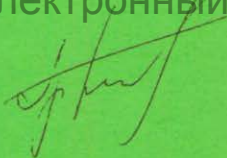


А
1758

Электронный архив УГЛТУ

*



На правах рукописи

Попов Артем Сергеевич

**Комплексная сравнительная оценка состояния сосновых
древостоев в зоне влияния аэропромышленных выбросов
Среднеуральского медеплавильного завода**

06.03.03 – Лесоведение и лесоводство;
лесные пожары и борьба с ними

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук**

Екатеринбург 2006

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена на кафедре прикладной физики и биофизики Уральского государственного лесотехнического университета.

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Шавнин Сергей Александрович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор Шиятов Степан Григорьевич
кандидат сельскохозяйственных наук
Фимушин Борис Семенович

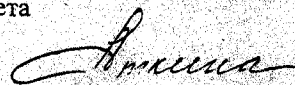
Ведущая организация: кафедра экологии Уральского государственного университета

Защита состоится «26» мая 2006 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 Уральского государственного лесотехнического университета по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан «26» апреля 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
проф., д.с.-х.н.



Л. И. Аткина

Актуальность темы. Важное место при решении проблем охраны и восстановления лесов отводится разработке методов оценки состояния и устойчивости древостоев к действию антропогенных факторов, включая агропромышленные загрязнения. В настоящее время вопросы оценки состояния лесных экосистем изучены значительно лучше, чем проблема их устойчивости. Объектом исследования были выбраны сосновые древостои, поскольку сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) – один из наиболее распространенных на Урале видов древесных растений. Вместе с тем, деревья сосны являются чувствительными индикаторами к влиянию различных загрязнений.

Цель и задачи исследований. Целью работы является проведение сравнительной оценки состояния и устойчивости сосновых молодняков и средневозрастных насаждений, испытывающих негативное воздействие агропромышленных загрязнений Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗа).

Основные задачи исследований:

1. Сравнительное изучение основных морфометрических характеристик молодых и средневозрастных сосновых древостоев в районе исследования.
2. Изучение влияния агропромышленных выбросов на динамику изменения индексов годовых радиальных приростов старшевозрастных сосновых древостоев, характеризующихся различной степенью угнетения.
3. Исследование возможности использования сравнительного анализа динамики индексов радиальных годовых приростов сосновых древостоев различных возрастов для оценки их устойчивости к действию загрязнений.
4. Изучение влияния дополнительного стрессового воздействия на сезонную динамику отдельных физиологических показателей с целью выделения различных уровней устойчивости фотосинтетического аппарата хвои сосны.

Научная новизна заключается в следующих основных результатах исследований, полученных автором в процессе работы над диссертацией и выносимых на защиту:

1. Проведено комплексное обследование средневозрастных сосновых древостоев в условиях действия техногенных загрязнений СУМЗа, позволяющее оценить их состояние.
2. Составлены карты-схемы состояния сосновых насаждений двух групп возраста по отдельным морфометрическим характеристикам, а также их совокупности. Сравнительный анализ карт позволил выявить различия в состоянии молодых и средневозрастных древостоев, испытывающих

одинаковую техногенную нагрузку, и свидетельствует об ухудшении состояния древостоев с возрастом.

3. Установлено, что совокупное влияние аэропромышленных выбросов и продолжительного водного стресса, вызванного в отдельные годы дефицитом осадков, приводит к уменьшению индексов годичных радиальных приростов старшевозрастных древостоев и в меньшей мере сказывается на их величине в молодых насаждениях, сформировавшихся в условиях постоянного действия поллютантов.

4. Изучен характер изменений сезонной динамики отдельных физиологических характеристик двухлетней хвои деревьев сосны, испытывающих стрессовое воздействие различной природы, состава и интенсивности. Выделены как минимум три уровня устойчивости фотосинтетического аппарата сосны обыкновенной.

Практическая ценность работы. Заложенные в процессе выполнения работы пробные площади и результаты сравнительного анализа состояний сосновых древостоев разных возрастов могут быть использованы при реализации региональных экологических программ разных уровней, ведении локального мониторинга лесов и разработке рекомендаций по проведению лесохозяйственных мероприятий по снижению ущерба, наносимого лесам загрязнениями. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования динамики отдельных ростовых и физиологических характеристик древостоев (индексов годичных радиальных приростов, содержания свободной воды и хлорофиллов в двухлетней хвое) в качестве критериев оценки уровней устойчивости к действию стрессовых факторов.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены на научно-технических конференциях студентов и аспирантов УГЛТУ (Екатеринбург 2003, 2004, 2006); XI Всероссийской студенческой научной конференции "Экология и проблемы охраны окружающей среды" (Красноярск, 2004); Международной конференции "Экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики (ESFEA-2001)" (Томск, 2001); V международной научно-технической конференции "Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса" (УГЛТУ, 2005).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 8 научных работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка цитируемой литературы и приложения, изложена на 149 страницах машинописного текста, включает 22 таблицы и 24 рисунка. Список литературы содержит 139 библиографических ссылок, в том числе 18 на иностранном языке.

ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ И ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В последнее время становится очевидным, что для поддержания биогеохимических циклов в биосфере необходимо обеспечить оптимальные условия для деятельности продуцентов (Николаевский, 1983). Высокая чувствительность зеленых растений объясняется наличием у них фотосинтетического аппарата, отсутствующего у консументов и редуцентов. В процессе связывания токсичных газов происходят серьезные сбои в физиологических процессах (Илькун, 1978).

В лесных биоценозах почти все поступающие из атмосферы тяжелые металлы накапливаются в подстилке и гумусовом горизонте (Вайчис и др., 1988). Достигающая поверхности почвы промышленная пыль задерживается в насаждении слоем лесной подстилки. Здесь же накапливаются токсические вещества, поступающие с загрязненным ежегодным опадом.

Влияние аэропромышленных выбросов на древесные растения и экосистемы разнообразно и сложно. Деформации физиологических и биохимических клеточных процессов, накапливаясь, со временем приводят к качественным изменениям в строении и энергетике клетки. Запускается необратимая реакция дегградации отдельных органов и организма в целом, в результате чего эффект наблюдается и на экосистемном уровне.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований находится на юго-западе Свердловской области, в зоне действия Ревдинско-Первоуральского промышленного узла. Основным источником загрязнения в районе исследований является СУМЗ. Специфика токсического эффекта выбросов медеплавильного завода заключается в совместном действии тяжелых металлов и сернистого ангидрида (Воробейчик и др., 1994; E.-D. Schulze et al., 2005). Однако СУМЗ является не единственным эмитентом поллютантов. Дополнительный вклад в загрязнение вносит целый ряд предприятий г. Первоуральска.

Программа работ включала:

1. Проведение анализа литературных данных о влиянии промышленных загрязнений на состояние и устойчивость сосновых древостоев.
2. Сбор и изучение данных о природных условиях, состоянии лесного фонда, загрязнении почв и других особенностях района проведения исследований.
3. Оценку состояния насаждений под действием выбросов поллютантов на основе величин их морфометрических характеристик и проведение зонирования молодых и средневозрастных древостоев.

4. Изучение динамики индексов годичных радиальных приростов древостоев разных возрастных групп.

5. Исследование влияния дополнительного стрессового воздействия (окорения) на устойчивость лесных культур сосны, расположенных в зонах с различной степенью загрязнения.

6. Изучение сезонной динамики диагностических физиологических характеристик фотосинтетического аппарата деревьев сосны в условиях атмосферного загрязнения.

В основу оценки морфометрических показателей древостоев заложен метод обследования пробных площадей (ПП). При закладке ПП руководствовались действующим отраслевым стандартом ОСТ 56-60-83, а также методическими рекомендациями Огиевского В. В. и Хирова А. А. (1974). На каждой ПП выделяли и маркировали группу из 10 модельных деревьев сосны с диаметрами наиболее близкими к среднему, у которых измеряли высоты и брали керны на высоте 0,3 м с западной стороны ствола. С помощью кернов устанавливался возраст модельных деревьев сосны.

С помощью традиционных методов были построены индивидуальные древесно-кольцевые хронологии, которые перекрестно датировались с применением автоматизированной системы LINTAB в программном пакете TSAP. Данные приростов усреднялись. Расчет индексов приростов проводился с помощью программ TREND и ARSTAN (Cook, 1985).

При закладке эксперимента с применением дополнительного стрессового воздействия на двух ПП, расположенных в 4,1 и 18,4 км от СУМЗа, выбрано по две биогруппы деревьев с различным жизненным состоянием. Деревья модальной группы (21 дерево) имеют средние для данного участка величины высот и диаметров (II класс роста по Крафту). Деревья угнетенной группы (30 деревьев) имеют наименьшие величины ростовых характеристик (V класс роста по Крафту). В каждой биогруппе заложено три варианта опыта по влиянию экспериментально вызванного стресса. Стрессовое воздействие заключалось в удалении коры и луба (0, 90 и 100 % длины окружности ствола на высоте 1,3 м от шейки корня). Ширина зоны окорения составляет 10 см. Поверхность поврежденного участка покрывали садовым варом.

Для определения пигментного состава и содержания катехина в хвое использовали общепринятую методику (Методы..., 1978; Крючков и др., 1988). В хвое второго года определяли содержание свободной и связанной воды (Практикум ..., 1996). Образцы почв для определения тяжелых металлов подготавливали к анализу по общепринятой методике (Аринушкина, 1970). Измерение концентрации тяжелых металлов проводили в вытяжках, полученных при обработке образцов азотной кислотой, на атомно-абсорбционном спектрометре "Спираль-14". Обработку данных проводили с использованием пакетов программ "Excel XP для Windows", "Statistica 6.0", ARCVIEW 3.2, ARC\Info 8.1.

В ходе полевых работ подобрано и заложено 13 ПП в естественных сосновых древостоях IV класса возраста и старше (табл. 1). Девять ПП заложены на территории Билимбаевского лесхоза, две – на территории Ревдинского и по одной ПП на территории Верх-Исетского лесхоза и УУОЛ УГЛТУ. На тринадцати ПП проведены измерения основных лесоводственно-таксационных показателей и содержания тяжелых металлов в горизонте А₁ почв. На ПП 4, 7, 12 и 13 изучалась динамика годичных радиальных приростов. На ранее заложённых в лесных культурах ПП 4 и ПП 9 (Папулов, 2003) проводились измерения содержания в двухлетней хвое пигментов, катехинов, свободной и связанной воды под влиянием дополнительного стрессового воздействия. На ПП 9 также наблюдали динамику индексов годичных радиальных приростов.

ГЛАВА 3. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОДЫХ И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ СУМЗа

ПП находятся в сосновых древостоях старших классов возрастов, располагающихся в относительной близости от ПП, заложённых в сосновых молодняках (Папулов, 2003).

На каждой ПП определяли средние диаметры и высоты сосны, как элемента древостоя. Приведение диаметров к возрасту 70-ти лет проводили путем вычитания величин радиальных приростов за соответствующие периоды времени. Величины приведенных высот определяли с помощью интерполяции по бонитировочной шкале М. М. Орлова, учитывая класса бонитета насаждения.

На основе вычисленных величин показателей состояния (ПС) по диаметру и высоте для каждой ПП проводился расчет обобщенного показателя состояния (ОПСморф). После чего проводилось зонирование исследуемой территории для сосновых насаждений 30-ти и 70-тилетнего возраста. Его результаты приведены на рис. 1.

Анализ результатов сравнительной оценки сосновых насаждений различных возрастов показал, что состояние расположенных в непосредственной близости друг от друга сосновых древостоев различных возрастов существенно различается. При этом для молодых насаждений характерно более резкое улучшение ростовых характеристик с удалением от источника выбросов. В результате этого на большей площади района исследований сосновые молодняки демонстрировали удовлетворительное и хорошее развитие. У средневозрастных переходы между зонами более постепенные. Большая их часть имеет очень плохое и плохое состояние.

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев
(тип лесорастительных условий по Колесникову Б. П., 1973)

№ ПП	Румб	Расстояние от СУМЗа, км	Возраст, лет	Средние		Состав	Тип леса	Бонитет	Тип лру
				диаметр, см	высота, м				
1	СВ	9,4	77	27,4	24,5	9С1Е	ЕСтр	I	331
2	СВ	11,5	77	29	30,2	9С1Б	Сяг	Ia	322
3	СВ	8,8	71	24,7	18,3	9С1Е	Сяг	III	322
4	ЮЗ	19,1	80	36,5	27	6СЗБ1Лц	ЕСтр	I	331
5	ЮЗ	19,7	132	44,1	29,3	8С1Б1Лц	ЕСтр	II	331
6	СЗ	12	71	31,4	30,9	10С	ЕСяг	Ia	323
7	СЗ	11,2	93	31,2	26,7	10С	ЕСтр	I	331
8	ЮВ	8,7	74	22,9	21,5	10С ед.Е	Сяг	II	331
10	СВ	10,6	78	32,5	25,3	9С1Лц	ЕСяг	I	323
12	ЮЗ	1,8	88	27,3	20,9	8С1Е1Б	ЕСтр	III	331
13	ЮВ	16,7	100	34,2	27,7	7СЗБ	Сяг	I	331
14	ЮЗ	16,4	144	44,3	30,2	5СЗБ2Лц ед.Е	ЕСтр	II	331
15	СВ	27,2	100	33,7	26,7	9С1Лц ед.Е,Б	Сяглп	I	332

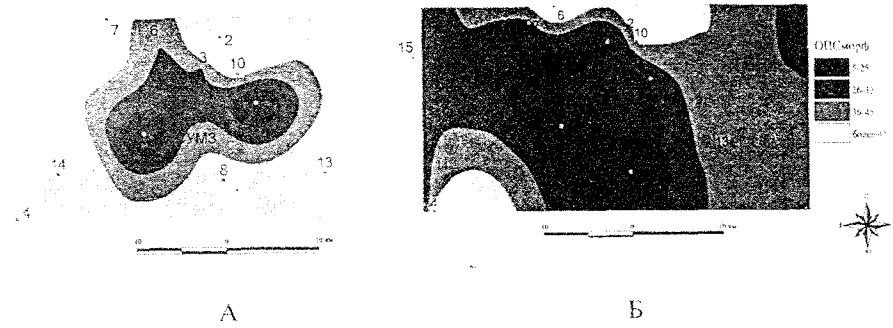


Рис. 1. Карты-схемы состояния 30-летних (А) и 70-летних (Б) сосновых древостоев, на территории, прилегающей к СУМЗу, составленные на основе обобщения (в баллах) морфометрических показателей.

Использование величин ОПС древостоя в качестве основного критерия оценки его состояния позволяет проводить сравнение насаждений между собой. Однако такой подход не позволяет описать происходящие внутри древостоя структурные изменения и выявлять факторы, являющиеся причинами появления этих изменений. Дополнение качественных оценок состояния древостоя статистическими показателями рядов распределения стволов по ступеням толщины, характеризующими структуру насаждения, является перспективным при определении факторов, наложивших отпечаток на развитие древостоя, а также оценке эффективности проведенных в них хозяйственных мероприятий.

ГЛАВА 4. РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ СУМЗА

В качестве характеристики реакции древостоя на воздействие факторов среды целесообразно использовать наиболее информативные показатели продуктивности насаждения. Таким показателем является текущий прирост по диаметру, позволяющий количественно оценить влияние внешних факторов среды на рост отдельных деревьев или древостоев (Фимушин, 1979; Лиена, 1985; Guderian, 1970).

Часто для определения чувствительности годичного радиального прироста сосны обыкновенной к влиянию аэропромышленных выбросов применяется подход, называемый в дендрохронологии традиционным (Innes, 1989). Результатом данного рода исследования является возможность изучения динамики радиальных приростов по пятилетиям (рис. 2).

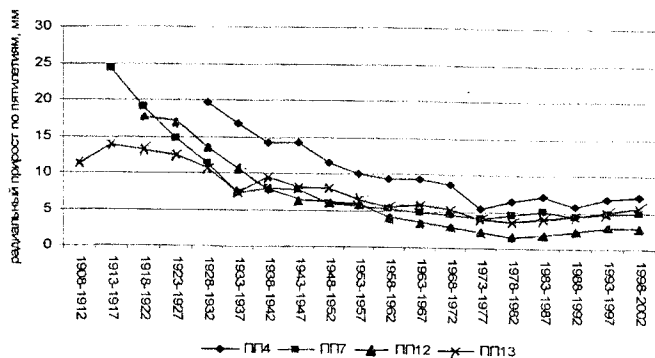


Рис. 2. Динамика радиального прироста по пятилетиям сосновых древостоев, испытывающих техногенное воздействие различной степени.

Насаждения на ПП 4, 7, 12 и 13 относятся к одной группе типов леса по режиму увлажнения – устойчиво свежие; а также растут на схожих почвах (Лесорастительные условия ..., 1973). В 70-летнем возрасте они характеризовались различным состоянием (табл. 2). Помимо этого, указанные древостои на момент закладки пробных площадей достигли возраста 80-100 лет, то есть, имели определенную историю развития в условиях, свободных от влияния загрязнения.

Но традиционный подход имеет недостатки. Величина годичного прироста зависит от влияния целого набора факторов: климата, возраста дерева, почвенно-грунтовых условий и т. д. Поэтому не корректно приписывать снижение радиального прироста по мере приближения к источнику выбросов исключительно влиянию техногенного загрязнения, хотя данный фактор может вносить свой вклад в снижение динамики ростовых процессов (Шиятов, 1973; Innes, 1989).

Таблица 2
Величины ПС (в баллах) по отдельным характеристикам и ОПС (в баллах), рассчитанные для сосновых древостоев, растущих в зонах с различным уровнем техногенной нагрузки

№ ПП	Румб	Расстояние от СУМЗа, км	ПС (D)	ПС (H)	ОПС _{МОРФ}
4	ЮЗ	19,1	62	62	62
7	СЗ	11,2	22	46	32
12	ЮЗ	1,8	15	5	9
13	ЮВ	16,7	36	47	41

В ходе исследований исключение неклиматических факторов проводилось с помощью индексирования и усреднения древесно-кольцевых хронологий (Шиятов и др., 2000). Анализ динамики индексов радиального прироста древостоя на ПП 12, расположенной в непосредственной близости от источника выбросов, позволяет выявить ее существенное отклонение от хода развития индексов радиального прироста на ПП 4 (рис. 2). Влияния загрязнения на динамику индексов годичных радиальных приростов древостоев ПП 7 и 13 отмечено не было.

Для определения характера совокупного влияния на сосновые древостои природно-климатических факторов и антропогенного загрязнения были проанализированы данные по температуре и осадкам, полученные на станции Ревда с 1959 г. Было установлено, что синергический характер действия выбросов СУМЗа и нескольких засух в течение ряда лет в середине 1970-х годов вызвал у деревьев сосны на импактной ПП 12 появление жесткого углеводного дефицита и падение индексов приростов, продолжавшееся до середины 1980-х.

Устойчивость хвойных древостоев различных возрастов к техногенному загрязнению изучена мало. Анализ динамики индексов годичных радиальных приростов позволяет решить этот вопрос. Керны для изучения древесно-кольцевых хронологий сосновых молодняков импактной зоны были взяты на ПП 9, расположенной в 4 км северо-восточнее СУМЗа. Анализ динамики индексов приростов сосновых древостоев разных возрастов с очень низкими ростовыми характеристиками (ПП 9 и ПП 12) выявил наличие между ними значительных отклонений (рис. 2). При сравнении индексов радиальных приростов старшевозрастных сосновых древостоев (ПП 4) и молодняков импактной зоны (ПП 9) обнаруживается их значительное сходство. Это позволяет предположить, что молодые лесные культуры сосны, сформировавшиеся под постоянным влиянием аэропромышленных поллютантов, более устойчивы к засушливым условиям, чем находящиеся в аналогичной ситуации старшевозрастные.

Способность дендрохронологического подхода улавливать такого рода расхождения в динамиках ростовых индексов древостоев, находящихся в различном состоянии, позволило сделать вывод о возможности его использования при оценке устойчивости древостоев к воздействию на них поллютантов.

В динамике индексов радиальных приростов сосновых молодняков, произрастающих в импактной зоне, не наблюдается продолжительного спада в 1978 – 1984 г.г., который существует у средневозрастного древостоя в аналогичных условиях загрязнения. Напротив, она имеет много общего с ростовой динамикой средневозрастного древостоя фоновой ПП 4.

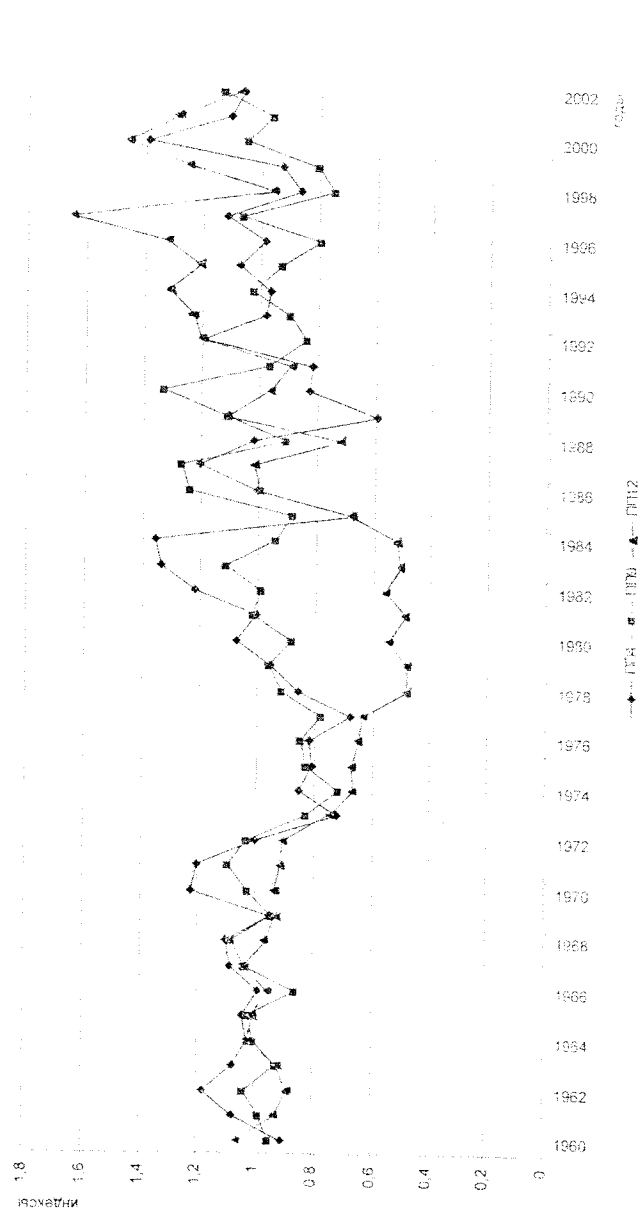


Рис. 2. Динамика индексов годичных радиальных приростов древостоев, растущих в фоновых (ПП 4) и импактных (ПП 9 и ПП 12) условиях.

Данные факты могут свидетельствовать о большей устойчивости к действию поллютантов молодых древостоев, чье формирование проходило под постоянным действием аэропромышленных выбросов. При таком сравнении необходимо учитывать, что сопоставляемые древостои должны быть близкими по состоянию.

ГЛАВА 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СТРЕССОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ К ДЕЙСТВИЮ АЭРОПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Негативное влияние аэропромышленных загрязнений приводит к снижению интенсивности поступления ассимилятов из кроны к корням дерева. Было принято решение моделировать этот процесс путем удаления части луба. Интенсивность применяемого воздействия регулируется за счет удаления флоэмной ткани по всей длине окружности ствола либо определенной ее части. Таким образом дерева, растущие в фоновых условиях находятся под действием только экспериментального стресса. Растения импактной зоны помимо влияния дополнительного стресса испытывают еще и действие со стороны газовых поллютантов.

С целью изучения влияния дополнительного стресса на пигментный аппарат сосны был проведен анализ сезонных изменений содержания хлорофиллов в двухлетней хвое деревьев, характеризующихся различным жизненным состоянием, растущих на фоновой ПП 4 и импактной ПП 9 (рис. 3 и 4). Предварительно было проведено нормирование величин содержания хлорофиллов к показателю, зафиксированному у деревьев с определенным жизненным состоянием на каждой из ПП в момент закладки опыта с окорением. Сезонная динамика содержания других пигментов, каротиноидов, в двухлетней хвое деревьев сосны, выросших в различных условиях загрязнения, аналогична динамике суммарного содержания хлорофиллов.

Были получены следующие результаты:

1. Дополнительный стресс получает развитие с течением времени и максимально проявляется во второй год ведения наблюдений.
2. При совместном воздействии атмосферного загрязнения и дополнительного стресса на модальные деревья эффект влияния последнего недостоверен. По-видимому, это является следствием проявления импактными древостоями большей устойчивости к экспериментальному стрессовому воздействию. У модальных растений на фоновой ПП 4 под действием такой нагрузки наблюдали переход фотосинтетического аппарата в новое состояние.

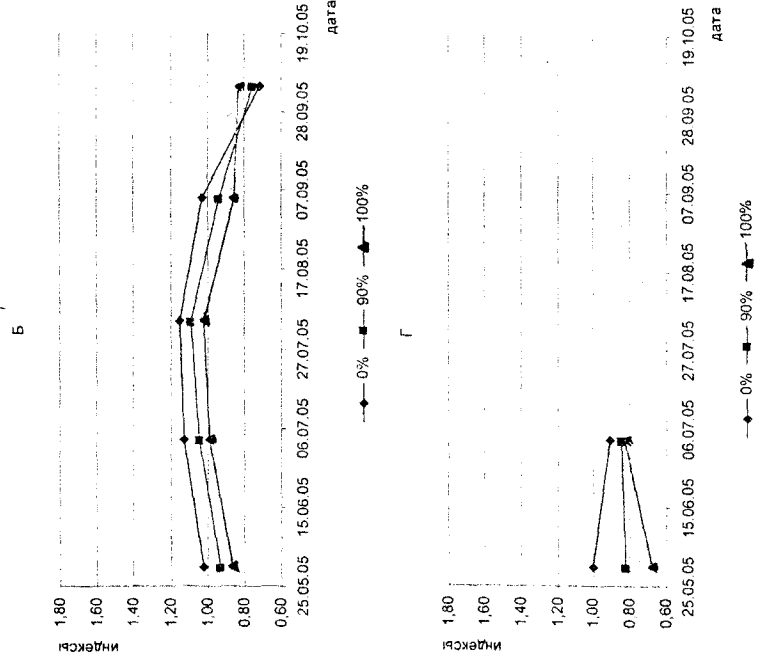


Рис. 3. Влияние экспериментального стресса на сезонные изменения суммарного содержания хлорофиллов а и б в двухлетней хвое деревьев сосны на ПП 4, характеризующихся определенным жизненным состоянием (А и Б – ПП 4 модальные деревья; В и Г – угнетенные деревья)

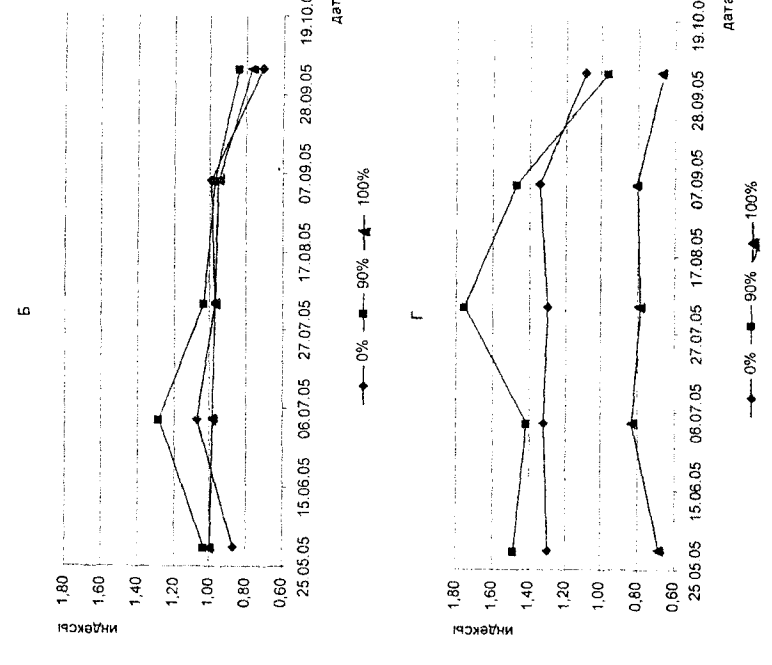
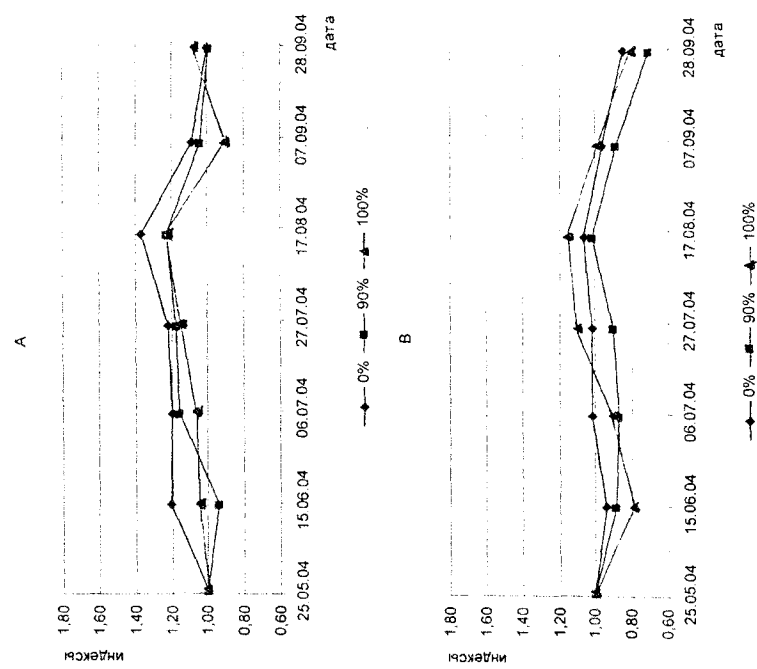
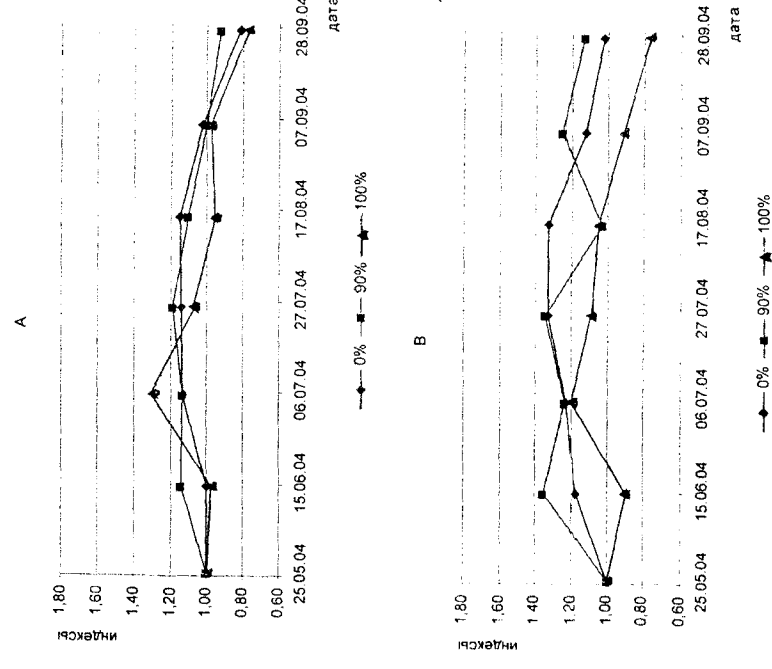


Рис. 4. Влияние экспериментального стресса на сезонные изменения суммарного содержания хлорофиллов а и б в двухлетней хвое деревьев сосны на ПП 9, характеризующихся определенным жизненным состоянием (А и Б – ПП 4 модальные деревья; В и Г – угнетенные деревья)



3. Состояние угнетенных деревьев сосны, растущих на ПП 4, испытывающих совокупное воздействие внутривидовой конкуренции и окорения, резко ухудшалось в начале второго года наблюдения.

Рассматривали влияние экспериментального стрессового воздействия на антиоксидантную систему. Ее действие проявляется в полной мере в условиях сильного стресса, включающего в себя, помимо механических нарушений, совокупное влияние на древостой загрязнений и внутривидовой конкуренции. В течение первого года наблюдений не было выявлено отличий в сезонной динамике содержания катехинов у модальных и угнетенных деревьев на обеих ПП. Существенное влияние дополнительного стресса наблюдалось только во второй год наблюдений.

Под действием дополнительного стресса изменяется оводненность хвои сосны. Этот показатель у деревьев на ПП 9 достоверно ниже, чем у растений, выросших на ПП 4. При этом содержание в хвое свободной воды изменялось под действием стрессовой нагрузки (табл. 3 и 4). На протяжении первого года эксперимента характер сезонной динамики уровня содержания свободной воды у окоренных деревьев был аналогичен тому, что наблюдался у неокоренных растений. Во второй год проведения эксперимента наблюдалось снижение содержания свободной воды в хвое 100%-ноокоренных деревьев. Характер изменения сезонной динамики уровня свободной воды в хвое угнетенных деревьев фоновой ПП 4 в первый год аналогичен тому, что наблюдался в случае с модальными. В 2005 г. у 100% окоренных угнетенных растений также наблюдалось снижение содержания свободной воды.

Таблица 3
Динамика содержания свободной воды в двухлетней хвое деревьев сосны (в отн. ед., за 1,00 принят показатель от 25.05.04), характеризующихся различным жизненным состоянием, на ПП 4 (0, 90 и 100% - степень окорения деревьев)

дата	модальные-0%	модальные-90%	модальные-100%	угнетенные-0%	угнетенные-90%	угнетенные-100%
25.05.2004	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14.06.2004	1,57	1,74	1,52	1,05	1,13	1,09
05.07.2004	0,89	1,13	0,99	0,82	1,00	0,95
25.07.2004	0,68	0,53	0,78	0,46	0,71	0,72
15.08.2004	1,44	1,92	1,72	1,28	1,19	1,59
05.09.2004	1,19	1,38	1,13	0,82	0,95	0,99
27.09.2004	1,09	1,56	1,51	1,00	1,02	1,11
17.10.2004	1,75	1,63	1,66	1,07	0,89	0,86
30.05.2005	1,78	1,73	0,93	1,23	0,98	0,95
03.07.2005	1,82	1,81	0,75	0,96	0,98	0,57
03.08.2005	1,84	1,68	0,89			
05.09.2005	1,64	1,64	0,69			
05.10.2005	0,99	1,13	0,54			

Таблица 4
Динамика содержания свободной воды в двухлетней хвое деревьев сосны (в отн. ед., за 1,00 принят показатель от 25.05.04), характеризующихся различным жизненным состоянием, на ПП 9 (0, 90 и 100% - степень окорения деревьев)

дата	модальные-0%	модальные-90%	модальные-100%	угнетенные-0%	угнетенные-90%	угнетенные-100%
25.05.2004	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14.06.2004	1,49	1,71	1,22	1,47	1,38	1,42
05.07.2004	0,95	1,64	1,12	1,22	1,00	0,80
25.07.2004	1,37	1,60	1,24	1,36	1,45	1,04
15.08.2004	1,21	1,44	0,63	0,86	1,24	1,24
05.09.2004	1,41	1,53	1,15	1,08	1,05	1,22
27.09.2004	1,30	2,17	1,40	1,57	1,72	1,69
17.10.2004	1,78	1,57	1,40	1,28	1,38	0,98
30.05.2005	1,19	1,90	1,15	1,23	1,62	1,29
03.07.2005	1,57	2,27	0,93	1,36	1,43	1,37
03.08.2005	1,86	1,54	0,76	1,46	1,55	1,40
05.09.2005	1,16	2,03	1,19	1,22	1,31	1,34
05.10.2005	1,29	1,44	0,90	1,56	0,98	1,22

Реакция подверженных дополнительному стрессу модальных деревьев ПП 9 была разной. Для растений, подвергшихся 90% окорению, характерно повышенное содержание свободной воды в хвое на всем протяжении опыта. Этот показатель у полностью лишенных флоры деревьев, напротив, с середины августа 2004 г. существенно ниже. У окоренных тонкомерных деревьев ПП 9 не было отмечено достоверных различий в динамике содержания свободной воды в двухлетней хвое по сравнению с неокоренными. Вероятно, количество свободной воды фотосинтетического аппарата этих растений, сформировавшихся в условиях совокупного воздействия внутривидовой конкуренции и промышленного задымления, изначально находилось около своего нижнего предела. Влияние дополнительного стресса на содержание связанной воды сказывается значительно меньше.

Таким образом, изучение влияния дополнительного стресса на сезонную динамику отдельных физиологических характеристик деревьев сосны, произрастающих в условиях фона и импакта, позволило сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние дополнительный стресс имеет на пигментный состав и водный обмен.
2. Комплексный анализ результатов позволяет выделить как минимум три уровня устойчивости лесных экосистем, в зоне действия агропромышленных загрязнений:

1) Первый уровень устойчивости – это устойчивость древостоев с нормальным (фоновым) состоянием. К таким древостоям относятся исходные, неподверженные антропогенному воздействию, либо испытывающие слабое влияние лесные экосистемы. Для них характерна высокая чувствительность к погодным условиям, а также максимальная сезонная изменчивость содержания пигментов в хвое и ее оводненности.

2) Второй уровень наблюдается у древостоев, находящихся в переходном состоянии (буферная территория). Эти леса подвергаются существенному антропогенному воздействию (снижение абсолютных значений диагностических характеристик по сравнению с фоном), однако их репарационный потенциал обеспечивает частичное самовосстановление, что проявляется в отсутствии достоверных расхождений динамики индексов диагностических характеристик с тем, что наблюдалось на фоновых ПП в отдельные моменты вегетационного периода.

3) Устойчивость третьего уровня характерна для лесных экосистем импактной территории, находящихся в критическом (предшествующем гибели) состоянии. Эти древостои подвержены сильному негативному антропогенному воздействию. Репарационный потенциал живой экосистемы почти исчерпан, однако полной деградации еще не наступило. Для них характерны достоверно более низкие показатели абсолютных значений и индексов диагностических характеристик на протяжении всего года.

3. Эффект влияния дополнительного стрессового воздействия развивается во времени. Следует отметить, что изменения динамики отдельных характеристик наблюдаются уже в первый год, но основные отклонения от контроля происходят во второй год.

ВЫВОДЫ

Проведенные в ходе работы над диссертацией исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Величины морфометрических показателей сосновых древостоев различных возрастов, произрастающих в зоне действия аэропромвыбросов, с приближением к СУМЗу уменьшаются. Состояние молодых и средневозрастных сосновых древостоев, испытывающих негативное стрессовое воздействие одинаковой интенсивности, достоверно различно. Большая часть сосновых молодняков района исследований характеризуется удовлетворительным и хорошим состоянием, тогда как в средневозрастных насаждениях преобладают древостои с очень плохим и плохим состоянием.

2. С усилением влияния загрязнений в старшевозрастных древостоях происходит снижение величин радиальных приростов по пятилетиям. Уменьшение индексов годичных радиальных приростов в условиях многолетнего дефицита осадков по сравнению с фоновым состоянием наблюдалось только на импактной ПП. Это позволило выделить три состояния на-

саждений, сформировавшихся в условиях действия аэропромышленных выбросов: I – нормальное (древостой фоновой ПП); II – переходное (древостой буферных ПП, в которых под действием техногенных загрязнений уменьшаются абсолютные показатели приростов); III – критическое (импактные древостои, в которых под действием загрязнений помимо снижения приростов длительный дефицит осадков вызывает уменьшение величин индексов приростов).

3. Отсутствие уменьшения индексов годичных радиальных приростов при одновременном действии загрязнения и дефицита осадков у молодых сосновых насаждений, сформировавшихся в импактной зоне в условиях постоянного влияния СУМЗа, свидетельствует об их большей устойчивости к действию аэропромвыбросов. Реакция индексов годичных радиальных приростов на проявление стрессового воздействия может использоваться в качестве дополнительного критерия оценки устойчивости древостоев.

4. Реакция деревьев сосны на дополнительное стрессовое воздействие (окорение) развивается на протяжении более двух лет. При этом изменяется пигментный состав, содержание свободной и связанной воды, общая оводненность и состояние антиоксидантной системы хвои. Величина и характер физиологических реакций зависит от жизненного состояния дерева и силы техногенного воздействия.

5. Физиологические исследования позволили выделить не менее трех состояний деревьев: I – нормальное; II – переходное; III – критическое. Для второго состояния характерно наличие временных отклонений в сезонной динамике значимых физиологических характеристик от нормы (фона). В критическом состоянии комплекс диагностических характеристик состояния хвои достоверно отличается от контроля.

6. Анализ данных о лесохозяйственных мероприятиях, которым подвергался древостой в процессе формирования, их интенсивности и методах, а также материалов о состоянии (ОПСморф) и структуре (статистические показатели рядов распределения стволов по ступеням толщины) насаждения позволяет оценить эффективность проведенных в древостое работ.

ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. Шавнин С. А., Иванченко В. Г., Голиков Д. Ю., Калинин В. А., Попов А. С. Оценка состояния лесонасаждений вблизи Хантайского водохранилища (Таймырский АО) // Экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики (ESFEA-2001): Тез. докл., - Томск, 2001. – 191 с.
2. Веселкин Д. В., Мухин В. А., Шавнин С. А., Фомин В. В., Попов А. С. Строение эктомикориз и состояние древостоев сосны обыкновенной

- венной в условиях загрязнения СУМЗа // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. научн. Трудов. – Вып. 23. – УГЛТУ, Екатеринбург, 2003. – с. 172-183.
3. Попов А. С., Королева Л. И., Шавнин С. А. Динамика содержания фосфора и аммонийного азота в почвенном горизонте A_1 при комбинированном стрессовом воздействии на молодняки сосны // Материалы научно-технической конференции студентов и аспирантов / УГЛТУ. – Екатеринбург, 2003. – с. 45-46.
 4. Тарасова Н. С., Попов А. С. Влияние комбинированного стресса и аэропромышленного загрязнения на сезонную динамику потребления азота и фосфора деревьями сосны обыкновенной // Экология и проблемы охраны окружающей среды: Тез. докл. XI Всероссийской студенческой конференции., - Красноярск, 2004. – с. 51-52.
 5. Попов А. С., Шавнин С. А. Влияние комбинированного стресса и аэропромышленного загрязнения на сезонную динамику потребления NPK деревьями сосны обыкновенной // Материалы научно-технической конференции студентов и аспирантов лесохозяйственного факультета / УГЛТУ. – Екатеринбург, 2004. – с. 40-41.
 6. Голиков Д. Ю., Шавнин С. А., Крюк В. И., Попов А. С. Влияние стрессовых факторов на электрофизиологические характеристики прикамбиального комплекса ствола деревьев сосны обыкновенной // Материалы V международной науч.-техн. конф. “Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса” - УГЛТУ, Екатеринбург, 2005. – с. 115-116.
 7. Шавнин С. А., Крюк В. И., Голиков Д. Ю., Марина Н. В., Новоселова Г. Н., Попов А. С. Использование дополнительного стрессового воздействия при экспресс-диагностике состояния и устойчивости деревьев сосны обыкновенной // Материалы V международной науч.-техн. конф. “Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса” - УГЛТУ, Екатеринбург, 2005. – с. 117-118.
 8. Шинелев Д. М., Попов А. С., Сокова А. И. Влияние Первоуральско-Ревдинского промышленного узла на распределение по ступеням толщины деревьев сосны обыкновенной // Материалы II Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов – УГЛТУ, Екатеринбург, 2006. – с. 94-97.

Подписано в печать 24.04.2006 г. Объем 1 п.л.; Заказ №197 Тираж 100. 620100 Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Уральский государственный лесотехнический университет, отдел оперативной полиграфии.

1466-06