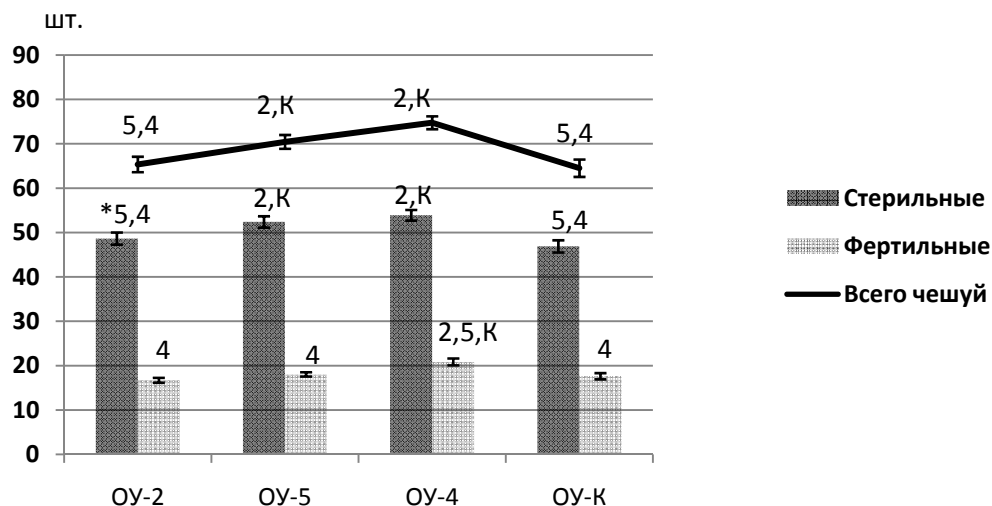


**Рисунок 4.4.** – Размер и форма крылаток

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

По показателю формы крылатки достоверных различий между древостоями не выявлено. Морфологические характеристики крылаток (признаки 12-14) и семенных чешуй (признаки 6-8) на всех ОУ достоверно коррелируют (при  $p < 0,05$ ) между собой ( $r = 0,54 \dots 0,92$ ) (Приложения 1-4).

В условиях среднего (ОУ-5) и слабого (ОУ-4) уровней магнетитового загрязнения шишки состоят из большего числа семенных чешуй (признаки 15-16), чем в зоне сильного загрязнения и фоновых условиях (Рисунок 4.5).



**Рисунок 4.5.** – Количество семенных чешуй

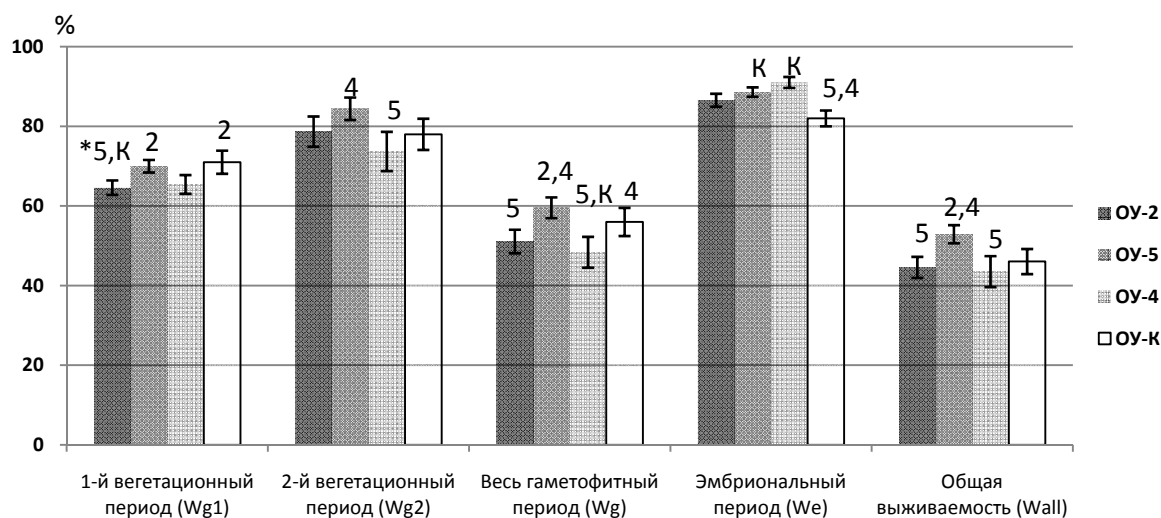
Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Показатели, характеризующие количество семенных чешуй на ОУ-4 имеют низкий уровень индивидуальной изменчивости, на остальных ОУ признаки варьируют заметнее и имеют средний уровень (Таблица 4.2).

**4.1.2. Состояние семяпочек и семенная продуктивность.** Вследствие того, что семенная продуктивность соснового древостоя зависит как от числа шишек на дереве, так и от числа семян, реализовавшихся в фертильной зоне каждой шишки, то для понимания закономерностей формирования семян, изучение структуры урожая на уровне взаимоотношения гамет представляется наиболее перспективным (Абатурова и др., 1997). Известно, что число семяпочек, находящихся в фертильном ярусе шишки, может свидетельствовать о возможном количестве макрогаметофитов, и соответственно семян, которые шишка могла бы содержать в благоприятных для развития условиях (Романовский, 1997). Число потенциально фертильных семяпочек (признак 17) характеризуется средним уровнем индивидуальной изменчивости на всех ОУ. Значение данного показателя выше в условиях слабого загрязнения (достоверные различия со всеми ОУ при  $p < 0,05$ ) (Таблица



4.1). Число семян, доживших до начала 2-й вегетации (число опыленных семян (признак 18)) характеризуется повышенной индивидуальной изменчивостью на всех ОУ (Таблица 4.2). Наименьшее абсолютное значение данного признака в зоне сильного (ОУ-2), наибольшее в зоне слабого загрязнения (ОУ-4) (Таблица 4.1). Число семян, погибших в 1-й вегетационный период (число неопыленных семян (признак 19)) наименьшее в шишках из фоновых условий (ОУ-К), наибольшее в условиях слабого загрязнения (ОУ-4), причем изменчивость данного признака уменьшается по мере увеличения техногенной нагрузки и характеризуется высоким (ОУ-4 и ОУ-К) и повышенным (ОУ-2 и ОУ-5) уровнями (Таблица 4.2). Таким образом, выживаемость семян в 1-й вегетационный период (признак 24) в целом меньше в условиях влияния выбросов комбината, наименьшая в условиях сильного загрязнения (ОУ-2), наибольшая в фоновых условиях (ОУ-К) (Рисунок 4.6; Таблица 4.1). Все ОУ характеризуются средним уровнем индивидуальной изменчивости данного признака (Таблица 4.2).



**Рисунок 4.6.** – Выживаемость семян сосны (W) в разные периоды, %

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

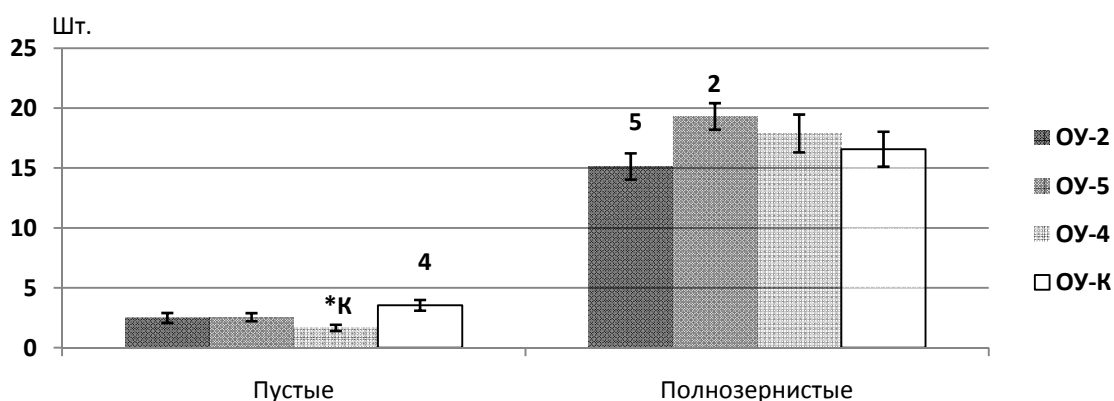
Число семян, погибших во 2-й вегетационный период (число неоплодотворенных семян) (признак 20) имеет очень высокий уровень изменчивости на всех ОУ. В зонах сильного (ОУ-2) и среднего (ОУ-5) загрязнения данный признак характеризуется меньшими абсолютными значениями по сравнению с ос-

тальными ОУ (достоверные различия с ОУ-4 при  $p < 0,05$ ), коэффициенты вариации при этом превышают 100%.

Выживаемость семян во 2-й вегетационный период (признак 25) на всех ОУ в целом выше, чем в 1-й, наибольшее значение данного признака в условиях среднего загрязнения (ОУ-5), наименьшая в зоне слабого загрязнения (ОУ-4) (Рисунок 4.6; Таблица 4.1). Индивидуальная изменчивость данного признака характеризуется средним (ОУ-5) и повышенным (ОУ-2, 4, К) уровнями (Таблица 4.2).

Выживаемость семян за весь гаметофитный период (признак 26) характеризуется повышенной (ОУ-5 и ОУ-К) и высокой (ОУ-2 и ОУ-4) индивидуальной изменчивостью (таблица 4.2). Наибольшее абсолютное значение данного признака в зоне среднего загрязнения (ОУ-5), наименьшая в зоне слабого загрязнения (ОУ-4) (Рисунок 4.6; Таблица 4.1).

Отмечено, что число семян в шишке является одним из наиболее вариабельных показателей (Ирошников, 1978; Рогозин, 1989; Романовский, 1997; Аникеев, 2000). Общий выход семян и число полнозернистых семян (признаки 21 и 22) характеризуются высокой (ОУ-5, ОУ-4 и ОУ-К) и очень высокой индивидуальной изменчивостью (ОУ-2) (Таблица 4.2). Наибольшие абсолютные значения данных признаков у шишек из зоны среднего загрязнения (ОУ-5), наименьшие у шишек из зоны сильного загрязнения (ОУ-2) (Рисунок 4.7; Таблица 4.1).



**Рисунок 4.7.** – Количество семян в шишках сосны обыкновенной, шт./шишку

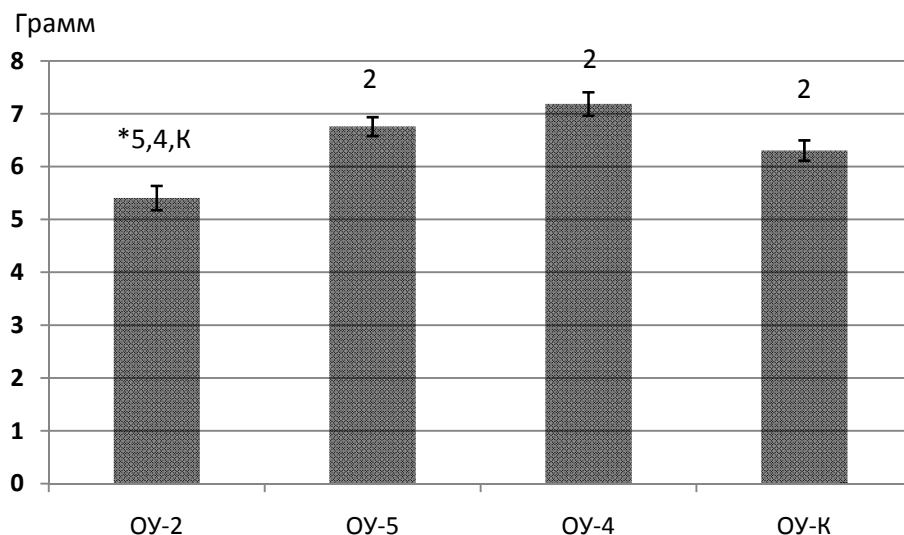
Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Число пустых семян в шишке (признак 23) на всех ОУ варьирует на очень высоком уровне ( $C=56-94\%$ ), причем коэффициент вариации возрастает с увеличе-

нием техногенной нагрузки и в зоне сильного уровня загрязнения (ОУ-2) в 1,7 раза превышает фоновые условия. Наименьшее абсолютное значение данного показателя в зоне слабого загрязнения (ОУ-4) (достоверные различия с ОУ-К при  $p < 0,05$ ), наибольшее в условиях фона (ОУ-К) (достоверные различия с ОУ-4 при  $p < 0,05$ ). Таким образом, выживаемость семян в эмбриональный период их развития (признак 27) наименьшая в фоновых условиях (ОУ-К), наибольшая в условиях слабого загрязнения (ОУ-4) (Рисунок 4.6; Таблица 4.1). 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 (Романовский, 1997). Мы считаем, что обнаруженная нами более низкая гибель семян в эмбриональный период в очаге загрязнения относительно условий фона, обусловлена высокой интенсивностью их элиминации на предыдущих этапах развития. В то же время, происходит снижение вариабельности до низкого (ОУ-2, ОУ-5 и ОУ-К) и очень низкого уровней (ОУ-4).

Отношение числа полнотельных семян к числу потенциально фертильных семян позволяет вычислить итоговую выживаемость семян (признак 28), т.е. выживаемость семян успешно прошедших гаметофитную и эмбриональную стадии развития и реализовавшихся в полнотельные семена. Наиболее благоприятные условия для развития семян в зоне среднего загрязнения, здесь показатель итоговой выживаемости семян имеет самое высокое значение (достоверные различия с ОУ-2 и ОУ-4 при  $p < 0,05$ ) (Рисунок 4.6; Таблица 4.1). Индивидуальная изменчивость данного признака характеризуется повышенным (ОУ-5) и высоким (ОУ-2, ОУ-4 и ОУ-К) уровнями.

**4.1.3. Качество семян и развитие проростков на начальной стадии онтогенеза.** В условиях сильного уровня загрязнения (ОУ-2) образуются семена, имеющие достоверно самую низкую среди изученных древостоев массу (признак 29) (Рисунок 4.8; Таблица 4.1).



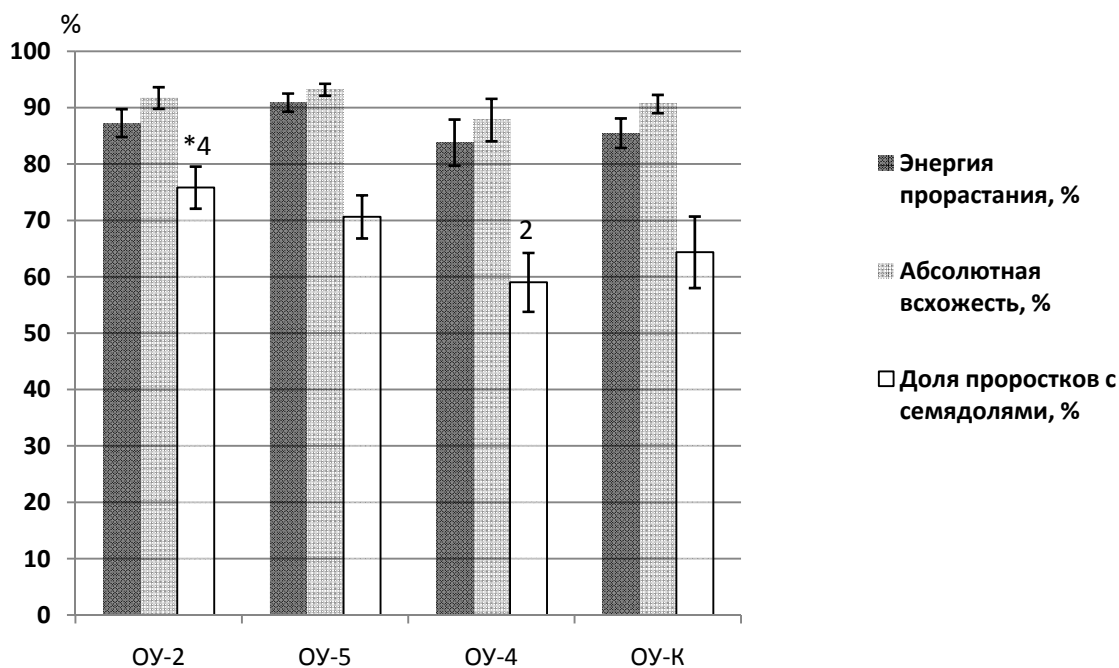
**Рисунок 4.8.** – Масса семян сосны

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

При этом в данных условиях уровень индивидуальной изменчивости возрастает относительно других ОУ (Таблица 4.2), что может свидетельствовать о критическом воздействии условий формирования на данный признак.

По показателям, характеризующим энергию прорастания и абсолютную всхожесть семян (признаки 30 и 31) достоверных различий между древостоями не выявлено. Энергия прорастания семян на ОУ находится в пределах 83,83-90,93 %, всхожесть 87,83-93,21% (Рисунок 4.9; Таблица 4.1). Характерным для всех ОУ является снижение амплитуды изменчивости для всхожести относительно энергии прорастания семян. Энергия прорастания семян изученных древостоев характеризуется низкой (ОУ-5), средней (ОУ-2 и ОУ-К) и повышенной (ОУ-4) степенью вариабельности. Абсолютная всхожесть варьирует на низком (ОУ-2, ОУ-5 и ОУ-К) и среднем уровне (ОУ-4).

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.



**Рисунок 4.9.** – Посевные качества семян сосны

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Морфометрические 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 (признак 32) возрастает (Таблица 4.1), а коэффициент вариация снижается (Таблица 4.2). В условиях сильного загрязнения выявлена достоверная отрицательная корреляция между данным признаком и массой семян (приложение 4), что свидетельствует о более раннем развитии проростков из мелких семян.

Длина корешка проростка (признак 33) характеризуется в условиях среднего и слабого загрязнения повышенной, а в условиях сильного загрязнения и фоновых условиях высокой вариабельностью (Таблица 4.2). Достоверные различия абсолютных значений данного признака между древостоями не выявлены (Таблица 4.1). Длина гипокотыля (признак 34) в условиях всех ОУ варьирует на низком

уровне. Абсолютные значения данного признака наименьшие в условиях сильного загрязнения (ОУ-2) (достоверные различия со всеми ОУ при  $p < 0,05$ ).

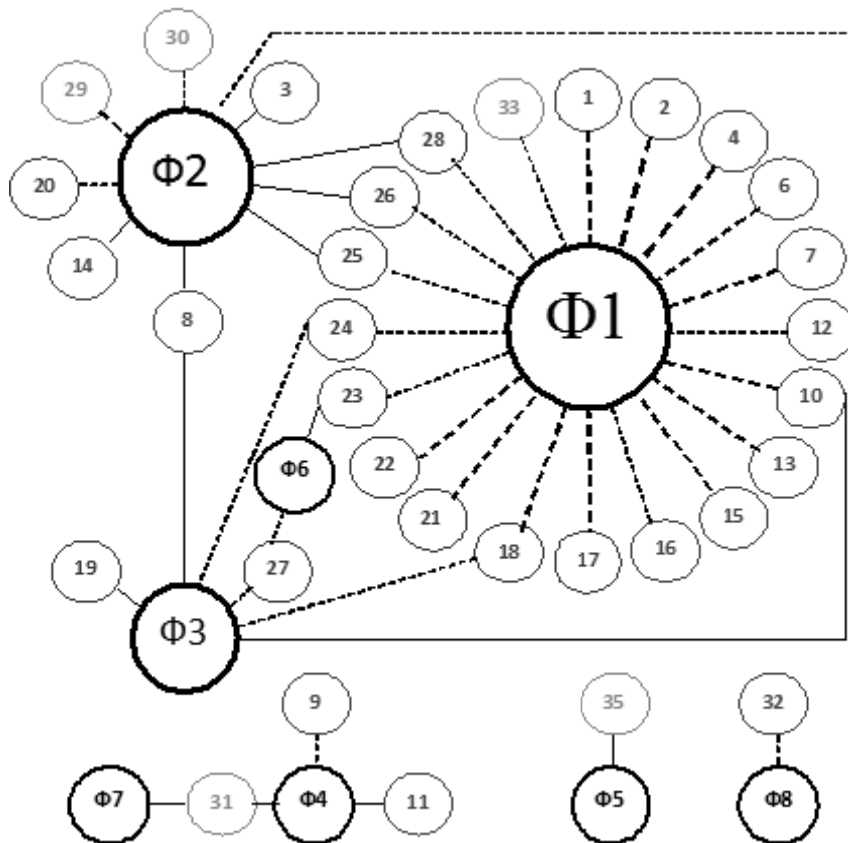
Единственным из изученных признаков, варьирующем на очень низком уровне во всех представленных древостоях, является число семядолей (признак 35) (Таблица 4.2). Тем не менее, в зоне сильного загрязнения (ОУ-2) происходит достоверное снижение абсолютного значения данного признака (при  $p < 0,05$ ) по сравнению с остальными ОУ, что вероятно связано как с интенсивной элиминацией деревьев, так и с участием в репродукции определенной (устойчивой) группы деревьев в данных условиях.

**4.2. Сопряженная изменчивость признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной.** Структура взаимосвязей многих количественных признаков отражает внутренние механизмы, лежащие в основе устойчивого развития организма (Берг, 1959; Яблоков, 1978; Животовский, 1984; Батыгин, 1986 и др.). Влияние внешних факторов, в том числе аэротехногенного загрязнения, может привести к изменению этих взаимосвязей. Так, воздействие аэрополлютантов на репродуктивную систему сосны обыкновенной может привести к изменению структуры связей целого комплекса ее признаков (Мамаев, 1973; Аникеев и др., 2000; Махнева и др., 2003; Тихонова, 2005).

Корреляционные матрицы изученных признаков женской генеративной системы сосны, произрастающей в условиях разного уровня магнетитового загрязнения и фоновых условий, были обработаны методом факторного анализа. При проведении анализа во внимание принимали факторы с собственными значениями больше 1,0. При изучении состава факторов обсуждали признаки, корреляции которых с соответствующим фактором по модулю превышали величину 0,5.

В условиях фона 1-й фактор (Ф1) вносит существенно больший вклад в изменчивость показателей (34,89 %) (Рисунок 4.10; Приложение 5). В его составе положительно сопряжены между собой и отрицательно с фактором, такие признаки как размеры и масса шишек (признаки 1,2 и 4), размеры семенных чешуй и крылаток (признаки 6, 7 и 12, 13), число стерильных и общее число семенных чешуй (признаки 15, 16), число фертильных и опыленных семязачек (признаки 17,

18), общее число семян (признак 21), число выполненных и пустых семян (признаки 22, 23), выживаемость семяпочек в 1-й, 2-й и весь гаметофитный период (признаки 24, 25, 26), итоговая выживаемость семяпочек (признак 28), длина корешка проростка (признак 33). Таким образом, в данных условиях произрастания размеры и масса шишек (признаки 1,2 и 4) взаимосвязаны с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7), так и их количеством (признаки 15, 16).



**Рисунок 4.10.** – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в фоновых условиях;

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

— положительная связь; ---- отрицательная связь

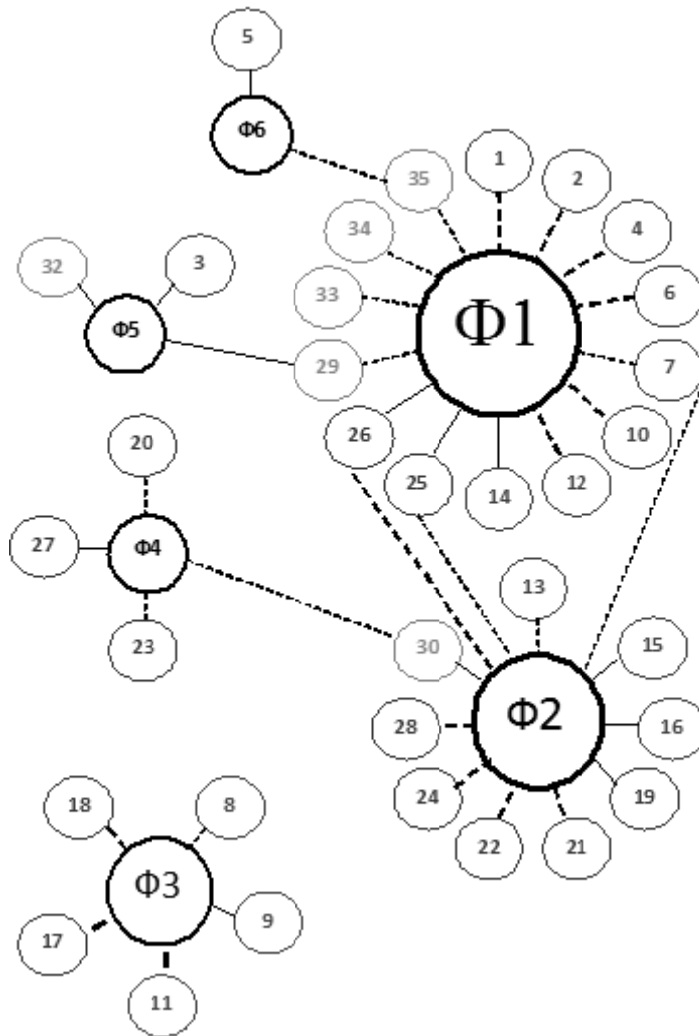
=====  $0,7 > r > 0,5$ ; -----  $0,9 > r > 0,7$ ; =====  $r > 0,9$

Размеры крылаток (признаки 12, 13) связаны с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7). Достоверная корреляция между потенциально фертильными (признак 17), опыленными (признак 18) и оплодотворенными (признак 21) семяпочками,

числом выполненных семян (признаки 22) позволяет заключить, что потенциальные возможности шишек к формированию семян в условиях фона (ОУ-К) реализуются в полной мере. Выход семян (признаки 21, 22) прямопропорционально связан с размерами шишек. Однако, масса семян (признак 29) и показатели качества семян (ПКС) (признаки 30, 31) не зависят от количества семян в шишках (признаки 21, 22) и размеров шишек (признаки 1, 2 и 4). Общая выживаемость семяпочек (признак 28) и выход семян (признаки 21, 22) определяются в большей степени выживаемостью семяпочек на стадии гамет (признаки 24-26), чем на стадии эмбрионов (признак 27). Аналогичная система связей частично продублирована в Ф2 и дополнена признаками, характеризующими массу семян (признак 29) и их энергию прорастания (признак 30): чем интенсивнее отбор на стадии гамет, тем крупнее семена и выше энергия прорастания. Выживаемость семяпочек в эмбриональный период развития (признак 27) имеет малое количество связей с остальными признаками женской генеративной системы, может зависеть от выживаемости семяпочек в 1-й вегетационный период (Ф3) и определять длину гипокоты проростка (Ф6). Всхожесть семян (признак 31) также достаточно обособлена от других признаков и взаимосвязана с энергией прорастания (Ф4) или варьирует независимо (Ф7). Признак, характеризующий число семядолей (признак 35) достоверно не связан ни с одним из изученных признаков (Ф5). В целом высокодостоверные связи между показателями, характеризующими развитие проростков и массу семян и их ПКС, не выявлены, т.к. данные признаки с высокими значениями факторных нагрузок (ФН) входят в состав разных факторов, что позволяет предположить несбалансированность постэмбрионального периода развития семени.

В условиях слабого загрязнения Ф1 и Ф2 вносят примерно равный вклад в изменчивость показателей (22,11% и 20,90% соответственно) (Рисунок 4.11; Приложение 6).





**Рисунок 4.11.** – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях слабого загрязнения;

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

—положительная связь; ---- отрицательная связь

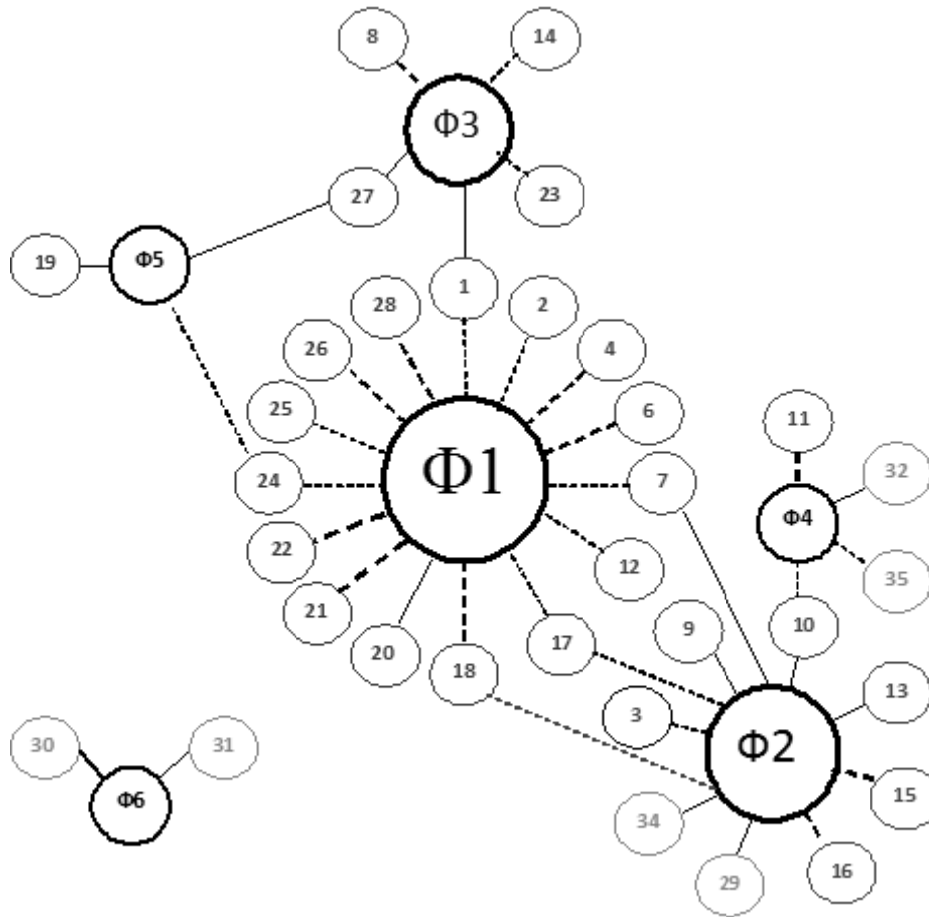
-----  $0,7 > r > 0,5$ ; - - - - -  $0,9 > r > 0,7$ ; - - - - -  $r > 0,9$

В состав Ф1 с высокими значениями факторных нагрузок входят показатели размеров шишек (признаки 1, 2 и 4), чешуй и крылаток (признаки 6, 7, 12), которые прямопропорционально связаны с показателями массы семян (признак 29) и развития проростков (признаки 33-35): чем крупнее шишки, тем больше масса семян, тем выше скорость роста проростков и больше число семядолей. В составе Ф5 масса семян связана с числом проростков, имеющих семядоли. Таким образом, связь массы семян с развитием проростков можно считать надежной. В дан-

ных условиях произрастания размеры и масса шишек в большей степени связаны с размерами семенных чешуй, чем их количеством (Ф1). При увеличении числа семенных чешуй в шишке снижается выживаемость семяпочек в разные периоды их развития и, следовательно, снижается выход семян, однако, улучшается их качество (Ф2). Выход семян на ОУ-4 более зависим от выживаемости гаметофитов, чем эмбрионов (Ф2), а ПКС определяются как гаметофитным (Ф2), так и эмбриональным (Ф4) развитием семяпочек, причем чем более качественнее их отбраковка, тем выше ПКС. Семена большей массы имеют лучшие ПКС (Ф5). С увеличением выживаемости семяпочек в гаметофитный период снижаются показатели развития проростков (Ф1). Таким образом, при прорастании семян и развитии проростков также реализуется часть генетического груза. Как видим, в данном древостое элиминация аномальных и неадаптивных генотипов идет постепенно, на всех стадиях развития семени.

Обращает на себя внимание малое число связей между числом фертильных семяпочек (потенциальных возможностей шишек к формированию семян) и показателями, характеризующими их состояние в разные периоды развития: с числом фертильных семяпочек связано только число опыленных семяпочек (Ф3). Вероятно, в данном древостое потенциальные возможности генеративной системы реализованы далеко не в полной мере.

В условиях среднего уровня загрязнения наибольший вклад в изменчивость показателей вносит Ф1 (26,11 %) (Рисунок 4.12; Приложение 7). В его составе положительно сопряжены между собой и отрицательно с фактором признаки, характеризующие размеры и массу шишек (признаки 1,2 и 4), размеры семенных чешуй, (признаки 6, 7), длину крылатки (признак 12), число фертильных и опыленных семяпочек (признаки 17, 18), общее число семян (признак 21), число выполненных семян (признак 22), выживаемость семяпочек в 1-й, 2-й и весь



**Рисунок 4.12.** – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях среднего загрязнения;

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

— положительная связь; ---- отрицательная связь

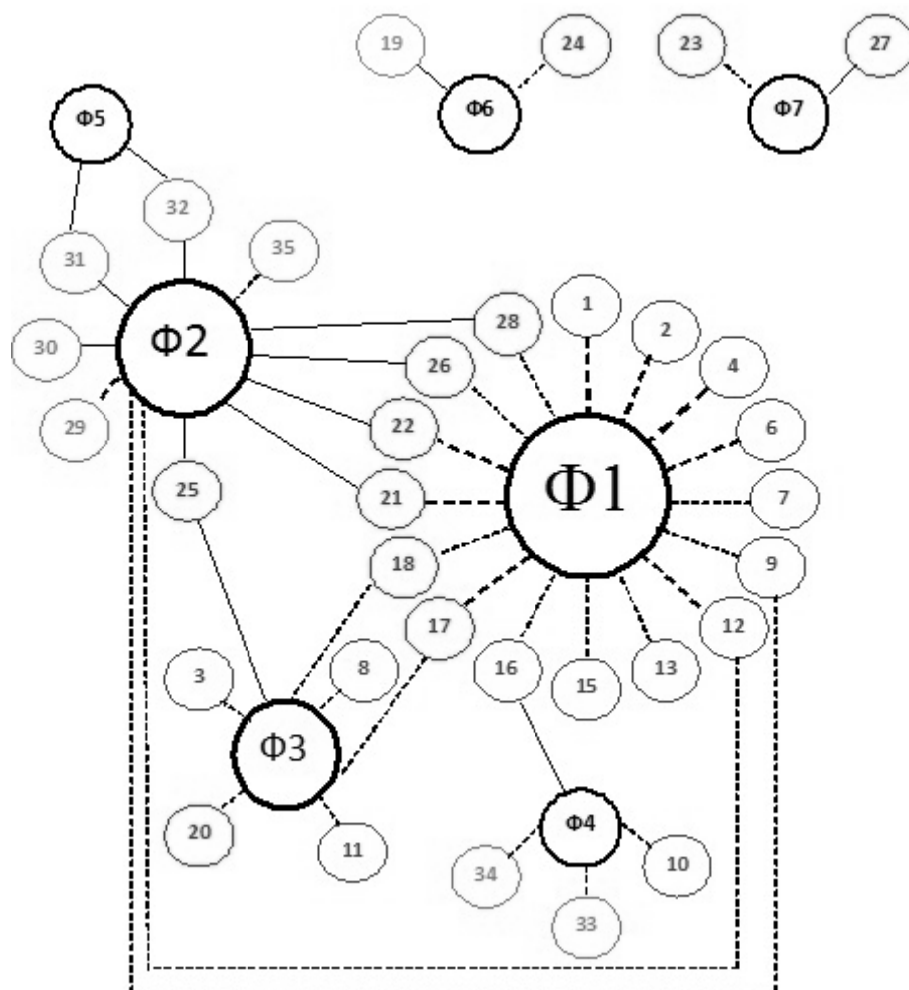
.....  $0,7 > r > 0,5$ ; - - - - -  $0,9 > r > 0,7$ ; ———  $r > 0,9$

гаметофитный периоды (признаки 24, 25, 26), итоговая выживаемость семян (признак 28). Положительно с Ф1 и отрицательно с перечисленными признаками коррелирует число семян, погибших во 2-й вегетационный период (признак 20). Таким образом, в условиях среднего уровня загрязнения увеличение размеров и массы шишек (признаки 1, 2 и 4) коррелирует главным образом с увеличением размеров семенных чешуй (признаки 6, 7). Число выполненных семян находится в зависимости с числом фертильных, опыленных и оплодотворенных семян. Вероятно, качество семян и пыльцевых зерен обеспечивают беспрепятственное развитие семян до семени, т.е. потенциальные возможности деревьев по

формированию семян в данных условиях благополучно реализуются. Также как и в условиях фона итоговая выживаемость семяпочек (признак 28) и выход семян (признаки 21, 22) более зависимы от состояния гаметофитов (признаки 24-26), чем эмбрионов (признак 27), т.е. гаметофитная стадия развития семяпочек является более уязвимой и именно на ней происходит наибольший отбор семяпочек. Чем более качественная отбраковка семяпочек на стадии гамет (в 1-й вегетационный период), тем выше их выживаемость в эмбриональный период (Ф5). Связь выхода семян и массы семян в данных условиях произрастания отсутствует, однако обнаружена достоверная обратно пропорциональная корреляция массы семян с числом фертильных и опыленных семяпочек (Ф2). Длина гипокотыля проростка связана с массой семян и не зависит от ПКС (Ф2), а появление семядолей происходит быстрее у проростков с их малым числом (Ф4). Показатели энергии прорастания и всхожести семян скоррелированы между собой (Ф6), однако, независимы от других рассматриваемых показателей.

Отсутствие связи между числом полнозернистых семян в шишках, их массой, ПКС и развитием проростков позволяет предположить, что отбор и элиминация генотипов смещены и продолжаются на более поздних этапах прорастания семени и развития проростков.

В условиях сильного загрязнения (ОУ-2) в составе 1-го фактора (28,99% от общей дисперсии) положительно сопряжены между собой и отрицательно с фактором, такие признаки как размеры и масса шишек (признаки 1,2 и 4), размеры семенных чешуй, щитков и крылаток (признаки 6, 7, 9, 10, 12, 13), число стерильных и общее число семенных чешуй (признаки 15, 16), а также число фертильных и опыленных семяпочек (признаки 17, 18), общее число семян (признак 21), число выполненных семян (признак 22), выживаемость семяпочек за весь гаметофитный период (признак 26), итоговая выживаемость семяпочек (признак 28) (Рисунок 4.13; Приложение 8).



**Рисунок 4.13.** – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях среднего загрязнения;

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

— положительная связь; ---- отрицательная связь

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

В условиях сильного загрязнения (ОУ-2) также как и в фоновых условиях (ОУ-К) размеры шишек и их масса (признаки 1,2 и 4) взаимосвязаны как с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7), так и с их количеством (признаки 15, 16).

Размеры крылаток (признаки 12, 13) связаны с размерами семенных чешуй (признаки 6, 7). Число опыленных, оплодотворенных (общее число семян), а также число выполненных семян связаны с числом фертильных семязпочек, т.е. потенциальные возможности деревьев по формированию семян в данных условиях реализуются в полной мере.

Показатель, характеризующий число фертильных семян входит в состав 2-х факторов (Ф1 и Ф3) и в обоих с числом опыленных семян коррелирует прямопропорционально, т.е. все деревья ОУ имеют однонаправленную связь данных показателей. Однако при увеличении числа опыленных семян может увеличиваться как число оплодотворенных (выживаемость во 2-й вегетационный период увеличивается) (Ф1), так и неоплодотворенных семян (выживаемость во 2-й вегетационный период уменьшается) (Ф3). Связь опыленных и оплодотворенных семян более прочная (Ф1), вероятно у большинства деревьев ОУ семена успешно прошедшие процесс опыления в большинстве своем будут оплодотворены. Однако в обоих случаях результат отбора неопределенный – нет связи с качеством семян. Для части показателей, характеризующих число семян и выживаемость семян состав Ф1 и Ф2 дублируется. Система связей не противоречит указанной выше, но набор показателей дополняется показателями характеризующими массу семян и их качество. Таким образом, только в зоне сильного загрязнения отрицательная связь между семенной продуктивностью (числом полнозернистых семян и общим числом семян) и массой семян выходит на достоверно значимый уровень (Ф2). Это можно объяснить недостатком питательных веществ деревьев, так как в данных условиях произрастания они сильно ослаблены, крона имеет высокую степень дефолиации, срок жизни хвои сокращен (Таблица 3.1). Семена малой массы (она может составлять 2,38 г/1000 шт., что в 2,65 раза меньше чем средняя на ОУ-К) имеют высокие ПКС и формируют в лабораторных условиях к 15 дню развитые проростки с высокой долей «семядольных» растений и малым числом семядолей. Связь показателей массы семян с числом семян и ПКС не повторяется в составе других факторов, что позволяет предположить однонаправленную реакцию деревьев по данным показателям на условия произрастания. Длина сформированных проростков варьирует, однако, соотношение длины корешка и гипокотыля прогнозируемо: чем больше длина корешка, тем больше длина гипокотыля, что следует из положительной корреляции этих показателей в составе Ф4. Вне зависимости от массы семени, имеющие высокие ПКС, формируют проростки большей длины, чем семена с малыми значениями ПКС (Ф5).

Только в данных условиях произрастания выживаемость семян сосны в 1-й вегетационный период не связана с какими-либо параметрами женской генеративной системы и находится в составе 6-го фактора, с которым связана отрицательно. Выживаемость семян сосны в эмбриональный период также обособлена от других признаков и находится в составе фактора 7.

#### Выводы:

1. В условиях сильного уровня магнетитового загрязнения в древостое сосны обыкновенной формируются шишки, характеризующиеся меньшими размерами и массой, количеством и размерами семенных чешуй, размерами крылаток, по сравнению с ОУ с меньшими уровнями загрязнения. Индексы формы шишек и их структурных элементов сохраняются неизменными вне зависимости от условий формирования. В целом в градиенте загрязнения семенные чешуи имеют более бугорчатый апофиз, чем в фоновых условиях.

2. В древостоях сосны в градиенте техногенного загрязнения и в фоновых условиях происходит интенсивная гибель семян, которая приурочена к разным периодам их развития. В условиях сильного загрязнения интенсивная элиминация семян происходит в 1-й вегетационный период, в условиях слабого – во 2-й, в фоновых условиях – в эмбриональный период.

3. Основные показатели качества семян сосны (энергия прорастания и всхожесть) слабо подвержены влиянию магнетитового загрязнения. Показатели массы семян, длины гипокотила проростка и числа семядолей, характеризующие качество семян и проростков, являются наиболее чувствительными к влиянию только сильного уровня магнетитового загрязнения.

4. 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 при-

знаки связаны только с размерами семенных чешуй, что указывает на вариабельность закономерностей роста и развития шишек под воздействием техногенного загрязнения.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. У проростков семян, сформированных в градиенте загрязнения, изменяется структура связей между их морфометрическими показателями и показателями массы и качества семян. Так, длина корешка и гипокотилия проростков семян, сформированных в фоновых условиях не связаны с их энергией прорастания, всхожестью и массой, семян, сформированных в условиях слабого и среднего загрязнения положительно связаны с их массой и не зависят от основных показателей качества, семян, сформированных в условиях 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

Биоэкологическая специфичность прорастания семян, роста и развития сеянцев являются предметом интереса в связи с необходимостью биологической оценки репродуктивного потенциала лесообразующих видов, произрастающих в различных неблагоприятных природных условиях (переувлажнение, влияние пониженных температур, техногенное загрязнение и т.д.), изучения возможности лесовозобновления на техногенно загрязненных землях.

В результате проведения анализа научной литературы было выявлено разнообразие взглядов по части значения почвенных условий и условий формирования семян деревьев хвойных пород для их прорастания, роста и развития сеянцев. Одни авторы выявили, что решающее значение в отношении прорастания семян и развития сеянцев имеет почвенный фактор (Еркоева и др., 2012; Митякова, 2012), другие авторы указывают на важнейшее значение условий формирования семян (Бендер и др., 2012).

В условиях воздействия аэротехногенных выбросов комбината «Магnezит» 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  $Ca^{++}$ , а также увеличение содержания тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn) в зоне сильного загрязнения (Таблицы 5.1 и 5.2).

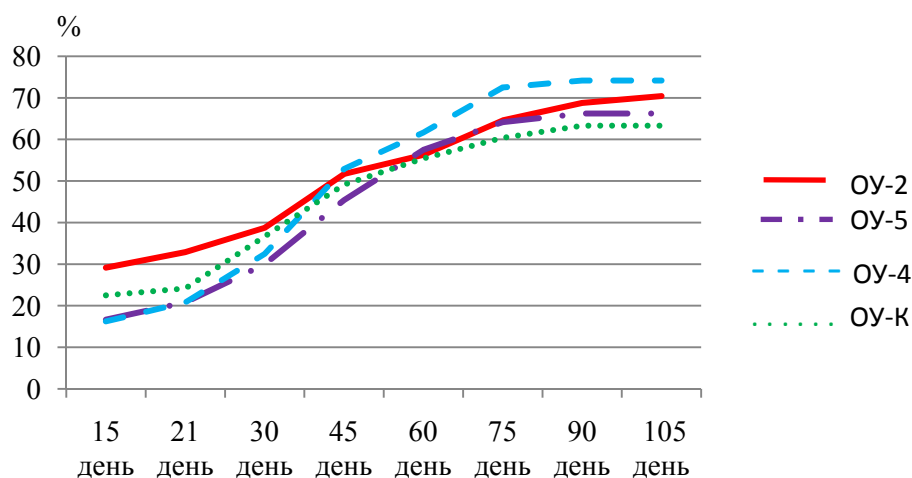
**Таблица 5.1.** – Содержание обменных катионов и рН верхнего корнеобитаемого горизонта почв в районе магnezитового загрязнения

Опытный участок	Сумма $Ca^{++}$ и $Mg^{++}$	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	Соотношение $Mg^{++}/Ca^{++}$	рН водной вытяжки
ОУ-2	52,51	7,51	45,00	5,99	9,54
ОУ-5	42,52	10,00	32,52	3,25	8,87
ОУ-4	37,50	20,00	17,50	0,88	7,25
ОУ-К	35,02	7,51	27,51	3,66	6,42

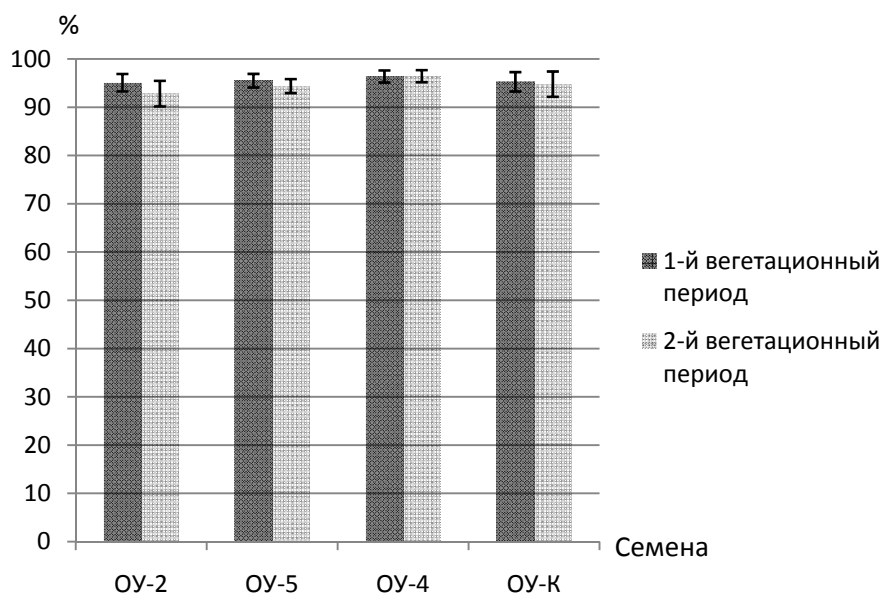
**Таблица 5.2.** – Содержание тяжелых металлов в почве

Опытный участок	Микроэлементы, мг/кг								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ОУ-2	-	-	1,400	1,122	30,1	132	-	-	1,480
ОУ-5	0,082	0,085	0,567	1,021	14,6	198	0,187	-	0,540
ОУ-4	-	-	0,602	1,081	10,9	129	0,067	-	-
ОУ-К	-	-	1,080	1,244	16,0	106	1,470	-	-

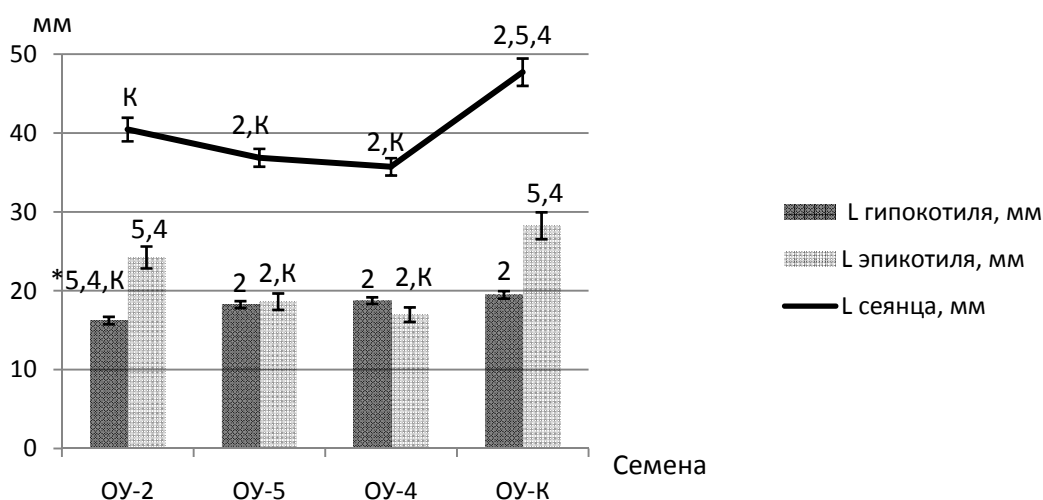
**5.1. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из фоновых условий.** В ходе проведения вегетационных опытов было установлено, что почва из фоновых условий имеет наиболее благоприятные условия для прорастания семян сосны. Для данного варианта почвы характерны высокие значения всхожести семян всех происхождений (64-73%) (Рисунок 5.1). Отметим также высокую выживаемость сеянцев как в 1-й, так и во 2-й вегетационные периоды (Рисунок 5.2). По данным признакам между сеянцами семян разных происхождений достоверных различий не выявлено.

**Рисунок 5.1.** – Всхожесть семян сосны разных древостоев в почве из фоновых условий (ОУ-К)

В 1-й вегетационный период сеянцы развивались следующим образом: появление всхода и рост гипокотилия (7-14 день), развертывание семядолей (14-21 день), развитие и рост эпикотилия и ювенильной хвои (21-90 день), формирование верхушечной почки (90-105 день). Особенности роста сеянцев сосны в почве из фоновых условий в 1-й вегетационный период представлены на рисунке 5.3.



**Рисунок 5.2.** – Выживаемость сеянцев сосны в почве из фоновых условий в 1-й и 2-й вегетационные периоды



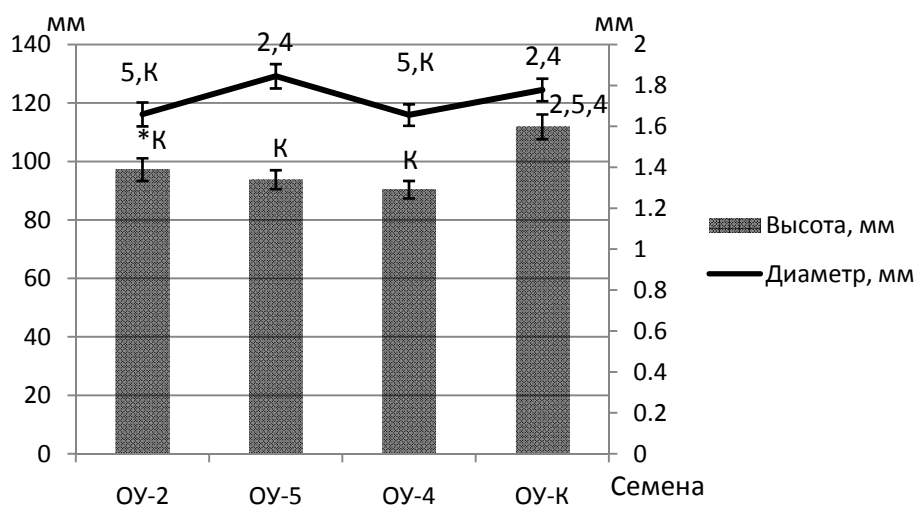
**Рисунок 5.3.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из фоновых условий в 1-й вегетационный период;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Выявлено, что сеянцы из семян, сформированных в условиях загрязнения, имеют достоверно меньшую длину (при  $p \leq 0,05$ ) по сравнению с сеянцами семян ОУ-К.

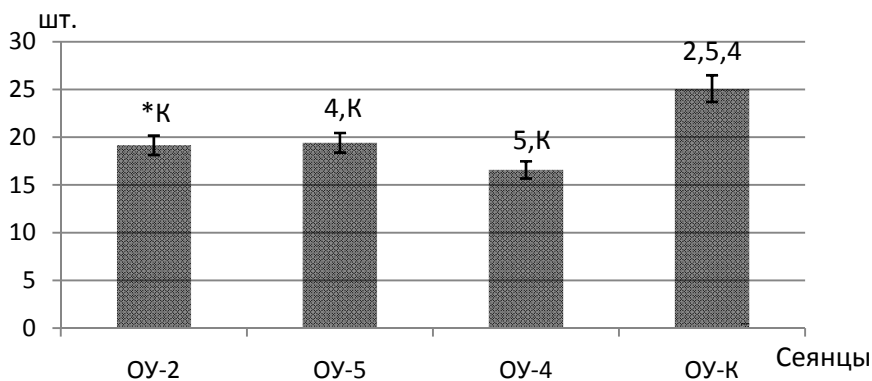
Во 2-й вегетационный период продолжается рост сеянца в высоту (365-470 дни), ювенильная хвоя подсыхает (380-410 дни), развивается вторичная (настоя-

щая) хвоя (380-450 дни), гипокотиль одревесневает, формируется мутовка почек на вершине (450-470 день). К концу 2-го вегетационного периода сеянцы семян из зон загрязнения по-прежнему отстают в росте по длине, а также диаметру стволика у корневой шейки, от сеянцев семян ОУ-К (различия достоверны с ОУ-2 и ОУ-4) (Рисунок 5.4). Также отметим, что у них образуется меньшее число пар хвои (различия достоверны со всеми ОУ в градиенте загрязнения) (Рисунок 5.5), однако, хвоя более длинная (различия достоверны с ОУ-5 и ОУ-4) (Рисунок 5.6).

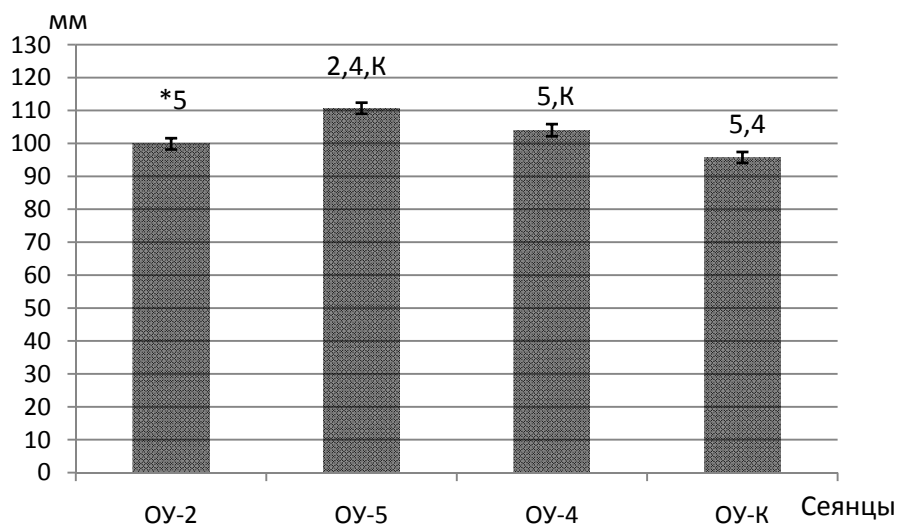


**Рисунок 5.4.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из фоновых условий во 2-й вегетационный период;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



**Рисунок 5.5.** – Число пар хвои у сеянцев сосны в почве из фоновых условий

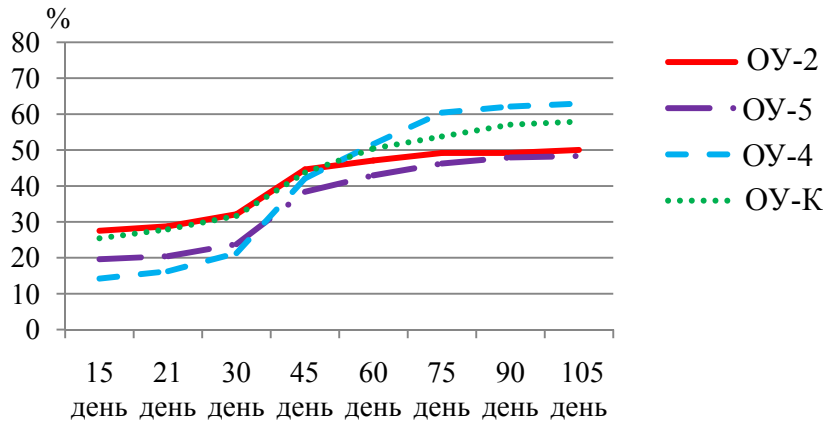


**Рисунок 5.6.** – Длина хвои у сеянцев сосны в почве из фоновых условий;

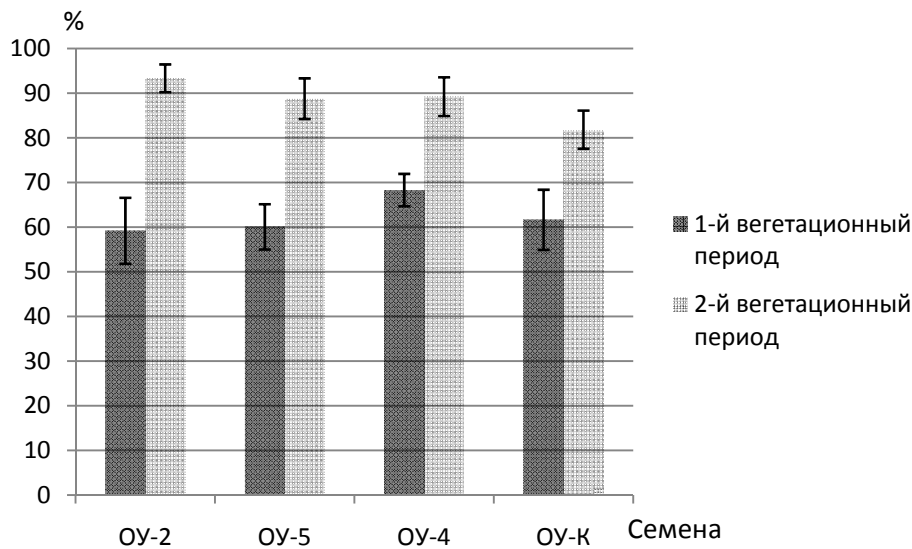
Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Таким образом, в почвенных условиях ОУ-К, всхожесть семян, сформированных в градиенте загрязнения, и выживаемость сеянцев сопоставима с таковыми семян из фоновых условий, однако, сеянцы семян из зон техногенного загрязнения имеют несколько измененный фенотип, отстают в росте и формируют меньшее число пар хвои большей длины.

**5.2. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из зоны слабого загрязнения.** Установлено, что в почве из зоны слабого загрязнения всхожесть семян из зоны слабого загрязнения и фоновых условий на 8-13% выше, чем семян, сформированных в условиях среднего и сильного загрязнения (Рисунок 5.7). Однако, вследствие высокой изменчивости данного показателя ( $Cv=18,22-41,93\%$ ), достоверных различий не выявлено. Показатели выживаемости сеянцев в 1-й и во 2-й вегетационные периоды между вариантами семян в данной почве не различаются, а по сравнению с почвой из фоновых условий происходит их снижение (Рисунок 5.8).

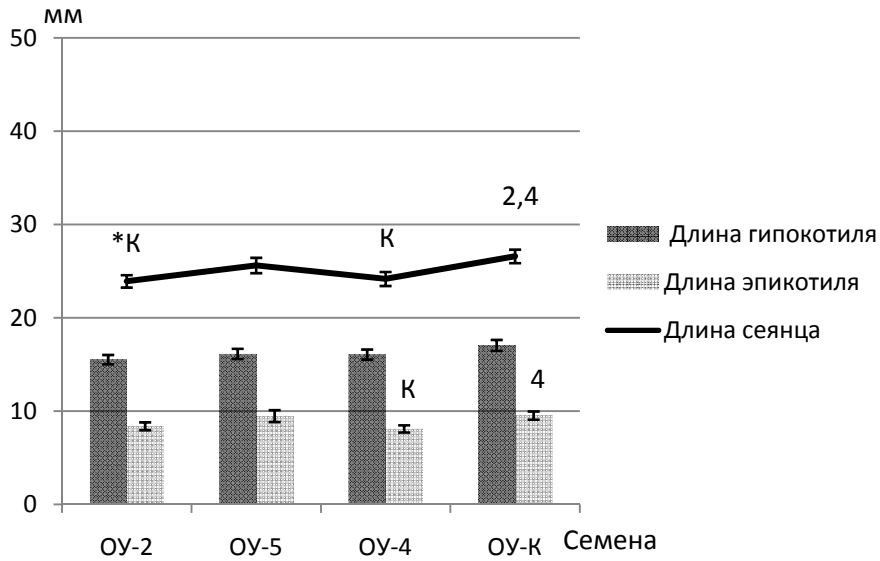


**Рисунок 5.7.** – Всхожесть семян сосны разных древостоев в почве из зоны слабого уровня загрязнения (ОУ-4)



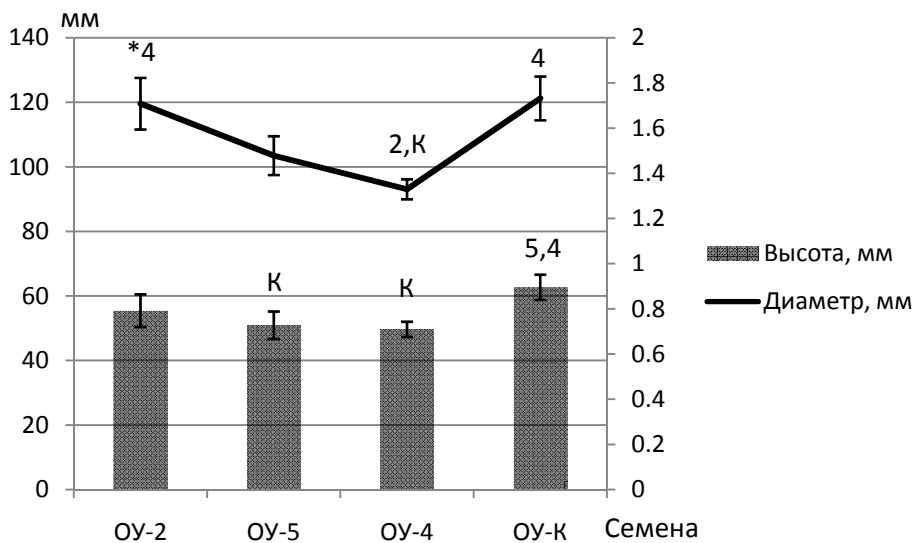
**Рисунок 5.8.** – Выживаемость сеянцев сосны в почве из зоны слабого загрязнения в 1-й и 2-й вегетационные периоды.

В данных почвенных условиях по сравнению с почвой ОУ-К снижаются размеры сеянцев семян всех происхождений как в 1-й, так и во 2-й вегетационные периоды (Рисунки 5.9 и 5.10). Сеянцы семян ОУ-К отличаются большими размерами и большим числом пар хвои по сравнению с сеянцами семян из зон загрязнения (Рисунки 5.9, 5.10 и 5.11). По показателю длины хвои достоверных различий между сеянцами семян разных происхождений в данных почвенных условиях не выявлено (Рисунок 5.12).



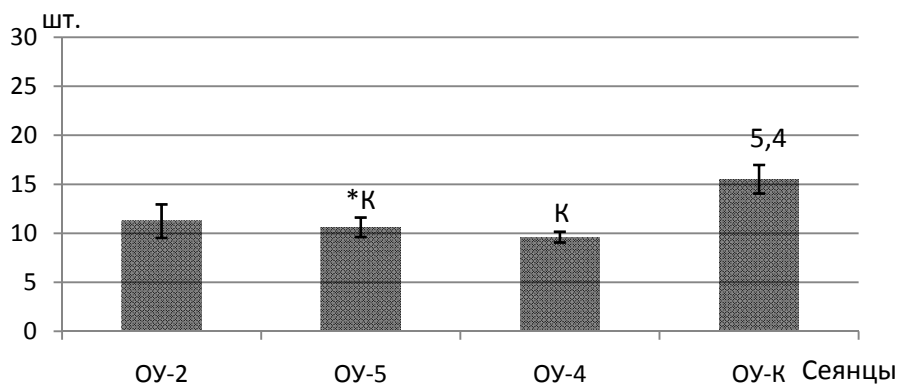
**Рисунок 5.9.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из зоны слабого загрязнения в 1-й вегетационный период;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



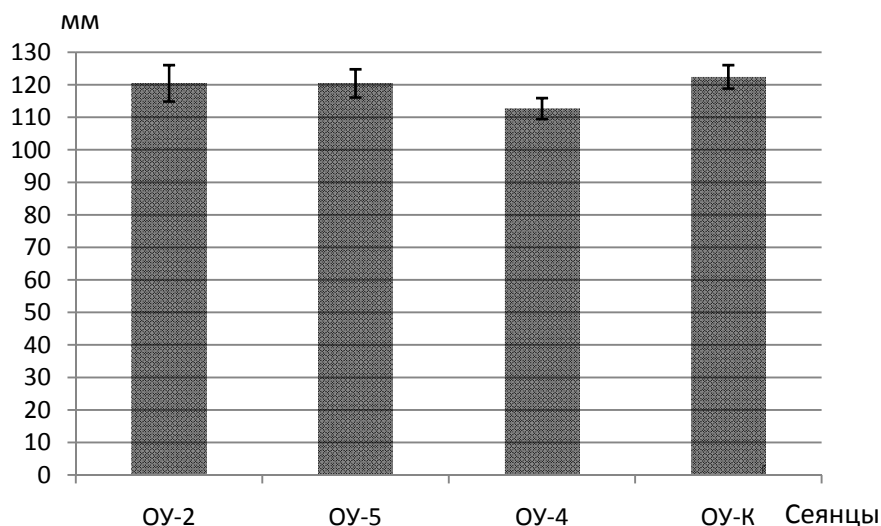
**Рисунок 5.10.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из зоны слабого загрязнения во 2-й вегетационный период;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



**Рисунок 5.11.** – Число пар хвои у сеянцев сосны в почве из зоны слабого загрязнения;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



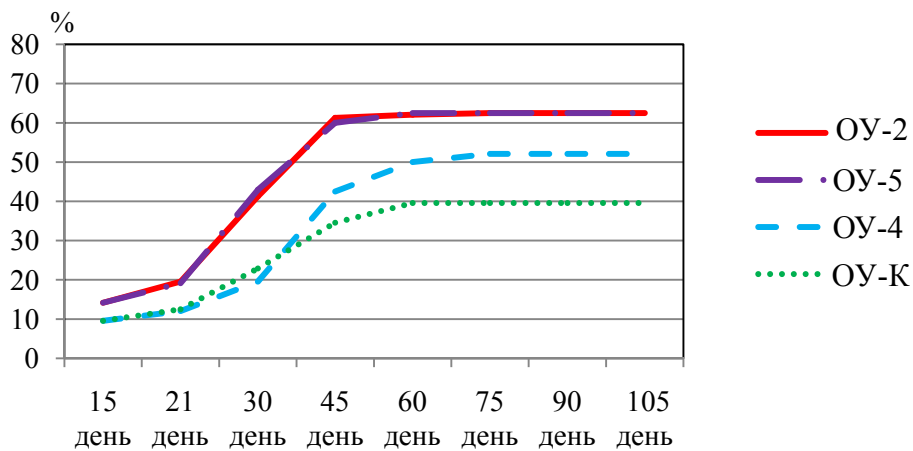
**Рисунок 5.12.** – Длина хвои у сеянцев сосны в почве из зоны слабого загрязнения.

Таким образом, в почве из зоны слабого загрязнения по сравнению с почвой из фоновых условий у семян, сформированных как в градиенте загрязнения, так и в фоновых условиях выявлено снижение всхожести, выживаемости сеянцев и их ростовых показателей. В данном варианте опыта размеры сеянцев семян ОУ-К и число пар хвои также как и в почве фоновых условий наибольшие. По длине хвои достоверных различий не выявлено.

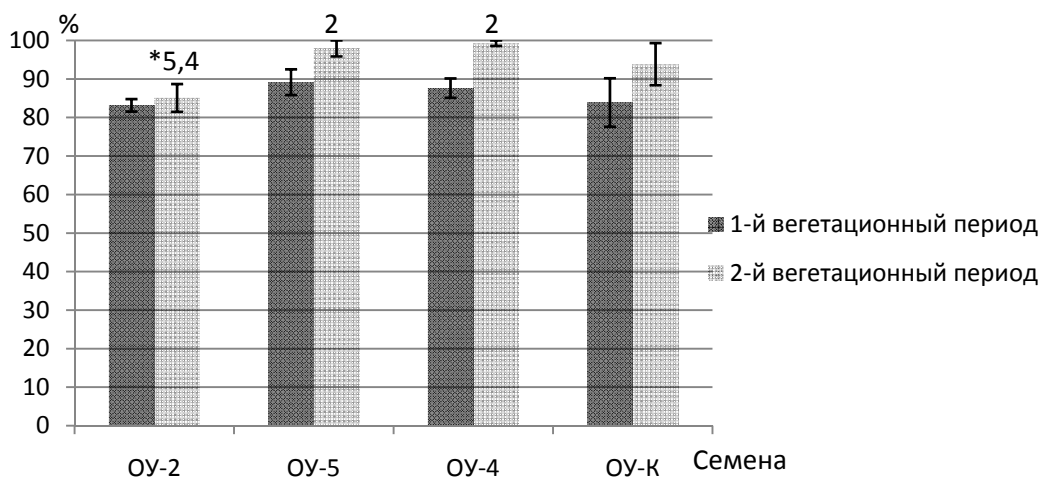
**5.3. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из зоны среднего загрязнения.** Всхожесть семян сосны, сформированных в условиях влияния разного уровня загрязнения, в почве ОУ-5 в целом выше на 12-24%, чем у семян из



фоновых условий (Рисунок 5.13). Однако вследствие высокой вариабельности признака ( $Cv=24,65-55,80\%$ ) достоверных различий не выявлено. По показателю выживаемости семян в 1-й вегетационный период между вариантами опыта различий не выявлено. Во 2-й вегетационный период выживаемость семян ОУ-2 ниже остальных вариантов опыта (достоверные различия с ОУ-5 и ОУ-4 при  $p \leq 0,05$ ). В почве из зоны среднего загрязнения по сравнению с почвой из фоновых условий снижается всхожесть семян всех происхождений и выживаемость семян в 1-й и 2-й вегетационные периоды (Рисунки 5.13 и 5.14).



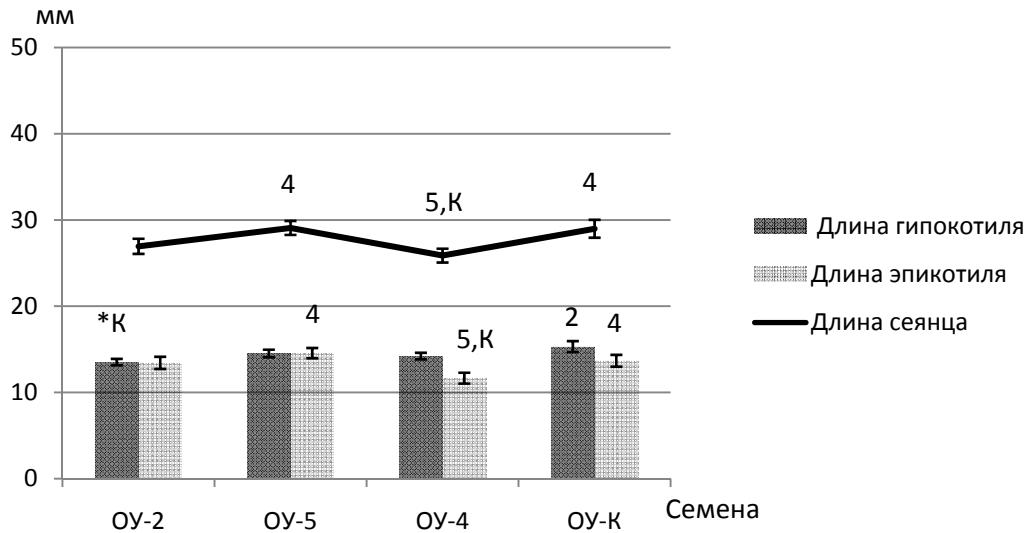
**Рисунок 5.13.** – Всхожесть семян сосны разных древостоев в почве из зоны среднего уровня загрязнения (ОУ-5)



**Рисунок 5.14.** – Выживаемость семян сосны в почве из зоны среднего загрязнения в 1-й и 2-й вегетационные периоды;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

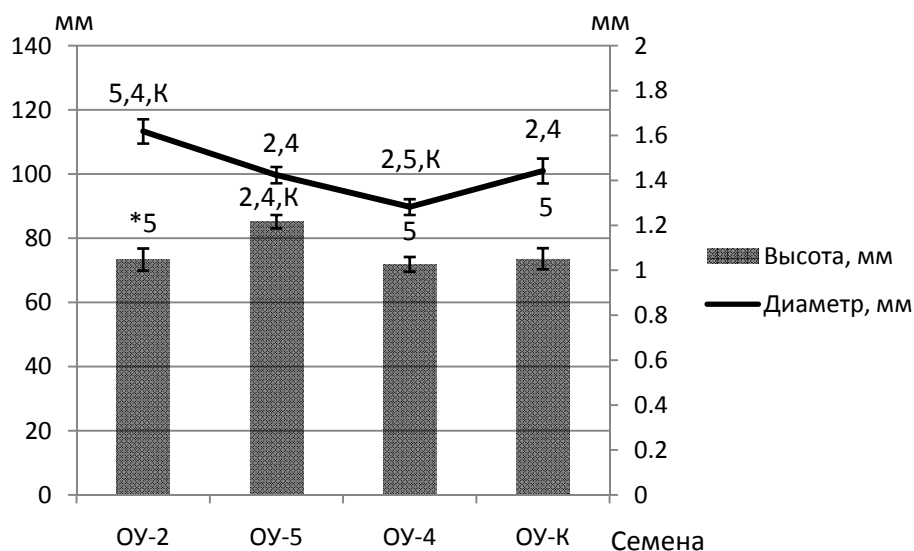
В данных почвенных условиях сеянцы семян, сформированных в градиенте загрязнения, в 1-й вегетационный период характеризуются меньшими ростовыми показателями (достоверные различия при  $p \leq 0,05$  между ОУ-К и ОУ-2 по длине гипокотилия, между ОУ-К и ОУ-4 по длине эпикотилия и длине сеянца) (Рисунок 5.15).



**Рисунок 5.15.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из зоны среднего загрязнения в 1-й вегетационный период;

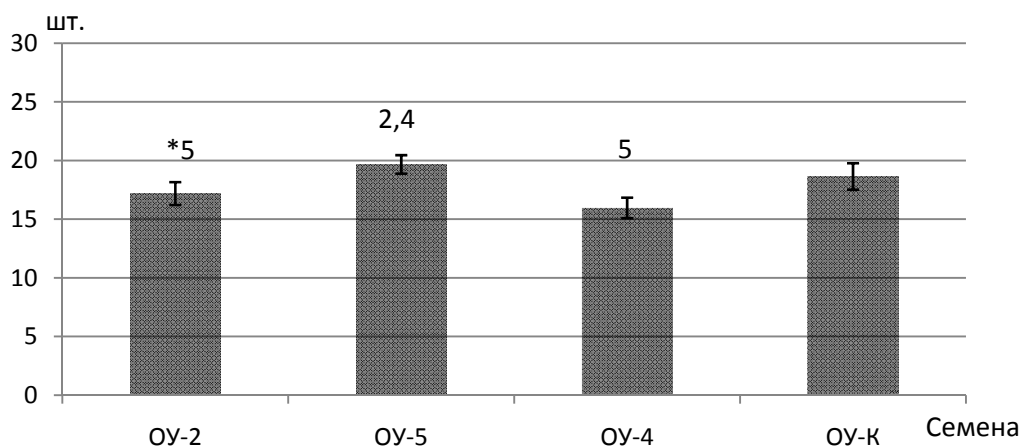
Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Во 2-й вегетационный период сеянцы семян ОУ-5 имеют наибольшую высоту, а сеянцы семян ОУ-2 наибольший диаметр стволика по сравнению с остальными вариантами опыта (Рисунок 5.16). Сеянцы семян из зон загрязнения по сравнению с сеянцами семян из фоновых условий имеют сопоставимое число пар хвои, которая имеет большую длину (Рисунки 5.17 и 5.18).



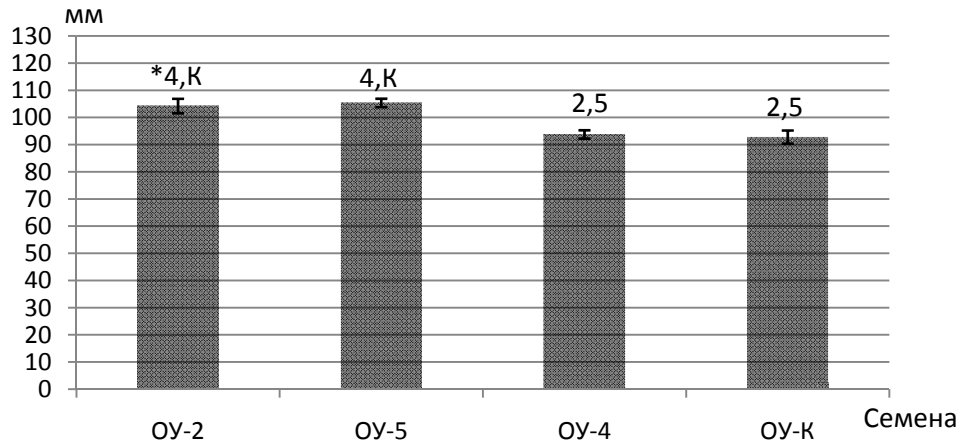
**Рисунок 5.16.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из зоны среднего загрязнения во 2-й вегетационный период;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



**Рисунок 5.17.** – Число пар хвои у сеянцев сосны в почве из зоны среднего загрязнения;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

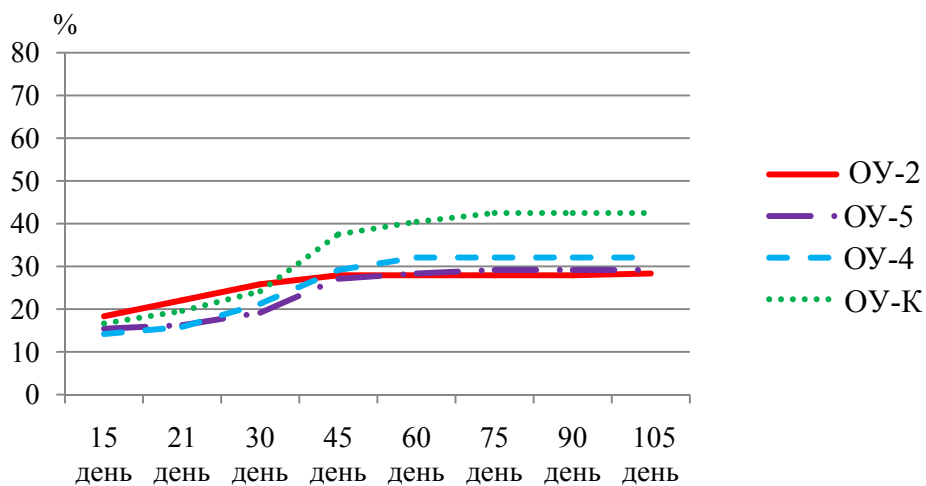


**Рисунок 5.18.** – Длина хвои у сеянцев сосны в почве из зоны среднего загрязнения;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Таким образом, в почве из зоны среднего загрязнения изменяется тенденция всхожести семян и развития сеянцев. Сеянцы семян ОУ-5 в «родных» почвенных условиях сопоставимы с сеянцами семян из фоновых условий по ростовым признакам в 1-й вегетационный период, а во 2-й превосходят их.

**5.4. Всхожесть семян и развитие сеянцев сосны в почве из зоны сильного загрязнения.** В почве из зоны сильного загрязнения отмечены наиболее низкие значения всхожести семян всех происхождений (Рисунок 5.19).

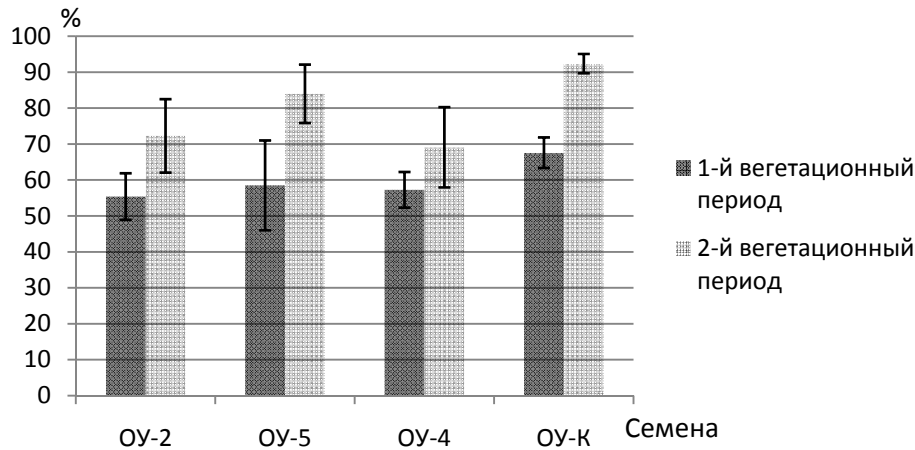


**Рисунок 5.19.** – Всхожесть семян сосны разных древостоев в почве из зоны сильного уровня загрязнения (ОУ-2)

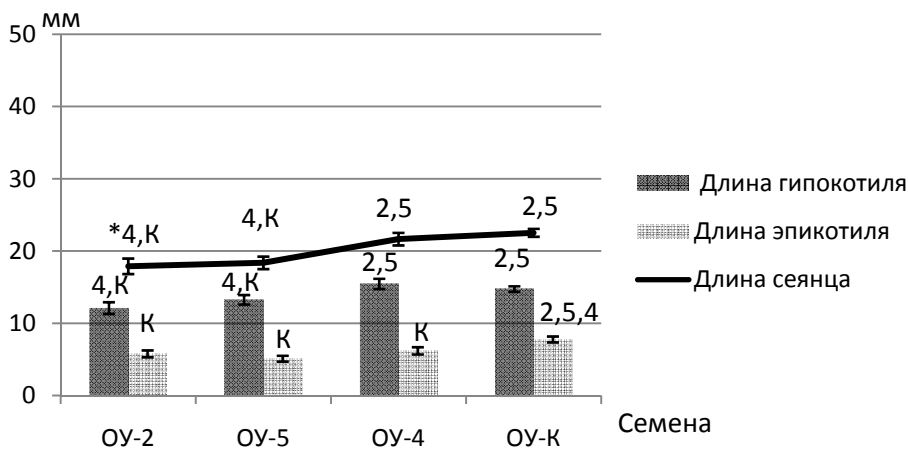
Выживаемость сеянцев в почве из зоны сильного загрязнения как в 1-й, так и во 2-й вегетационные периоды характеризуется высокой вариабельностью признака,

коэффициент вариации достигает 40 %. Вследствие этого по данному показателю достоверных различий между вариантами опыта не выявлено (Рисунок 5.20).

Сеянцы семян из зон загрязнения отстают по своим морфометрическим признакам от сеянцев семян ОУ-К как в 1-й, так и во 2-й вегетационные периоды, имеют меньшее количество и длину хвои (Рисунки 5.21, 5.22, 5.23, 5.24).

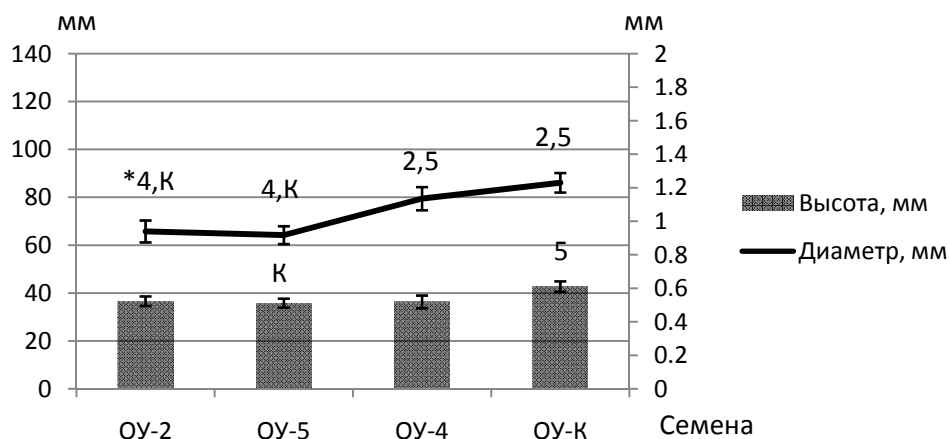


**Рисунок 5.20.** – Выживаемость сеянцев сосны в почве из зоны сильного загрязнения в 1-й и 2-й вегетационные периоды



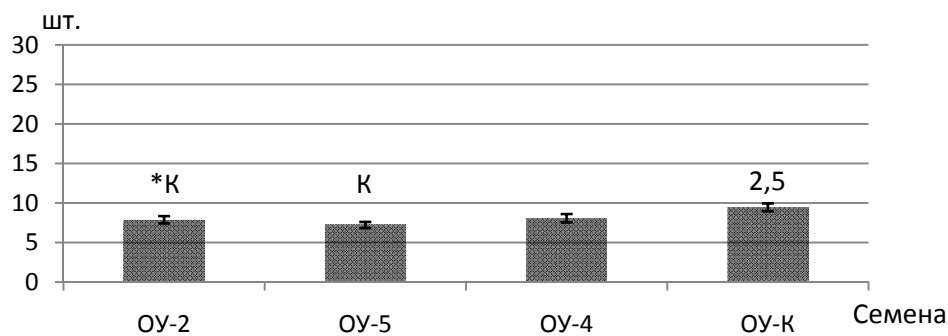
**Рисунок 5.21.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из зоны сильного загрязнения в 1-й вегетационный период;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



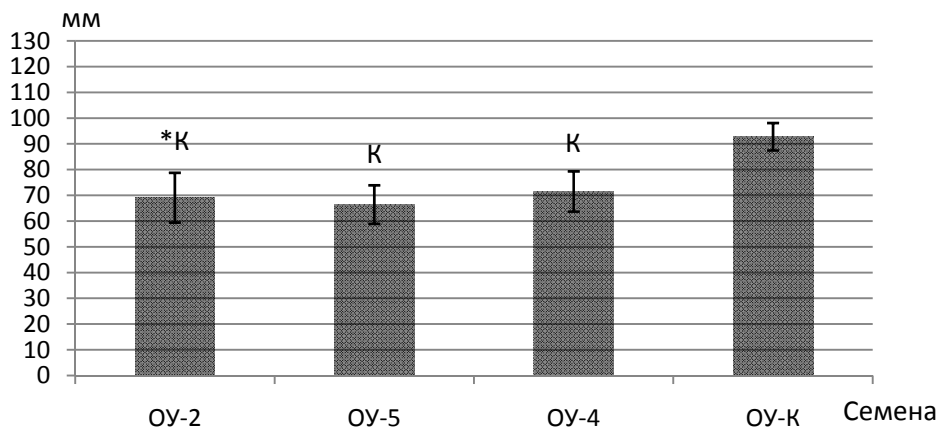
**Рисунок 5.22.** – Особенности роста сеянцев сосны в почве из зоны сильного загрязнения во 2-й вегетационный период;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



**Рисунок 5.23.** – Число пар хвои у сеянцев сосны в почве из зоны сильного загрязнения;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$



**Рисунок 5.24.** – Длина хвои у сеянцев сосны в почве из зоны сильного загрязнения;

Примечание: \* различия между ОУ достоверны при  $p < 0,05$

Таким образом, в почве из зоны сильного загрязнения происходит снижение значений всех изученных признаков семян и сеянцев семян по сравнению с почвой из фоновых условий и зон с меньшим уровнем загрязнения. В почве из зоны сильного загрязнения сеянцы семян ОУ-К имеют лучшие ростовые характеристики по сравнению с сеянцами семян, сформированными в условиях влияния выбросов.

#### Выводы:

1. Почвы из зон загрязнения негативно влияют на всхожесть семян сосны обыкновенной, рост и развитие сеянцев. Наибольшее отрицательное влияние на изученные показатели оказывают почвенные условия из зоны сильного загрязнения.
2. Семена, сформированные в условиях влияния выбросов магнезитового производства, не следует применять для лесовозобновления в фоновых условиях, т.к. сеянцы, выращенные из них в почве из условий фона, несмотря на высокие показатели всхожести и выживаемости, имеют низкие показатели роста и развития по сравнению с сеянцами семян из условий фона.
3. В условиях сильного и слабого загрязнения для лесовозобновления не желательно использовать семена материнских древостоев, т.к. сеянцы, выращенные из них, характеризуются сниженными показателями роста и развития. В данных условиях возможно использование семян из фоновых условий. В зоне среднего загрязнения перспективно использование семян материнского древостоя, т.к. ростовые показатели их сеянцев сопоставимы с таковыми сеянцев семян из фоновых условий, а по некоторым показателям даже превосходят их.

## 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 магнетитового 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 магнетитового 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.

В насаждениях, подверженных влиянию поллютантов, гибель семян сосны смещается на более ранние стадии 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.

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 магнетитового 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 сниженными жизнеспособностью и ростовыми показателями. В данных условиях предпочтительно использование семян из условий фона. В условиях среднего уровня загрязнения возможно лесовосстановление семенами материнского древостоя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатурова, М.П. Значение состояния семяпочки для опыления сосны обыкновенной / М.П. Абатурова, В.А. Духарев, С.М. Рябоконт // Лесоведение. – 1997. – №1. – С. 64-69.

Абатурова, М.П. Формирование фертильной зоны шишек сосны обыкновенной / М.П. Абатурова, В.А. Духарев, С.М. Рябоконт // Лесоведение. – 2002. – №1. – С.70-72.

Агиков, И.Н. Состояние травяно-кустарничкового яруса и подстилки лесных экосистем в условиях загрязнения окружающей среды атмосферными выбросами металлургического комбината ЗАО «Карабашмедь» / И.Н. Агиков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 5. – С. 119-122.

Алексеев, В.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В.А. Алексеев, Л.С. Дочинжер // Лесоведение. – 1981. – №5. – С. 64-71.

Алтухов, Ю.П. Генетические процессы в популяциях / Ю.П. Алтухов. – М.: Наука, 1989. – 328 с.

Ангальт, Е.М. Биологический анализ хвои, шишек и семян сосны обыкновенной в условиях городской среды / Е.М. Ангальт, Н.А. Жамурина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – №3. – С. 156-158.

Аникеев, Д.Р. Сопряженная изменчивость и наследуемость признаков женской генеративной сферы сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения / Д.Р. Аникеев // Лесоведение. – 2000. – №4. – С. 56-62.

Аникеев, Д.Р. Состояние репродуктивной системы сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении / Д.Р. Аникеев, Л.Г. Бабушкина, Г.В. Зуева. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 2000. – 81 с.

Антипов, В.Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам / В.Г. Антипов. – Минск: Наука и техника, 1979. – 216 с.

Афанасьева, Л.В. Элементный состав хвои и морфометрические параметры сосны обыкновенной в условиях атмосферного промышленного загрязнения в Западном Забайкалье / Л.В. Афанасьева, В.К. Кашин, А.С. Плешанов, Т.А. Михайлова, Н.С. Бережная // Хвойные бореальной зоны. – 2004. – №1. – С.112-119.

Бабушкина, Л.Г. Экологическое состояние лесных насаждений в зоне фторсодержащих промышленных выбросов / Л.Г. Бабушкина, Г.В. Зуева, Н.А. Луганский, Н.В. Марина, Г.Н. Новоселова, Л.А. Наумова, Т.Ф. Коковкина, Н.М. Шебалова, И.П. Степанова, Н.В. Фалько, Т.Н. Суменкова, Л.И. Симонова, И.А. Ужегова // Экология. – 1993. – №1. – С. 26-36.

Бажина, Е.В. Особенности мейоза при микроспорогенезе у пихты сибирской в различных экологических условиях / Е.В. Бажина, О.В. Квитко, Е.Н. Муратова // Труды Тигирекского заповедника. – 2005. – № 1. – С. 165-169.

Бажина, Е.В. Мейоз при микроспорогенезе и жизнеспособность пыльцы у пихты сибирской в среднегорье Восточного Саяна / Е.В. Бажина, О.В. Квитко, Е.Н. Муратова // Лесоведение. – 2007. – № 1. – С. 57-64.

Бажина, Е.В. Мейоз при микроспорогенезе у пихты сибирской в условиях дендрария / Е.В. Бажина, О.В. Квитко, Е.Н. Муратова // Онтогенез. – 2007а. – Т. 38. – № 4. – С. 299-306.

Бажина, Е.В. Особенности семенной продуктивности сосны обыкновенной в нарушенных лесных экосистемах Красноярской лесостепи / Е.В. Бажина, Л.Н. Скрипальщикова // Лесные биогеоценозы Бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 309-310.

Базарский, О.В. Влияние рельефа местности на уровень загрязнения природных территорий автомобильных дорог / О.В. Базарский, С.И. Фонова. // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: Сборник материалов четвертой Международной научно-практической конференции. – Воронеж: Изд-во ООО "Издательство "Научная книга" . – 2015. – С. 86-88.

Барахтенова, Л.А. Влияние цементной пыли на состояние сосновых насаждений / Л.А. Барахтенова, В.С. Иванов // Экология и защита леса. – 1998. – С. 18-23.

Батыгин, Н.Ф. Онтогенез высших растений / Н.Ф. Батыгин. – М.: Агропромиздат, 1986. – 100 с.

Бахтиярова, Р.М. Генетическая изменчивость сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях промышленного загрязнения на Южном Урале: Мутационный процесс в популяциях сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения / Р.М. Бахтиярова // Генетика. – 1997. – Т. 33, №5. – С. 644-649.

Бачурина, А.В. Влияние промышленных поллютантов ЗАО "Карабашмедь" на состояние прилегающих лесных насаждений: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: 06.03.03 / Бачурина Анна Владимировна. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. – 21 с.

Безель, В.С. Изменчивость популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды / В.С. Безель, В.Н. Позолотина, Е.А. Бельский, Т.В. Жуйкова // Экология. – 2001. – №6. – С. 447-453.

Белова, Н.В. Жизнеспособность семян пихты сибирской в лесных экосистемах Восточного Саяна / Н.В. Белова, Е.В. Бажина // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. XXIV, № 4-5. – С. 474-477.

Бендер, О.Г. Анализ влияния качества почвенного субстрата и происхождения семян на морфогенез сеянцев кедра сибирского / О.Г. Бендер, С.Н. Велисевич, О.Ю. Читоркина, А.П. Зотикова, Н.А. Чернова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 1 (17). – С. 109–121.

Берг, Р.Л. Экологическая интерпретация корреляционных плеяд / Р.Л. Берг // Вестник Ленингр. Ун-та, сер. Биол. – 1959. – Вып. 2, №9. – С. 142-152.

Бергман, И.Е. Влияние выбросов медеплавильного завода на формирование запаса и разложение крупных древесных остатков в елово-пихтовых лесах / И. Е. Бергман, Е. Л. Воробейчик // Лесоведение. – 2017. – №1. – С. 24–38.

Богатырев, К.П. Почвы горного Урала / К.П. Богатырев, Н.А. Ногина // О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. – М., 1962. – С. 5-48.

Бозшатаева, Г.Т. Использование биоиндикаторов для оценки состояния атмосферного воздуха / Г.Т. Бозшатаева, А.И. Касымбекова, Г.С. Оспанова, Г.К. Турабаева, М.Б. Кыдыралиева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 12-2. – С. 302-306.

Болтнева, Л.И. Воздействие пыле-газовых выбросов промышленных предприятий на сосновые северотаежные леса / Л.И. Болтнева, А.А. Игнатъев, Р.Т. Карабань, И.М. Назаров, И.А. Руднева, Т.И. Сисигина // Экология. – 1982. – №4. – С. 37-43.

Бусько, Е.Г. Трансформация сосновых лесов Беларуси под воздействием антропогенных факторов / Е.Г. Бусько. – М.: Наука, 1995. – 88 с.

Валетова, Е.А. Фертильность пыльцы сосны обыкновенной в условиях различной антропогенной нагрузки / Е.А. Валетова, Г.И. Егоркина // Лесное хозяйство. – 2008. – № 5. – С. 41 - 42.

Васильева, Н.П. Мониторинг повреждаемости загрязняющими веществами лесных экосистем России / Н.П. Васильева, М.Л. Гитарский, Р.Т. Карабань, И.М. Назаров // Лесоведение. – 2000. – № 1. – С. 23 - 31.

Васфилов, С.П. Влияние воздушных загрязнителей на развитие листьев у берез / С.П. Васфилов // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала: Сборник научных трудов. – Свердловск, 1990. – С. 121-128

Васфилов, С.П. Влияние загрязнения воздуха на сосну обыкновенную / С.П. Васфилов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 214 с.

Вахнина, И.Л. Характеристика семян сосны обыкновенной в зеленой зоне г. Читы (Восточное Забайкалье) / И.Л. Вахнина // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 8. – С. 98-103.

Вахнина, И.Л. Изменчивость генеративных параметров *Pinus Sylvestris* L. в условиях городского загрязнения / И.Л. Вахнина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №9. – С. 109-112.

Вахнина, И.Л. Морфобиологическая характеристика генеративных органов сосны в природно-техногенных условиях (Восточное Забайкалье) / И.Л. Вахнина,

В.П. Макаров // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2014. – № 5. – С. 20-25.

Велисевич, С.Н. Рост и репродукция разновысотных ценопопуляций сосны кедровой сибирской (*Pinus Sibirica Du Tour*) в горах Северо-Восточного Алтая / С.Н. Велисевич, О.В. Хуторной, О.Ю. Читоркина // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2009. – № 3 (7). – С. 73-84.

Воробейчик, Е.Л. Реакция лесных фитоценозов на техногенное загрязнение: зависимость доза–эффект / Е.Л. Воробейчик, Е.В. Хантемирова // Экология. – 1994. – № 3. – С. – 31-43.

Воробейчик, Е.Л. Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения // Экология. – 1995 – №4. – С. 278-284.

Воробейчик, Е.Л. Реакция лесной подстилки и ее связь с почвенной биотой при токсическом загрязнении / Е.Л. Воробейчик // Лесоведение. – 2003. – №2. – С. 32-42.

Воробейчик, Е.Л. Изменение разнообразия почвенной мезофауны в градиенте промышленного загрязнения / Е.Л. Воробейчик, А.И. Ермаков, М.П. Золотарев, Т.К. Тунева // Russian Entomol. J. – 2012. – №2. – С. 203-218.

Ворон, В.П. Воздействие загрязнения атмосферы на сосновые леса восточного Донбасса / В.П. Ворон, Т.Ф. Стельмахова, И.М. Коваль // Лесоведение. – 2000. – №1. – С. 46-50.

Ворон, В.П. Динамика состояния и структура сосняков в условиях загрязнения атмосферы выбросами Ровенского ОАО "Азот" / В.П. Ворон, А.Ю. Бологов // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – 2015. – № 13. – С. 149-154.

Воронкова, Н.М. Ответная реакция дальневосточных древесных растений на токсичность кислых газов / Н.М. Воронкова, А.Н. Прилуцкий // Антропогенная и естественная динамика лесов юга Дальнего Востока. – Владивосток, 1989. – С.78-82.

Воронцов, А.И. Новые задачи лесозащиты / А.И. Воронцов, А.С. Исаев // Лесоведение. – 1979. – № 6. – С. 3 - 19.

Гарань, М.И. Геологический очерк Бакало-Саткинского района / М.И. Гарань // Труды Уральского НИИ геологии, разведки и исследований минерального сырья. – Свердловск, 1938. – Вып. 1. – С. 141-159.

Геология СССР. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. – М.: Недра, 1969. – Т. 12, Ч. 1, Кн. 1. – 723 с.

Гераськин, С.А. Цитогенетические эффекты в популяции сосны обыкновенной из районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС / С.А. Гераськин, Н.С. Дикарева, А.А. Удалова, С.И. Спиридонов, В.Г. Дикарев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2008. – Т. 48, №5. – С. 584-595.

Горчаковский, П.Л. Интегральная оценка экологического состояния растительного покрова Свердловской области / П.Л. Горчаковский, Н.Н. Никонова, Т.В. Фамелис // Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2004. – С. 13-19.

ГОСТ -13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. – 27 с.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. – 760 с.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. – 888 с.

Гридин, В.Г. Производство и окружающая среда / В.Г. Гридин, В.И. Ефимов // Производство и окружающая среда. – М: МГГУ, 2007. – 63 с.

Гудериан Р. Загрязнение воздушной среды / Р. Гудериан. – М.: Мир, 1979. – 200 с.

Довлетярова, Э.А. Влияние городской среды на загрязнение почв тяжелыми металлами в зависимости от состава и возраста лесных древостоев (на примере лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) / Э.А. Довлетярова, Л.В.

Мосина, А.Г. Столярова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2012. №55. – С. 92-98.

Дончева, А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности / А.В. Дончева. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 96 с.

Дубровина, О.А. Характеристика насаждений сосны обыкновенной, произрастающей в условиях липецкого промышленного центра / О.А. Дубровина, Г.А. Зайцев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 10-13.

Евсеева, Т.И. Оценка репродуктивной способности *Pinus sylvestris*, произрастающей в условиях хронического воздействия радионуклидов уранового и ториевого рядов / Т.И. Евсеева, С.А. Гераськин, Е.С. Белых, Т.А. Майстренко, J.E. Brown // Экология. – 2011. – №5. – С. 355-360.

Еркоева, А. А. Влияние кислотности почвы на экофизиологическую характеристику сеянцев сосны обыкновенной / А. А. Еркоева, С. Н. Дроздов, Е. С. Холопцева // Труды Карельского научного центра РАН. – 2012. – № 2. – С. 84–90.

Желтов, В.А. Приоритетные техногенные загрязнители окружающей среды / В.А. Желтов, В.И. Дорожкин // Проблемы ветеринарной санитарии гигиены и экологии. – 2015. – № 2. – С. 101-108.

Животовский, Л.А. Интеграция полигенных систем в популяциях. Проблемы анализа комплекса признаков / Л.А. Животовский. – М.: Наука, 1984. – 183 с.

Жуйкова, Т.В. Адаптация растительных систем к химическому стрессу: популяционный аспект / Т.В. Жуйкова, В.С. Безель // Вестник Удмуртского университета. – 2009. – Вып. 1. – С. 31-41.

Завьялов, К.Е. Состояние искусственных насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения: автореф. дис. канд. с.х. наук / Завьялов Константин Евгеньевич. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 16 с.

Завьялов, К.Е. Оценка повреждения опытных культур (*Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях загрязнения комбинатом



«Магнезит» 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.

Завьялов, К.Е. Отклик радиального прироста *Pinus sylvestris* L. в опыте рекультивации техногенно-нарушенных земель Саткинского промузла / К.Е. Завьялов // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 60-63.

Завьялова, Н.С. Влияние промышленного загрязнения на пигментную систему и активности пероксидазы ели и лиственницы в лесотундре / Н.С. Завьялова // Анатомия, физиология и экология лесных растений. Материалы XXVI сессии Комиссии им. Л.А. Иванова. – Петрозаводск, 1992. – С. 53-56.

Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.

Зайцев, Г.А. Содержание тяжелых металлов в корневой системе дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях Елецкого промышленного центра / Г.А. Зайцев, О.А. Дубровина, Р.И. Шайнуров, Н.А. Афанасов // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2017. – № 4-1. – С. 30-33.

Залесов, С.В. Формирование растительности на нарушенных землях горных склонов в зоне влияния медеплавильного производства / С.В. Залесов, А.Н. Михеев, Е.С. Залесова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета – 2014. – № 1. – С. 15-18.

Залесов, С.В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления / С.В. Залесов, А.В. Бачурина, С.В. Бачурина // [Электронный ресурс]: учеб. Пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2017. – 278 с.

Залесов, С.В. Оценка стабильности состояния березы на различном удалении от ОАО "УФАЛЕЙНИКЕЛЬ" / С.В. Залесов, А.В. Бачурина, А.О. Шевелина // Леса России и хозяйство в них. – 2018. – №1. – С. 21-27.

Земляной, А.И. Особенности семеношения кедра сибирского на северной границе ареала / А.И. Земляной, В.И. Барановский // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. 24, № 2-3. – С. 183-186.

Зуева, Г.В. Использование цитогенетического анализа в селекции сосны обыкновенной при лесовосстановлении в зоне промышленного загрязнения / Г.В. Зуева, Л.Г. Бабушкина, С.Г. Махнева // Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов: Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции. – М.: МЛТИ, 1991. – Ч. 3. – С. 79-80.

Зуева, Г.В. Состояние репродуктивной системы сосны обыкновенной в условиях фторсодержащих промышленных выбросов / Г.В. Зуева, И.Л. Камешков // Вклад ученых и специалистов в ускорение научно-технического прогресса химико-лесного комплекса / Тез. докл. обл. науч.-тех. конф. – Свердловск: УЛТИ, 1989. – С. 13-14.

Иберла, К. Факторный анализ / К. Иберла. – М.: Статистика, 1980. – 399 с.

Ибрагимова, Э.Э. Влияние техногенного загрязнения на жизнеспособность женских генеративных органов и качество семян *Pinus sylvestris* L. / Э.Э. Ибрагимова // Ученые записки Таврического национального университета им. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2010. – Том 23 (62), №2. – С. 89-95.

Иванов, В.П. Формирование женских шишек и семян *Pinus sylvestris* L. (*Pinaceae*) в зоне воздействия выбросов цементного производства (Брянская обл.) / В.П. Иванов, С.И. Марченко, И.Н. Глазун, Д.М. Паничева, Ю.В. Иванов // Растительные ресурсы. – 2013. – Т. 49, № 4. – С. 547-557.

Илькун, Г.М. Газоустойчивость растений / Г.М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 1971. – 146 с.

Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растения / Г.М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 1978. – 247 с.

Ирошников, А.И. О генотипическом составе насаждений сосны обыкновенной в юго-восточной части ареала / А.И. Ирошников // Селекция хвойных пород Сибири. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1978. – С. 76-95.

Казанцева, М.Н. Особенности репродукции сосны обыкновенной в насаждениях города Тюмени и его зеленой зоне / М.Н. Казанцева // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2005. – № 5. – С. 76-79.

Казнина, Н.М. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense* L. / Н.М. Казнина, А.Ф. Титов, Г.Ф. Лайдинен, Ю.В. Батова // Тр. Карельского научного центра РАН. – 2009. – №3. – С. 50-55.

Кайбияйнен, Л.К. Фотосинтетический сток углерода в сосновых древостоях вблизи крупных источников промышленной эмиссии поллютантов / Л.К. Кайбияйнен, В.К. Болондинский, Г.И. Софронов // Экология. – 1998. – №2. – С. 83-89.

Кайгородова, С.Ю. Трансформация некоторых свойств серых лесных почв под действием выбросов медеплавильного комбината / С.Ю. Кайгородова, Е.Л. Воробейчик // Экология. – 1996. – №3. – С. 187-193.

Калашник, Н.А. Хромосомные нарушения у пихты сибирской в различных природных условиях Южного Урала / Н.А. Калашник // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2017. – № 3-1. – С. 86-89.

Квитко, О.В. Кариологические особенности пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в низкогорье Восточного Саяна / О.В. Квитко, Е.Н. Муратова // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2009. – № 1. – С. 72-80.

Кислотные осадки и лесные почвы // Под ред. В.В. Никонова, Г.Н. Копчик. – Апатиты: Кольский НЦ РАН, 1999. – 320 с.

Кистерный, Г.А. Репродуктивная способность сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях брянского округа зоны широколиственных лесов при радиоактивном загрязнении : автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук : 03.00.16. / Кистерный Григорий Анатольевич. – Брянск, 1995. – 21 с.

Коваленко, Л.А. Биологическая активность лесных почв как показатель уровня адаптации почвенных экосистем к техногенному воздействию / Л.А. Коваленко, Л.Г. Бабушкина. – Екатеринбург: УрГСХА, 2003. – 170 с.

Ковылина, О.П. Изменчивость генеративных органов и посевные качества семян лиственницы сибирской в защитных насаждениях оз. Шира / О.П. Ковылина, Н.В. Ковылин, П.Ш. Познахирко // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. 25, № 3-4. – С. 309-315.

Козубов, Г.М. Биология плодоношения хвойных на Севере / Г.М. Козубов. – Л.: Наука, 1974. – 136 с.

Колесников, Б.П. Леса Челябинской области / Б.П. Колесников // Леса СССР. – М., 1969. – Т. 4. – С. 125-157.

Колесников, Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: практическое руководство / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. – Свердловск: УФ АН СССР, 1973. – 176 с.

Колтунов, Е.В. Основные факторы пораженности сосны корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках / Е.В. Колтунов, С.В. Залесов, Р.Н. Лаишевцев // Защита и карантин растений. – 2008. – № 2. – С. 56-58.

Колтунов, Е.В. Корневые и стволовые гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях антропогенного воздействия / Е.В. Колтунов // Совр. пробл. науки и образования. – 2011. – № 6. – С. 19-28.

Колтунов, Е.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на пораженность городских насаждений стволовыми и корневыми гнилями / Е.В. Колтунов // Экопотенциал. – 2013. – № 1-2. – С. 76-83.

Коновалов, В.Н. Состояние ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях аэрального загрязнения / В.Н. Коновалов, С.Н. Тарханов, Е.Г. Костина // Лесоведение. – 2001. – № 6. – С. 43 - 46.

Копцик, Г.Н. Влияние атмосферного промышленного загрязнения на состав почвенных растворов подзолов / Г.Н. Копцик, Н.В. Лукина, И.Е. Смирнова // Почвоведение. – 2007. – №2. – С. 223-234.

Коростелев, И.Ф. Лесотаксационное районирование Челябинской области / И.Ф. Коростелев // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск: СТИ, 1975. – Вып. 4. – С. 137-144.

Коршиков, И.И. Качество пыльцы сосны обыкновенной и цитогенетические изменения у ее семенного потомства как показатели влияния техногенно загрязненной среды Криворожья / И.И. Коршиков, Е.В. Лаптева, Ю.А. Белоножко // Сибирский экологический журнал. – 2015. – Т. 22, № 2. – С. 310-317.

Кочубей, А.А. Экологические особенности влияния пожаров на возобновление сосны (*Pinus sylvestris* L.) на верховых болотах и суходолах Западной Сибири: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 06.03.02. / Кочубей Алёна Анатольевна. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2017. – 172 с.

Кузнецова, Н.Ф. Развитие мужского гаметофита сосны обыкновенной при самоопылении и свободном опылении / Н.Ф. Кузнецова // Лесоведение. – 1991. – №3. – С. 27-33.

Кузнецова, Н.Ф. Чувствительность генеративной сферы сосны обыкновенной к засухе / Н.Ф. Кузнецова // Лесоведение. – 2010. – № 6. – С. 46–53.

Кузьмина, Н.А. Влияние азротехногенных выбросов магнезитового производства на химический состав снеговой воды и почвы в динамике / Н.А. Кузьмина, С.Л. Менщиков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (56). – С. 192-196.

Кузьмина, Н.А. Уровень загрязнения снега и почвы в зонах поражения лесной растительности под воздействием выбросов магнезитового 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.

Кулагин, Ю.З. О газоустойчивости сосны и березы / Ю.З. Кулагин // Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале. – Свердловск, 1964. – Вып. 4. – С. 115-122.

Кулагин, Ю.З. Влияние магнезитовой пыли на древесные растения / Ю.З. Кулагин // Записки Свердловского отделения Всесоюзного ботанического общества. – Свердловск, 1964а. – Вып. 3. – С. 155-161.

Кулагин, Ю.З. Дымовые отходы завода «Магнезит» и динамика лесов зеленой зоны г. Сатки (Южный Урал) / Ю.З. Кулагин // Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале. – Свердловск, 1964б. – Вып. 4. – С. 175-187.

Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 124 с.

Кулагин, Ю.З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1980. – 116 с.

Кулагин, Ю.З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1985. – 117 с.

Кулагин, А.А. Лиственница Сукачева в экстремальных лесорастительных условиях Южного Урала / А.А. Кулагин, Г.А. Зайцев. – М.: Наука, 2008. – 172 с.

Лайдинен, Г.Ф. Состояние травянистой растительности в условиях промышленного загрязнения (на примере Южной Карелии) / Г.Ф. Лайдинен, Н.М. Казнина, Ю.В. Бажова, А.Ф. Титов // Растительные ресурсы. – 2011. – Т. 47, №4. – С. 50-61.

Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

Лебедев, В.А. Лесоводственная и эколого-генетическая оценка состояния лесных генетических резерватов Свердловской области: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 06.03.02. / Лебедев Владимир Александрович. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2017. – 192 с.

Луганский, Н.А. Влияние атмосферных промышленных загрязнений на семеношение и количество семян сосны / Н.А. Луганский, В.А. Калинин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1990. - № 1. – С. 7 - 10.

Луганский, Н.А. Лесоведение: учебное пособие / Н.А. Луганский, С.В. Залесов, В.А. Щавровский. – Екатеринбург: Урал. Гос. Лесотехн. Академия, 1996. – 373 с.

Львов К.А. Докембрийские и нижнепалеозойские отложения Урала / К.А. Львов // Геологическая карта Урала, объяснительная записка к карте. – М.-Л., 1939. – С. 6-22.

Лянгузова, И.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на прорастание семян и рост проростков дикорастущих растений / И.В. Лянгузова // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 844-852.

Мамаев, С.А. О методе быстрого определения газоустойчивости хвои сосны обыкновенной / С.А. Мамаев, Н.М. Макаров // Лесоведение. – 1976. – №2. – С. 76-85.

Лянгузова, И.В. Толерантность компонентов лесных экосистем Севера России к аэротехногенному загрязнению: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук: 03.02.08 / Лянгузова Ирина Владимировна – СПб: БИН РАН, 2010. – 39 с.

Мальхорта, С.С. Биохимическое и физиологическое действие приоритетных загрязняющих веществ / С.С. Мальхорта, А.А. Хан // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 144-189.

Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений / С.А. Мамаев. – М: Наука, 1973. – 284 с.

Мартынюк, А.А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения / Мартынюк А.А. // Лесоведение. – 2008. – №1. – С. 39-45.

Мартынюк, А.А. Влияние промышленных выбросов на рост и производительность сосновых древостоев / А.А. Мартынюк, Н.И. Данилов // Лесное хозяйство. – 1989. – № 4. – С. 17-19.

Махнев, А.К. О закономерностях динамики лесных биогеоценозов в районах функционирования предприятий цветной металлургии / А.К. Махнев, Н.М. Любашевский // Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991. – С. 5-14.

Махнева, С.Г. Состояние мужской генеративной сферы сосны обыкновенной при техногенном загрязнении среды / С.Г. Махнева, Л.Г. Бабушкина, Г.В. Зуева. – Екатеринбург: УГЛТА, Изда-во Урал. ун-та, 2003. – 154 с.

Махнева, С.Г. Состояние мужской генеративной системы сосны обыкновенной при техногенном загрязнении среды: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Светлана Георгиевна Махнева – Екатеринбург, 2005. – 24 с.

Махнева, С.Г. Качество семян и семенного потомства сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения среды / С.Г. Махнева, С.Л. Менщиков // Извес-

тия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 5. – № 37-1. – С. 236-240.

Махнева, С.Г. Морфометрические показатели побегов и хвои сосны в биоиндикации и мониторинге / С.Г. Махнева, П.Е. Мохначев, В.А. Гусева, К.А. Зеленкова // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы X всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2017. – С. 193-200.

Менщиков, С.Л. Исследование экологических особенностей роста и обоснование агротехники создания культур хвойных пород в условиях магnezитовых запылений: диссертация...канд. с.-х. наук: 06.03.01 / Сергей Леонидович Менщиков. – Свердловск. – 1985. – 210 с.

Менщиков, С.Л. Методические аспекты оценки ущерба лесов, поврежденных промышленными выбросами на Среднем Урале / С.Л. Менщиков // Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. – Вып. 21. – С. 243-251.

Менщиков, С.Л. Динамика состояния лесных насаждений в локальных очагах воздушного загрязнения / С.Л. Менщиков, В.Э. Власенко // Лесная таксация и лесоустройство. – 2004. – № 1. – С. 141-148.

Менщиков, С.Л. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения / С.Л. Менщиков, А.П. Ившин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 295 с.

Менщиков, С.Л. Воздействие атмосферных выбросов магnezитового производства на почвы и снеговой покров / С.Л. Менщиков, Н.А. Кузьмина, П.Е. Мохначев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – №5(37). – 2012. – С.221-223.

Менщиков, С.Л. Распределение деревьев опытных культур *betula pendula* roth. по ступеням толщины и уровень загрязнения почвы в зоне действия выбросов комбината «Магnezит» / С.Л. Менщиков, К.Е. Завьялов, Н.А. Кузьмина, П.Е. Мохначев, И.С. Цепордей // Успехи современного естествознания. – № 10. – 2016. – С. 84-89.



Минина, Е.Г. Пол у сосны обыкновенной / Е.Г. Минина // Вопросы физиологии половой репродукции хвойных. – Красноярск: ИЛИД, 1975. – С. 68-89.

Минина, Е.Г. Морфогенез и проявление пола у хвойных / Е.Г. Минина, Н.А. Ларионова. – М.: Наука, 1979. – 216 с.

Митякова, И.И. Влияние почвенно-экологических условий на рост сеянцев сосны обыкновенной / И.И. Митякова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 81. – С. 210-221.

Михалевская, О.Б. Развитие почек сосны обыкновенной в условиях Московской области / О.Б. Михалевская // Бюл. ГБС АН СССР. – 1963. – Вып. 48. – С. 61-68.

Михеев, А.В. Морфогенез сосны обыкновенной в зоне загрязнения пылью силикатного производства / А.В. Михеев // Тр. Мар. гос. техн. ун-та. – 1996. – N 2, Ч. 2. – С. 138-139.

Моложавский, А.А. Плодоношение хвойных пород в условиях аэротехногенного воздействия / А.А. Моложавский // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. научн. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Гомель, 2001. – № 53. – С. 259-262.

Молчанов, А.А. Лес и окружающая среда / А.А. Молчанов. – М.: Наука, 1968. – 247 с.

Муратова, Е.Н. Геномные и хромосомные мутации у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в экстремальных условиях произрастания / Е.Н. Муратова, Т.С. Седельникова // Хвойные бореальной зоны. – 2004. – Т. 22, № 1-2. – С. 143-148.

Мюльгаузен, Д.С. Возможности и результаты дендрохронологического анализа в условиях аэротехногенного загрязнения на кольском севере (пгт. Никель, Мурманская область) / Д.С. Мюльгаузен, Л.А. Панкратова // Геопоиск-2016: Материалы I Всероссийского конгресса молодых ученых-географов. – Тверь: Тверской государственный университет, 2016. – С. 892-906.

Нахаева, В.И. Генетический полиморфизм в популяциях *Trifolium repens*, произрастающих в различных условиях окружающей среды г. Омска / В.И. На-

хаева, Т.В. Александрова, А.В. Рубцова // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1-1. – С. 49-53.

Национальный атлас почв Российской Федерации. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.

Неверова, О.А. Эколого-физиологическая оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях антропогенного загрязнения г. Кемерово / О.А. Неверова // Сибирский экологический журнал. – 2003. – Т. 10, № 6. – С. 773-779.

Некрасова Т.П. Плодоношение сосны в Западной Сибири / Т.П. Некрасова – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1960. – 131 с.

Некрасова Т.П. Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири / Т.П. Некрасова. – Новосибирск: Наука, 1983. 169 с.

Николаевский, В.С. Влияние сернистого ангидрида на древесные растения в условиях Свердловской обл. / В.С. Николаевский // Охрана природы на Урале. Свердловск, 1964. – Вып. 4. – С. 123-132.

Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.

Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В.С. Николаевский. – М.: МГУЛ, 1999. – 193 с.

Новаковская, И.В. Изменение сообществ почвенных водорослей еловых фитоценозов под влиянием аэротехногенного загрязнения / И.В. Новаковская, Е.Н. Патова // Почвоведение. – 2007. – №5. – С. 635-642.

Носкова, Н.Е. Половая репродукция сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях экологического стресса: автореферат дис. канд. биол. наук: 03.00.05 / Носкова Наталья Евгеньевна. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского Отделения Российской Академии Наук, 2005. – 20 с.

Носкова, Н.Е. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной / Н.Е. Носкова, И.Н. Третьякова // Хвойные бореальной зоны. – 2006. – №3. – С. 54-63.

Носкова, Н.Е. Репродукция сосны обыкновенной в условиях глобального изменения климата и стратегические пути сохранения вида / Н.Е. Носкова, И.Н. Третьякова // Хвойные бореальной зоны. – 2011. – Т. 28. – № 1-2. – С. 41-46.

Осколков, В.А. Качество пыльцы сосны обыкновенной в древостоях Приангарья при разном уровне загрязнения / В.А. Осколков // Лесоведение. – 1999. – №2. – С. 16-21.

Осколков, В.А. Репродуктивный процесс сосны обыкновенной в Верхнем Приангарье при техногенном загрязнении / В.А. Осколков, В.И. Воронин. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2003. – 140 с.

Паничева, Д. М. Состояние хвойных насаждений зоны широколиственных лесов и репродукция сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения: автореф. дис. канд. с.х. наук: 06.03.03 / Паничева Дарья Михайловна. – Брянск: Брянская Государственная инженерно-технологическая академия, 2009. – 21 с.

Паничева, Д. М. Обоснование индикаторов зонирования территории по степени негативного воздействия фтористых выбросов на хвойные леса на примере зеленой зоны г. Дятьково / Д. М. Паничева, А.М. Бердов, В.П. Шелуха // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – №4 (54). – С. 45-49.

Петров, С.А. Генетические основы селекции и семеноводства сосны обыкновенной / С.А. Петров // Тр. КазНИИЛХА. – 1963. – Т. 4. – С. 233-246.

Петрова, И.В. Изоляция и дифференциация популяций сосны обыкновенной / И.В. Петрова, С.Н. Санников. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 160 с.

Пименов, А. В. Морфология и качество пыльцы желто- и краснопыльниковой форм *Pinus sylvestris* в болотных и суходольных условиях произрастания (Томская область) / А.В. Пименов, Т.С. Седельникова, С.П. Ефремов // Ботан. журн. – 2011. – Т. 96, №3. – С. 367–376.

Погодина, Г.С. Почвы / Г.С. Погодина, Н.Н. Розов // Урал и Приуралье. – М.: Наука, 1968. – С. 167-210.

Подзоров, Н.В. Влияние задымления воздуха на качество семян сосны обыкновенной / Н.В. Подзоров // Лесное хоз-во. – 1965. – №7. – С. 47-49.

Полонский, В.И. Использование флуктуирующей асимметрии супротивных листьев *Syringa Josikaea* Jacq. в биоиндикации загрязнения г. Красноярска / В.И. Полонский // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1(21). – С. 77-82.

Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 192 с.

Проблемы экологии растительных сообществ / Отв. ред. В.Т. Ярмишко. – СПб.: ООО «ВВМ», 2005. – 450 с.

Прокопьев, И.А. Влияние городского техногенного загрязнения на морфологические, биохимические характеристики и семенную продуктивность ромашки аптечной / И.А. Прокопьев, Г.В. Филиппова, А.А. Шеин, Д.В. Габышев // Экология. – 2014. – №1. – С. 22-29.

Рассеянные элементы в бореальных лесах / Под ред. А.С. Исаева. – М.: Наука, 2004. – 616 с.

Редько, Г.И. Лесные культуры / Г.И. Редько, А.Р. Родин, И.В. Трещевский. – М.: Агропромиздат, 1985. – 400 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Средний Урал и Приуралье. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – Т. 11. – 390 с.

Рожков, А.А. Устойчивость лесов / А.А. Рожков, В.Т. Козак. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.

Рожков, А.С. Действие фторсодержащих эмиссий на хвойные деревья / А.С. Рожков, Т.А. Михайлова. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1989. – 159 с.

Романовский, М.Г. Гаметофитная сохранность семян сосны обыкновенной / М.Г. Романовский // Генетика. – 1989. – Т. 25, № 1. – С. 99 - 107.

Романовский, М.Г. Череззерница шишек сосны обыкновенной вблизи автодорог / М.Г. Романовский // Лесоведение. – 1992. – № 2. – С. 71-74.

Романовский, М.Г. Образование семян при самоопылении сосны обыкновенной / М.Г. Романовский, Л.В. Хромова // Лесоведение. – 1992. – № 5. – С 3-9.

Романовский, М.Г. Сохранность семян сосны обыкновенной в условиях интенсивного загрязнения автотранспортом / М.Г. Романовский // Лесоведение. – 1993. – №1. – С. 86-88.

Романовский, М.Г. Формирование урожая семян сосны в норме и при мутагенном загрязнении / М.Г. Романовский. – М: Наука, 1997. – 112 с.

Романовский, М.Г. Совместимость тканей в эмбриогенезе сосны / М.Г. Романовский, Л.В. Хромова // Лесоведение. – 2013. – № 2. – С. 53-63.

Рунова, Е.М. Влияние техногенного загрязнения на состояние хвойных древостоев / Рунова Е.М. // Труды Братского государственного индустриального института: Матер. научн-технич. конф. – Братск, 1999. – Т. 2.– С. 3-7.

Русак, С.Н. Фотосинтетические пигменты сосны сибирской (*Pinus Sibirica Du Tour*) в биоиндикации условий окружающей среды / С.Н. Русак, И.И. Варлам, И.В. Кравченко, К.В. Казарцева // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 3. – С. 6-11.

Рябинин, В.М. Лес и промышленные газы / В.М. Рябинин. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 94 с.

Рязанцева, Л.А. Функциональные нарушения насаждений сосны обыкновенной под воздействием техногенных выбросов предприятий Воронежа / Л.А. Рязанцева, С.В. Басова, В.И. Спесивцева, А.И. Федченко // Лесоведение. – 1999. – № 2. – С. 22 - 27.

Садакова, К.А. Фертильность пыльцевых зерен и содержание тяжелых металлов в пыльце сосны обыкновенной, произрастающей в местах с разной антропогенной нагрузкой / К.А. Садакова, Н.Л. Колясникова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1444.

Санитарные правила в лесах Российской Федерации. – М., 2006. – 16 с.

Сарбаева, Е.В. Оценка устойчивости древесно-кустарниковых растений в урбанизированной среде / Е.В. Сарбаева, О.Л. Воскресенская, В.С. Воскресенский // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 421.

Седельникова, Т.С. Генеративные органы и кариотип сосны обыкновенной на олиготрофных болотах Западной Сибири / Т.С. Седельникова, Е.Н. Муратова // Лесоведение. – 1991. – № 3. – С. 34-44.

Сенькина, С.Н. Показатели водообмена хвои *Picea Obovata* (Pinaceae) в условиях аэротехногенного загрязнения (Республика Коми) / С.Н. Сенькина // Растительные ресурсы. – 2017. – Т. 53, № 2. – С. 255-264.

Ситников, И.А. Влияние аэротехногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат растений *Scorzonera glabra* Rupr. / И.А. Ситников, Д.Р. Шаихова, Н.В. Чукина, И.С. Киселева // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2016. – № 8(161). – С. 84–90.

Ситникова, А.С. Влияние промышленных загрязнений на устойчивость растений / А.С. Ситникова. - Алма-Ата: Наука, 1990. – 88 с.

Скок, А.В. Цитогенетические показатели у сосны обыкновенной в условиях хронического ионизирующего излучения / А.В. Скок // Вопросы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. – Брянск, 2002. – Вып. 12. – С. 68-71.

Скок, А.В. Изменчивость шишек, семян и сеянцев сосны обыкновенной из насаждений зоны отчуждения Брянской области / А.В. Скок // Вопросы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. – Брянск: БГИТА, 2005а. – Вып. 13.– С. 60-61.

Скок, А.В. Хромосомные нарушения у сосны обыкновенной, вызванные хроническим ионизирующим излучением / А.В. Скок // Лесоведение, экология, биоресурсы: материалы междунар. науч.-производст. конф. – Брянск, 2005б. – С. – 35-38.

Смит, У.Х. Лес и атмосфера / У.Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985. – 429 с.

Справочник лесничего. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 672 с.

Справочник по климату СССР: Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Вып. 9. – Ч. III. – 196 с.

Сродных, Т.Б. Обоснование агротехники создания культур березы бородавчатой в условиях магнетитовых запылений на Южном Урале: автореф. дис. канд. биол. наук: 06.03.02 / Сродных Татьяна Борисовна. – Свердловск, 1986. – 20 с.

Ставищенко, И.В. Состояние лесных сообществ ксилотрофных грибов под воздействием промышленных аэрополлютантов / И.В. Ставищенко // Экология. – 2010. – № 5. – С. 397–400.

Ставрова, Н.И. Влияние атмосферного загрязнения на семеношение хвойных пород / Н.И. Ставрова // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – 1990. – С. 115-121.

Ставрова, Н.И. Репродуктивная деятельность сосны обыкновенной при промышленном загрязнении в условиях Северной тайги / Н.И. Ставрова // Лесное хозяйство. – 1992. – №10. – С. 34-35.

Степанчик, В.В. Санитарное состояние культур сосны в условиях атмосферного загрязнения / Степанчик В.В. // Лесное хозяйство. – 1998. – №1. – С. 28-29.

Стуканов, В. А. Влияние автотранспорта на состояние окружающей среды крупного промышленного города / В.А. Стуканов, А.Т. Козлов, А.А. Томилов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2012. – № 1. – С. 168-175.

Танасевич, А.В. Динамика почвенной мезофауны в зоне техногенного воздействия / А.В. Танасевич, Л.Б. Рыбалов, И.О. Камаев // Лесоведение. – 2009. – № 6. – С. 63–76

Тарханов, С.Н. Хвойные насаждения в условиях атмосферного загрязнения / С.Н. Тарханов // Лесное хозяйство. – 2004. – № 3. – С. 18-20.

Тарханов, С.Н. Формы внутривидовой изменчивости хвойных в условиях атмосферного загрязнения (на примере Северо-Двинского бассейна) / С.Н. Тарханов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 230 с.

Тихомиров, Ф.А. Радиочувствительность генеративных и вегетативных органов сосны обыкновенной в условиях осеннего и весеннего облучения / Ф.А. Тихомиров, Н.С. Федотов // Радиобиология. – 1982. – Т. 22. – № 4. – С. 502.

Тихонова, И.В. Морфологические признаки пыльцы в связи с состоянием деревьев сосны в сухой степи / И.В. Тихонова // Лесоведение. – 2005. – №1. – С. 63-69.

Тихонова, И.В. Изменение половой структуры популяций сосны в связи с аномалиями температуры / И.В. Тихонова // Экология. – 2007. – №5. – С. 331-336.

Третьякова, И.Н. Особенности семенной продуктивности макростробила у видов семейства сосновых (Pinaceae) в Сибири / И.Н. Третьякова // Ботанический журнал. – 1996. – Т. 81, № 9. – С. 10-17.

Третьякова, И. Н. Репродуктивные процессы у пихты сибирской (*Abies Sibirica* Ledeb.) в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири / И.Н. Третьякова // Успехи совр. биол. – 1997. – Т. 117, Вып. 4. – С. 480–495.

Третьякова, И.Н. Форма кроны и генеративные органы хвойных как биоиндикаторы экологического стресса / И.Н. Третьякова, Е.В. Бажина, Н.Е. Носкова // Матер. междун. научн. конф. «Биологические ресурсы и устойчивое развитие». – М. – 2001. – С. 223-224.

Третьякова, И.Н. Жизнеспособность и содержание фитогормонов в пыльце пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири / И.Н. Третьякова, Н.А. Ларионова, Е.В. Бажина // Лесоведение. – 2003. – № 4. – С. 36-41.

Третьякова, И.Н. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса / И.Н. Третьякова, Н.Е. Носкова // Экология. – 2004. – № 1. – С. 26-33.

Трубина, М.Р. Динамика напочвенного покрова лесных фитоценозов в условиях хронического загрязнения фтором / М.Р. Трубина, А.К. Махнев // Экология. – 1997. – № 2. – С. 90- 95.

Тужилкина, В.В. Влияние техногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат сосны / В.В. Тужилкина, Н.В. Ладонова, С.Н. Плюснина // Экология. – 1998. – № 2. – С. 89-93.

Усольцев, В.А. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. / В.А. Усольцев, Е.Л. Воробейчик, И.Е. Бергман. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 365 с.

Усольцев, В.А. Биологическая продуктивность лесных земель Урала, нарушенных промышленными загрязнениями / В.А. Усольцев, И.Е. Бергман, Е.Л. Воробейчик, В.А. Азаренок, В.И. Крюк, Н.А. Луганский. // Биологическая рекульти-



вация нарушенных земель: материалы X всероссийской научной конференции с международным участием. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – С. 313–319.

Федорков, А.Л. Половая репродукция сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении в условиях Субарктики / А.Л. Федорков // Лесной журнал. – 1992. – №4. – С. 60-64.

Федорков, А.Л. Влияние аэротехногенных загрязнений на сохранность семян и развитие зародыша сосны обыкновенной / А.Л. Федорков // Лесоведение. – 1994. – № 5. – С. 36-40.

Федорков, А.Л. Адаптация хвойных к стрессовым, условиям Крайнего Севера / А.Л. Федорков. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 97 с.

Федорков, А.Л. Изменчивость признаков анатомического строения хвои сосны и ее устойчивость к техногенному и климатическому стрессу / А.Л. Федорков // Экология. – 2002. – № 1. – С. 70-72.

Федотов, И.С. Оценка действия дву-окиси серы на сосновые насаждения / И.С. Федотов, Р.Т. Карабань, Ф.А. Тихомиров, Т.Н. Сисигина // Лесоведение. – 1983. – № 6. – С. 23 – 27.

Федотов, И.С. Радиационные и генетические последствия ионизирующей радиации на популяции *Pinus sylvestris* L. из зоны аварии на Чернобыльской АЭС / И.С. Федотов, В.А. Кальченко, Е.В. Игонина, А.В. Рубанович // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2006. – Т. 46, №3. – С. 268-278.

Филипчук, А.Н. Динамика усыхания притундровых лесов в Норильском промышленном районе / А.Н. Филипчук, Ковалев Б.И. // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие. – М., 1990. – Ч. IV. – С. 29-37.

Фильрозе, Е.М. Типология в лесном хозяйстве Челябинской области / Е.М. Фильрозе, В.Ф. Прокопов // Лесное хозяйство. – 1974. – № 8. – С. 46-49.

Фоменко, В.Н. Мутагенное действие некоторых промышленных ядов в зависимости от концентрации и времени экспозиции / В.Н. Фоменко, Э.Е. Стрекалова // Токсикология новых промышленных химических веществ. – М., 1973. – Вып. 13. – С. 51-57.

Фомин, В. Рост сосновых древостоев в горной местности с высоким уровнем загрязнения атмосферы промышленными выбросами / В. Фомин, С. Шавнин // ArcReview. – 2004. – № 4. – С. 7-8.

Хазиев, Ф.Х. Экоотоксиканты в почвах Башкортостана / Ф.Х. Хазиев, Ф.Я. Багаутдинов, А.З. Сахабутдинова. - Уфа: Гилем, 2000. – 62 с.

Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – Москва, 2007. – 512 с.

Хромова, Л.В. Частичная стерильность семян сосны обыкновенной в 1986 и 1987 гг. в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / Л.В. Хромова, М.Г. Романовский, В.А. Духарев // Радиобиология. – 1990. – Т. 30. – Вып. 4. – С. 450-457.

Хромова, Л.В. Режим опыления и выживаемость семян сосны в условиях промышленного загрязнения воздуха цементной пылью / Л.В. Хромова, М.Г. Романовский // Лесоведение. – 2002. – № 3. – С. 3-11.

Цветков, В.Ф. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск: ОГУП «Соломбальская типография», 2003. – 354 с.

Чернодубов, А.И. Изменчивость морфолого-анатомических признаков сосны обыкновенной в островных борах юга Русской равнины / Чернодубов А.И. // Лесоведение. – 1994. – № 2. – С. 28-35.

Четвериков, С.С. О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики / Четвериков С.С. // Журн. эксперим. биол. – 1926. – Сер. А, Т. 2, №4. С. 3-54.

Чжан, С.А. Лесоводственно-экологическая оценка состояния сосняков в зоне влияния промышленных эмиссий г. Братска: автореф. дисс. канд. с.х наук: 06.03.03 / Чжан Светлана Анатольевна. – Красноярск: СГТУ, 1999. – 20 с.

Шавнин, С.А. Влияние техногенного загрязнения на содержание фенольных соединений в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях урбанизации / С.А. Шавнин, Е.В. Колтунов, М.И. Яковлева // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 520.

Шебалова, Н.М. Взаимосвязь накопления фторосодержащих соединений в лесной подстилке с видовым составом микроскопических грибов / Н.М. Шебало-

ва, Л.Г. Бабушкина, Т.Г. Коковкина //Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург, 1990. – Вып. 15. – С. 163-172.

Шишкин, А.С. Классификация техногенных территорий / А.С. Шишкин // Лесная таксация и лесоустройство. – 2012а. – № 1 (47). – С. 142-148.

Шишкин, А.С. Опыт организации и ведения биологического мониторинга в зонах промышленного освоения Арктики / А.С. Шишкин // Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и создание комплексных аварийно-спасательных центров в Арктике: Сб. материалов Международной научно-практической конференции. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2012б. – С. 188-191.

Шишкин, А.С. Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальным техногенным воздействием / А.С. Шишкин, А.П. Абаймов, А.А. Онучин // Сибирский экологический журнал. – 2014. – Т. 21, № 6. – С. 863-871.

Шишкин, А.С. Организация исследований техногенных территорий / А.С. Шишкин // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 2. – С. 102-119.

Шкарлет, О.Д. Влияние дымовых газов на формирование репродуктивных органов сосны обыкновенной (на примере одного из медеплавильных предприятий на Урале): автореф. дис. канд. биол. наук: 03. 00. 05 / Шкарлет Ольга Дмитриевна. – Свердловск, 1974. – 27 с

Шяпетене, Я.А. Закономерности усыхания сосняков в зоне интенсивных промышленных выбросов / Я.А. Шяпетене // Лесное хозяйство. – 1988. – №2. – С. 43-46.

Щекалев, Р.В. Радиальный прирост сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении в бассейне Северной Двины / Р.В. Щекалев, С.Н. Тарханов // Лесоведение. – 2007. – №2. – С. 45-50.

Юсупов, И.А. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов / И.А. Юсупов, Н.А. Луганский, С.В. Залесов. – Екатеринбург: УГЛТА, 1999. – 185 с.

Яблоков, А.В. Популяционная биология: учебн. пособие для биол. спец. вузов. / А.В. Яблоков. – М.: Высш. шк., 1978. – 303 с.

Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1997. – 210 с.

Ярмишко, В.Т. Некоторые подходы к оценке состояния лесных фитоценозов, подверженных воздействию аэротехногенного загрязнения / В.Т. Ярмишко // Актуальные проблемы геоботаники: III Всероссийская школа-конференция. Лекции. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – С. 377-382.

Ярмишко, В.Т. Состояние и продуктивность растений напочвенного покрова сосновых лесов в условиях аэротехногенного загрязнения на Европейском Севере // Успехи современного естествознания. – 2012. – №11. – С. 18-21.

Bortitz, S. Physiologische und biochemische beitrage zur rauchschaden for schung / S. Bortitz // Biol. zentralblatt, 1968. – Bd. 87. – P. 63-70.

Bortitz, S. Bedeutung “unsichtbarer”, binflusse industrieller immissionen auf die vegetation / S. Bortitz // Biol. 93. – 1974. – P. 341-349.

Brennan, E. The response of plants to sulfur dioxide or ozone-polluted air supplied at varying flow rates / E. Brennan, I.A. Leone // Phytopathology, 58 – 1968. – P. 1661-1664.

Bublinec, E. Vplyv priemyselnych imisii na produkne a geneticke vlastnosti pod / E. Bublinec // Les ako sucast zivotneho prostredia. – Bratislava: Veda Slovenskej akad, 1977. – S. 115-124.

Cela Renzoni, G. Different in vitro germination responses in Pinus pinea pollen from two localities with different levels of pollution / G. Cela Renzoni, L. Viegi, A. Stefani, A. Onnis // Ann. Bot. Fenn. – 1990. – V. 27. – P. 85–90.

Davis, D.D. Variable tree response due to environmental factors-climate / D.D. Davis // In: W.H. Smith, L.S. Dochinger (Eds.). Air Pollution and Metropolitan Woody Vegetation. U.S.D.A. Forest Service. – Pennsylvania, 1975. – P. 14-16.

Fazekas, J. Relationship between vegetation biodiversity and soil functional diversity of alkalized soil in the emission area of magnesium factory Jelšava – Lubeník (Slovakia) / J. Fazekas, D. Fazekasova, Z. Boguska, P. Hulicova, P. Adamisin // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. – 2017. – Volume 17. – Issue 51. – P. 789-796.

Fazekaš, J. Contamination of soil and vegetation at a magnesite mining area in Jelšava-Lubeník (Slovakia) / J. Fazekas, D. Fazekasova, O. Hronec, E. Benková, M. Boltížiar // Ekologia Bratislava. – 2018. – 37(2). – P. 101-111.

Fazekašová, D. Magnesium Contamination in Soil at a Magnesite Mining Area of Jelšava-Lubeník (Slovakia) / D. Fazekašová, J. Fazekaš, O. Hronec, M. Horňák // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Volume 92. – Issue 1.

Fink, S. Histologische und histochemische Untersuchungen an Nadeln erkrankter Tannen und Fichten im Südschwarzwald / S. Fink // Allgem. Forstz. – 1983. – № 26/27. – S. 660-663.

Frankel, R. Pollination mechanisms, reproduction and plant breeding / R. Frankel, R. Galun // Forest sci. – 1966. – №4 – P. 429-431.

Godzik S., Sassen M.M. Einwirkung von SO auf Flinsruktor von Chloroplasten von Bphenblättern / S. Godzik, M. Sassen // Phytopathol. Ztschr. – 1974. – Bd. 79. – S. 155-159.

Grill, D. Notes of the chlorophyll-content in fumigated spruce needles / D. Grill, J. Polz, H. Esterbauer // Arch. Occh. Srodow. – 1981 – № 2-4. – P. 59-62.

Harle, E. Schadensenentwicklung und folgen am beispiel des stadtforstamtes Villingen-Schwenningen / E. Harle // Allg. Forstz. – 1984. – Bd 39. – № 43/44. – S. 1076-1078.

Heath, R.L. Initial events in injury to plants by air pollutants / R.L. Heath // Ann. Rev. Plant Physiol. – 1980. – V. 31 – P. 395-431.

Houston, D.B. Effect of ambient air pollution on cone seed pollen characteristics in eastern white and red pines / D.B. Houston, L.S. Dochinger // Environment Pollution. – 1977. – V. 12. – P. 1-5.

Hulicova, P. The activity of soil phosphatase on the metallic and alkaline contaminated soils(Conference Paper) / P. Hulicova, D. Fazekasova, J. Fazekas // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. – 2017. – Volume 17. – Issue 51. – P. 947-954.

Jones, T. Studies on dry matter partitioning and distribution of  $^{14}\text{C}$ -labelled assimilates in plants of *Phleum pratense* exposed to  $\text{SO}_2$  pollution / T. Jones, T. Mansfield // Environment Pollution. – 1982. – V. 28. – №3. – P. 199-207.

Joshi, A. Impact of magnesite industry on some environmental factors of Chandak area of Pithoragarh District in central Himalaya / A. Joshi // Journal of Environmental Biology Volume 18. – Issue 3. – 1997. – P. 213-218.

Kaleta, M. Vplyv magnzitovych imisii na niekore Lesne spolocenstva M. Kaleta // Les ako sucast zivotneho prostredia. – Bratislava: Veda Slovenskej akad, 1977. – S. 96-104.

Karhu, M. Erosion effects of air pollution on needle surfaces/ M. Karhu, S. Huttunen // Water, air and soil pollution. – 1986. Vol. 31. – P. 417-423.

Keller, Th. Zur phytotoxizitat von fluorimissionen fur holzarten / Th. Keller // Mitt. Eidgenoss. Anst. Forstl. Versuchsw. – 1975. – Bd 51. – №2.– S. 303-331.

Kisser, J. Forstliche Rauchschaaden aus der Sicht des Biologen / J. Kisser // Mitt. forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn. – 1965. – S. 7-48.

Korshikov, I.I. Quality of pollen and cytogenetic changes of scotch pine as indicators of the impact of the technogenically polluted environment of Krivoy Rog / I.I. Korshikov, H.V. Lapteva, Y.A. Belonozhko // Contemporary Problems of Ecology. – 2015. – № 8 (2). – P. 250-255.

Malhotra, S. Biochemical and cytological effects of sulphur dioxide on plant metabolism / S. Malhotra, D. Hocking // New Phytol. – 1976. – V. 76. – №2. – P.227-237.

Marcshall, P.E. Growth responses of *Ailanthus altissima* seedlings to  $\text{SO}_2$  / P.E. Marcshall, G.R. Furnier // Environment Pollution. – 1981. V. 25. – №2. – P. 149-153.

Micieta, K. The use of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arnold as bioindicator species for environmental pollution / K. Micieta, G. Murin // Cytogenetic studies of forest trees and shrub species. – 1997. – P. 253-264.

Ostrolucka, M.G. Akumulacia siry a fluoru vegetativnych a generativnych organoch duba letnegho (*Quercus robur* L.) / M.G. Ostrolucka, B. Mankovska // *Biologia* (Bratislava). – 1986. – V. 41. – № 5. – P. 487-494.

Ostrolucká, M.G. Vitality of pine pollen (*Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arnold) on sites with different ecological conditions / M.G. Ostrolucká, M. Bolvanský, F. Tokár // *Biologia* (Bratislava). – 1995. – V. 50. – P. 47–51.

Palowski, B. Seed yield from polluted stands of *Pinus sylvestris* L. / B. Palowski // *New Forests*. – 2000. – 20. – №1. – P. 15 -22.

Roy, B.A. Asymmetry of wild mustard, *Sinapis arvensis* (Brassicaceae), in response to severe physiological stresses /B.A. Roy, M.L. Stanton // *Journal of Evolutionary Biology*. –1999. –V. 12.–P. 440–449.

Sarvas, R. The annual period of development of forest trees / R. Sarvas. – *Sitzungsber. Finn. Akad. Wissensch. Helsinki*, 1967. – P. 5-12.

Schulz, H. Biochemische und faktoranalytische Untersuchungen zur Interpretation von SO<sub>2</sub>- Indikationen in Nadeln von *Pinus sylvestris* // *Biochem. Und Physiol. Pflanzen*, 1986. Bd. 181, №4. S. 241-256.

Sidhu, S.S., Staniforth R.J. Effects of atmospheric fluorides on foliage and cone and seeds production in balsam fir, black spruce, and larch / S.S. Sidhu, R.J. Staniforth // *Canadian Journal of Botany*. – 1986. – Vol. 64 (5). – P. 923-931.

Supuka, J. Multifactorial effects of the urban environment on the flow and cumulation of some allochthonous substances on the example of *Betula pendula* Roth / J. Supuka // *Ekologia* (Bratislava). – 1993.– V. 12. – № 2. – P. 199-213.

Ulrich, B. Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluss des "sauren Regens" / B. Ulrich // *Allgem. Forstz.* – 1983. – №26/27. – S. 670-677.

Vacek, S. Sensitivity of unmanaged relict pine forest in the Czech Republic to climate change and air pollution / S. Vacek, Z. Vacek, J. Remes, L. Bilek, I. Hunova, D. Bulusek, T. Putalova, J. Simon // *Trees - Structure and Function*. – 2017. – 31 (5). – P. 1599-1617.

Vodka, M.V. Chloroplast structural and functional changes as biomarkers of heavy metal contamination / M.V. Vodka, N.O. Bilyavs'ka // *Biotechnologia Acta*. – 2016. – T. 9. – № 1. – С. 103-107.

Werner, A. Histological changes induced in weigela, Japanese larch and scots pine leaves by SO<sub>2</sub>/ A. Werner // *Arbor. Kor.* – 1981. – V. 26. – P. 189-201.

Wolters, J.H. Effect of air pollutants on Pollen / J.H. Wolters, M.J. Martens // *The Botanical Review*. – 1987. – V.53. – P. 372-414.

Zavyalov Konstantin. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Sukachyov's larch (*Larix sukaczewii* Dylis) and Silver birch (*Betula pendularoth*) to magnesite dust in satkinsky industrial hub/ Konstantin Zavyalov, Sergey Menshikov, Pavel Mohnachev, Nadezda Kuzmina, Anton Potapenko and Sezgin Ayan // *Forestry Ideas*. – 2018. – Vol. 24. – №1 (55).

Zhang, Z.J. Experimental study on soil pollution and restoration in magnesite area / Z.J. Zhang, C.Y. Jia, S.J. Dai, Y.M. Fang, P.D. Tai // *Chinese Journal of Ecology*. – 2018. – Vol. 37. – Issue 6. –P. 1669-1675.











**Приложение 5. – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в фоновых условиях (ОУ-К)**

Признак	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
1	-0,83	-0,42	0,03	-0,08	-0,17	-0,02
2	-0,90	-0,14	0,17	-0,05	-0,02	-0,01
3	-0,14	<b>0,57</b>	0,22	0,02	0,30	-0,02
4	<b>-0,91</b>	-0,20	0,18	-0,02	-0,11	0,03
5	-0,23	0,15	-0,22	-0,41	0,35	0,42
6	<b>-0,77</b>	-0,39	0,11	-0,28	-0,36	-0,09
7	<b>-0,73</b>	0,19	0,50	0,02	-0,18	-0,23
8	-0,37	<b>0,56</b>	<b>0,52</b>	0,22	0,06	-0,23
9	-0,35	-0,26	0,12	<b>-0,62</b>	-0,24	-0,18
10	<b>-0,72</b>	0,25	<b>0,53</b>	0,06	-0,13	-0,19
11	-0,47	0,43	0,43	<b>0,53</b>	0,09	-0,07
12	<b>-0,62</b>	<b>-0,65</b>	0,08	-0,13	-0,26	-0,07
13	<b>-0,76</b>	0,15	0,45	0,01	-0,05	-0,20
14	-0,30	<b>0,68</b>	0,43	0,18	0,21	-0,17
15	<b>-0,74</b>	-0,29	-0,38	0,28	-0,20	0,22
16	<b>-0,62</b>	-0,30	-0,39	0,28	-0,29	0,21
17	<b>-0,84</b>	-0,23	-0,30	0,22	0,00	0,21
18	<b>-0,78</b>	0,01	<b>-0,55</b>	0,18	0,18	0,02
19	0,18	-0,41	<b>0,62</b>	0,00	-0,37	0,32
20	0,11	<b>-0,56</b>	-0,45	0,40	0,32	-0,27
21	<b>-0,85</b>	0,33	-0,30	-0,05	0,00	0,18
22	<b>-0,80</b>	0,35	-0,41	0,01	-0,12	0,04
23	<b>-0,58</b>	0,11	0,23	-0,22	0,38	<b>0,54</b>
24	<b>-0,52</b>	0,28	<b>-0,61</b>	0,06	0,36	-0,26
25	<b>-0,51</b>	<b>0,69</b>	0,23	-0,29	-0,11	0,20
26	<b>-0,67</b>	<b>0,66</b>	-0,19	-0,18	0,05	0,07
27	-0,09	0,16	<b>-0,53</b>	0,24	-0,26	<b>-0,64</b>
28	<b>-0,60</b>	<b>0,65</b>	-0,35	-0,11	-0,09	-0,13
29	-0,39	<b>-0,72</b>	0,17	-0,31	0,14	-0,25
30	-0,21	<b>-0,55</b>	0,34	<b>0,51</b>	0,24	0,09
31	-0,10	-0,38	0,37	<b>0,54</b>	0,11	0,14
32	-0,37	-0,30	0,41	0,27	0,37	-0,02
33	<b>-0,65</b>	-0,39	0,15	-0,09	0,46	-0,03
34	-0,37	-0,46	0,03	-0,32	0,26	<b>-0,51</b>
35	-0,18	-0,36	0,03	-0,47	<b>0,60</b>	-0,11
Собственное значение фактора	12,56	6,31	4,59	2,75	2,26	2,01
Доля объясняемой дисперсии	34,89	17,53	12,75	7,63	6,27	5,60
Накопленная дисперсия	34,89	52,42	65,18	72,80	79,08	84,67

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

**Приложение 6. – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях слабого магнетитового загрязнения (ОУ-4)**

Признак	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
1	<b>-0,82</b>	-0,10	0,01	0,03	-0,29	0,41
2	<b>-0,70</b>	-0,18	-0,29	0,45	0,26	0,03
3	0,16	-0,07	-0,32	0,43	<b>0,63</b>	-0,42
4	<b>-0,86</b>	-0,33	-0,07	0,12	0,20	0,16
5	-0,09	-0,10	-0,02	-0,19	0,44	<b>0,64</b>
6	<b>-0,81</b>	-0,42	0,28	0,00	-0,23	0,01
7	<b>-0,60</b>	<b>-0,51</b>	-0,26	-0,30	0,17	-0,02
8	0,19	-0,18	<b>-0,66</b>	-0,34	0,48	-0,03
9	-0,44	-0,47	<b>0,63</b>	-0,20	-0,03	0,04
10	<b>-0,76</b>	-0,47	-0,32	-0,05	0,01	0,13
11	-0,13	0,12	<b>-0,92</b>	0,13	0,09	0,07
12	<b>-0,83</b>	-0,30	0,19	0,08	-0,10	0,02
13	-0,32	<b>-0,58</b>	-0,30	-0,36	-0,33	-0,11
14	<b>0,54</b>	-0,27	-0,49	-0,41	-0,24	-0,08
15	-0,11	<b>0,66</b>	-0,36	0,37	-0,35	0,14
16	-0,03	<b>0,69</b>	0,16	0,35	-0,33	0,18
17	-0,16	0,17	<b>-0,94</b>	0,15	-0,14	-0,01
18	0,10	-0,41	<b>-0,79</b>	-0,17	-0,14	0,19
19	-0,32	<b>0,69</b>	-0,26	0,39	-0,02	-0,24
20	-0,37	0,49	-0,44	<b>-0,51</b>	-0,11	0,11
21	0,41	<b>-0,78</b>	-0,30	0,30	-0,02	0,06
22	0,41	<b>-0,75</b>	-0,28	0,40	0,00	0,11
23	0,13	-0,39	-0,18	<b>-0,52</b>	-0,16	-0,25
24	0,29	<b>-0,70</b>	-0,16	-0,37	-0,11	0,20
25	<b>0,57</b>	<b>-0,55</b>	0,22	0,46	0,02	-0,06
26	<b>0,56</b>	<b>-0,76</b>	0,12	0,24	-0,08	0,02
27	0,11	0,03	-0,01	<b>0,69</b>	0,23	0,38
28	0,49	<b>-0,76</b>	0,10	0,37	0,06	0,08
29	<b>-0,61</b>	0,05	0,03	0,41	<b>0,50</b>	0,14
30	0,22	<b>0,51</b>	-0,04	<b>-0,58</b>	<b>0,51</b>	0,14
31	0,28	<b>0,51</b>	0,06	<b>-0,51</b>	<b>0,52</b>	0,10
32	0,08	-0,22	0,23	-0,26	<b>0,52</b>	0,21
33	<b>-0,58</b>	-0,06	0,47	-0,03	0,04	-0,35
34	<b>-0,59</b>	-0,45	0,12	-0,25	0,06	-0,14
35	<b>-0,51</b>	-0,21	-0,28	0,11	0,35	<b>-0,61</b>
Собственное значение фактора	7,96	7,52	5,94	4,17	2,78	1,87
Доля объясняемой дисперсии	22,11	20,90	16,51	11,60	7,73	5,20
Накопленная дисперсия	22,11	43,01	59,52	71,11	78,84	84,05

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

**Приложение 7. – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях среднего магнетитового загрязнения (ОУ-5)**

Признак	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
1	<b>-0,60</b>	0,11	<b>0,68</b>	-0,23	-0,07	-0,04
2	<b>-0,64</b>	-0,44	0,36	-0,22	0,10	-0,20
3	0,03	<b>-0,62</b>	-0,44	0,04	0,19	-0,15
4	<b>-0,85</b>	-0,04	0,31	-0,18	0,00	-0,01
5	-0,19	-0,33	0,37	0,18	-0,10	0,02
6	<b>-0,72</b>	0,41	0,47	0,00	-0,19	0,03
7	<b>-0,57</b>	<b>0,58</b>	-0,33	-0,42	0,02	0,02
8	0,02	0,30	<b>-0,74</b>	-0,48	0,21	0,01
9	-0,35	<b>0,66</b>	0,29	0,23	-0,15	-0,11
10	-0,39	<b>0,51</b>	-0,23	<b>-0,59</b>	0,09	-0,11
11	0,00	-0,11	-0,47	<b>-0,74</b>	0,23	0,00
12	<b>-0,57</b>	0,40	0,48	-0,08	-0,16	0,06
13	-0,39	<b>0,54</b>	-0,35	-0,46	-0,09	0,22
14	0,07	0,28	<b>-0,69</b>	-0,40	0,02	0,19
15	-0,11	<b>-0,79</b>	0,34	-0,33	0,08	-0,02
16	0,07	<b>-0,72</b>	0,37	-0,31	0,04	-0,13
17	<b>-0,54</b>	<b>-0,67</b>	0,12	-0,25	0,15	0,28
18	<b>-0,73</b>	<b>-0,55</b>	-0,07	-0,16	-0,18	0,23
19	0,48	-0,15	0,38	-0,14	<b>0,67</b>	0,05
20	<b>0,57</b>	-0,23	0,24	-0,41	-0,46	0,33
21	<b>-0,91</b>	-0,33	-0,19	0,08	0,09	0,01
22	<b>-0,91</b>	-0,28	-0,04	0,06	0,21	0,00
23	-0,41	-0,34	<b>-0,56</b>	0,11	-0,33	0,05
24	<b>-0,66</b>	-0,26	-0,31	0,04	<b>-0,54</b>	0,08
25	<b>-0,67</b>	0,13	-0,30	0,40	0,40	-0,28
26	<b>-0,85</b>	-0,04	-0,37	0,30	0,04	-0,18
27	0,08	0,29	<b>0,58</b>	-0,12	<b>0,56</b>	-0,13
28	<b>-0,86</b>	0,06	-0,18	0,28	0,20	-0,21
29	-0,11	<b>0,55</b>	0,40	-0,43	-0,03	-0,25
30	-0,16	0,37	0,19	0,12	0,30	<b>0,70</b>
31	-0,25	0,37	0,18	0,09	0,22	<b>0,69</b>
32	-0,13	0,10	0,16	<b>0,56</b>	-0,06	0,33
33	-0,31	0,28	-0,23	0,37	0,26	0,18
34	-0,39	<b>0,52</b>	0,23	0,07	-0,16	-0,20
35	-0,19	0,24	0,41	<b>-0,55</b>	-0,15	-0,14
Собственное значение фактора	9,40	6,44	5,17	3,76	2,22	1,94
Доля объясняемой дисперсии	26,11	17,88	14,37	10,44	6,18	5,40
Накопленная дисперсия	26,11	43,99	58,35	68,79	74,97	80,37

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.

**Приложение 8.** – Факторная структура признаков женской генеративной системы сосны обыкновенной в условиях сильного магнетитового загрязнения (ОУ-2)

Признак	Фактор						
	1	2	3	4	5	6	7
1	<b>-0,85</b>	-0,40	0,18	-0,01	-0,04	0,01	0,00
2	<b>-0,86</b>	-0,21	-0,14	0,12	0,14	0,12	0,03
3	0,18	0,36	<b>-0,51</b>	0,19	0,27	0,15	0,05
4	<b>-0,93</b>	-0,21	-0,03	-0,06	0,13	0,10	0,03
5	-0,34	-0,39	-0,21	0,30	-0,06	-0,11	-0,48
6	<b>-0,80</b>	-0,48	0,27	-0,10	-0,07	-0,12	-0,01
7	<b>-0,61</b>	-0,36	-0,29	-0,47	-0,33	-0,01	0,03
8	0,46	0,32	<b>-0,61</b>	-0,32	-0,25	0,15	0,07
9	<b>-0,56</b>	<b>-0,53</b>	0,39	-0,26	-0,19	-0,01	-0,19
10	<b>-0,51</b>	-0,42	-0,17	<b>-0,51</b>	-0,24	0,08	0,22
11	0,26	0,27	<b>-0,63</b>	-0,21	-0,02	0,10	0,39
12	<b>-0,76</b>	<b>-0,55</b>	0,10	0,02	-0,11	-0,03	0,10
13	<b>-0,54</b>	-0,29	-0,33	-0,37	-0,45	-0,07	0,05
14	0,34	0,44	-0,47	-0,42	-0,35	-0,05	0,00
15	<b>-0,69</b>	0,08	-0,38	0,47	0,25	0,06	-0,04
16	<b>-0,58</b>	0,02	-0,28	<b>0,55</b>	0,31	0,06	-0,11
17	<b>-0,75</b>	0,21	<b>-0,52</b>	0,13	0,01	0,07	0,15
18	<b>-0,68</b>	0,38	<b>-0,50</b>	0,15	-0,06	-0,26	0,08
19	-0,22	-0,41	-0,06	-0,03	0,17	<b>0,77</b>	0,18
20	0,29	-0,45	<b>-0,65</b>	0,17	0,09	-0,44	0,12
21	<b>-0,76</b>	<b>0,62</b>	0,02	0,01	-0,11	0,09	-0,02
22	<b>-0,76</b>	<b>0,55</b>	0,17	0,11	-0,17	0,01	0,19
23	-0,35	0,48	-0,38	-0,26	0,11	0,25	<b>-0,54</b>
24	-0,39	0,47	-0,28	0,20	-0,23	<b>-0,65</b>	-0,09
25	-0,45	<b>0,61</b>	<b>0,53</b>	-0,11	-0,11	0,27	-0,12
26	<b>-0,55</b>	<b>0,71</b>	0,33	-0,01	-0,22	-0,04	-0,14
27	0,01	-0,38	0,43	0,29	-0,16	-0,22	<b>0,65</b>
28	<b>-0,53</b>	<b>0,60</b>	0,46	0,08	-0,26	-0,11	0,09
29	-0,21	<b>-0,86</b>	-0,05	-0,08	0,19	-0,14	-0,14
30	-0,29	<b>0,51</b>	0,32	-0,29	<b>0,55</b>	-0,20	0,23
31	-0,25	<b>0,51</b>	0,30	-0,20	<b>0,54</b>	-0,14	0,20
32	-0,29	<b>0,59</b>	0,06	-0,25	0,29	0,04	0,19
33	-0,13	0,24	-0,21	<b>-0,63</b>	<b>0,51</b>	-0,21	-0,11
34	-0,23	-0,36	0,10	<b>-0,54</b>	<b>0,52</b>	-0,35	-0,14
35	-0,21	<b>-0,66</b>	-0,31	-0,04	0,34	0,10	0,15
Собственное значение фактора	10,44	7,42	4,63	2,88	2,47	1,87	1,62
Доля объясняемой дисперсии	28,99	20,61	12,87	7,99	6,86	5,21	4,49
Накопленная дисперсия	28,99	49,61	62,48	70,47	77,33	82,54	87,02

Примечание: обозначение признаков см. в табл. 3.7.