

На правах рукописи

СИЛКИНА Ольга Владимировна

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ХВОИ ABIES SIBIRICA И PICEA ABIES
В ПРОЦЕССЕ ВЕГЕТАЦИИ И ЕЕ ФИТОПРОДУКТИВНАЯ
АКТИВНОСТЬ**

Специальности
03.00.16 – Экология
03.00.32 – Биологические ресурсы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

КАЗАНЬ – 2006

Работа выполнена на кафедре химии Марийского государственного технического университета и кафедре прикладной экологии Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина

Научные руководители: доктор биологических наук, профессор
Винокурова Раиса Ибрагимовна

доктор химических наук, профессор
Латыпова Венера Зиннатовна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Любарский Евгений Леонидович

доктор биологических наук, профессор
Сабиров Айрат Тагирзянович

Ведущая организация: Татарский государственный
гуманитарно-педагогический
университет (кафедра биоэкологии)

Защита состоится 28 марта 2006 г. в 14 часов 00 мин. на заседании Диссертационного Совета Д 212.081.19 при Казанском государственном университете им. В.И. Ульянова-Ленина, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим присылать по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ, отдел аспирантуры, тел. (843) 238-76-01.

Автореферат разослан 27 февраля 2006 г.

Ученый секретарь Диссертационного Совета,
доктор химических наук, профессор



Г.А. Евтюгин

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Современное состояние окружающей среды и проблемы охраны природы требуют постоянного совершенствования методов организации и проведения мониторинга. В качестве объектов мониторинга часто используются фотосинтезирующие органы наиболее распространенных и чувствительных к загрязнению видов растений. Особое внимание при этом уделяется выбору максимально информативных тестов (параметров), характеризующих прежде всего функциональное состояние древесного растения.

Выявление и подбор наиболее информативных параметров «нормального» роста и развития растения с целью их использования в качестве эталона сравнения при изучении негативного влияния антропогенных факторов, а также прогнозирования и создания благоприятных оптимальных условий произрастания весьма актуальны.

Хорошо известно, что одними из важнейших поллютантов экосистем являются тяжелые металлы, многие из которых играют роль жизненно необходимых для функционирования растений микроэлементов. К настоящему времени в литературе имеется много работ, посвященных изучению негативного влияния тяжелых металлов на развитие растений. Для корректной интерпретации такого рода исследований, необходимо выяснение содержания и динамики накопления микроэлементов в фоновых условиях обитания растений.

Основными показателями состояния большинства экосистем, в том числе лесных, являются физиологические характеристики входящих в них организмов. Оценку физиологического состояния растений проводят по параметрам роста и развития. Продукционный потенциал растительного организма оценивают с учетом степени активности фотосинтетического аппарата, который тесно взаимосвязан с пигментным составом и накоплением биомассы листьев или хвои, а также содержанием микроэлементов.

Цель работы — выявление закономерностей содержания микроэлементов в хвое разных лет вегетации в связи с формированием фотосинтетического аппарата, определение параметров развития и фитопродуктивности хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*, произрастающих в естественных фитоценозах.

Согласно цели исследования были поставлены следующие задачи:

1. Изучить динамику изменения содержания хлорофилла а и хлорофилла b в хвое разных лет вегетации деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*.

2. Определить закономерности распределения микроэлементов в разновозрастной хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*.

3. Провести сравнение характера изменения содержания основных микроэлементов и хлорофиллов а и b в ходе сезонной и возрастной динамики развития хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*.

4. Охарактеризовать закономерности роста хвои вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*, процесса накопления в ней хлорофиллов и микроэлементов на основании данных изменения ее массы и длины.

5. Исследовать продукционную активность растущей хвои *Abies sibirica* и *Picea abies*;

На защиту выносятся следующие положения:

- Информативными показателями экологического состояния фотосинтезирующих органов хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* являются параметры роста и развития хвои, а также микроэлементный и пигментный состав.

- Продуктивность хвойных деревьев оценивают, используя степень развития фотосинтетического аппарата, который тесно взаимосвязан с содержанием хлорофиллов в хвое и накоплением ее биомассы.

Научная новизна. Впервые на основе данных экспериментального исследования эколого-физиологических параметров хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*, произрастающих на фоновых территориях РМЭ, предложена математическая модель их «нормального» функционирования, описывающая закономерности изменения содержания хлорофиллов и микроэлементного состава в процессе роста и развития хвои.

Предложен способ оценки потенциальной продуктивности хвойных деревьев на примере видов *Abies sibirica* и *Picea abies*, основанный на экспериментальных данных о совместной динамике массы хвои и общего количества хлорофиллов.

Практическая значимость. Найденная модель «нормального» функционирования хвойных деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*, произрастающих на фоновых территориях РМЭ, может использоваться в экологическом мониторинге как основа для оценки и прогноза состояния елово-пихтовых фитоценозов.

Рекомендованный способ оценки потенциальной продуктивности хвойных деревьев позволяет на практике решать вопрос о создании

высокопродуктивных и устойчивых елово-пихтовых насаждений в Среднем Поволжье.

Отдельные разделы диссертационной работы используются при чтении общепрофессионального курса «Экологический мониторинг» и спецкурса «Микроэлементы в окружающей среде».

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на Всероссийских научно-практических конференциях «Рациональное лесопользование и защита лесов в Среднем Поволжье» (Йошкар-Ола, 2003); «Химия и лес» (Йошкар-Ола, 2004; 2005), Всероссийской междисциплинарной научной конференции «Мировоззрение и безопасность современного общества в фокусе научного знания и практики» (Москва-Йошкар-Ола, 2003-2005); научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов МарГТУ 2003-2005 г.г, расширенном заседании кафедры химии МарГТУ (31.10.2005), расширенном заседании кафедры прикладной экологии КГУ (26.12.2005).

Публикации. По теме опубликовано 8 научных работ.

Личное участие автора заключается в составлении программы исследований, отборе, обработке и анализе проб растительных образцов, обобщении и обсуждении результатов и формулировании выводов.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 155 страницах машинописного текста, состоит из введения и 3-х глав, выводов, приложений, содержит 30 таблиц и 80 рисунков. Список цитированной литературы включает 179 наименований, в том числе 35 – зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПИГМЕНТНОГО ФОНДА И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ КАК ОСНОВНОГО КРИТЕРИЯ НОРМЫ РАЗВИТИЯ

(Обзор литературы)

В первой главе дается обзор литературы, освещающий результаты исследования пигментного состава хвойных деревьев, а также распределения микроэлементов, оказывающих непосредственное влияние на процессы фотосинтеза, роста и развития хвои. Проведенный анализ взаимовлияния эколого-физиологических параметров хвои позволил сформулировать цель и задачи данного исследования по созданию комплексного «нормального показателя» для оценки

состояния хвои деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*, произрастающих на фоновых территориях Республики Марий Эл.

Глава 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований были выбраны елово-пихтовые насаждения, произрастающие на территории Республики Марий Эл. Пробные площади были заложены сотрудниками кафедры химии МарГТУ в 1999 г.

Отбор проб проводили с деревьев (40-50 лет) и растений подроста (10-15 лет) *Abies sibirica* и *Picea abies* в течение всего календарного года с интервалом в 2 недели. Пробы отбирали в одни и те же утренние часы.

Для лабораторного изучения срезали ветви из верхней, средней и нижней частей кроны деревьев в 4-х геодезических направлениях с последующим делением на побеги 1, 2, 3, 4 и 5 года закладки.

Определение содержания хлорофилла а (Хл а) и хлорофилла b (Хл b) в хвое проводили путем экстрагирования 80%-ным раствором ацетона с последующим измерением оптической плотности экстракта на спектрофотометре на длинах волн 649 и 665 нм. Концентрацию пигментов рассчитывали по уравнениям Верона (Третьяков, 1990; Карасев, 2001).

При исследовании динамики роста хвои использовали метод средней хвоинки, изложенный в работах А.А. Молчанова и В.В. Смирнова (1967).

Образцы хвои высушивали до воздушно-сухого состояния, затем при температуре 105⁰С - до абсолютно сухого состояния. Зольность определяли сжиганием растительных образцов в муфельной печи при температуре 450⁰С в течение 6 часов.

Количественный химический анализ содержания микроэлементов (Pb, Mn, Mo, Zn, Co, Cu, B, Ba, Be, V, Ag, Ni, Cd, As) в образцах золы хвои растений осуществляли атомно-эмиссионным методом в аккредитованной лаборатории экологического контроля Казанского Государственного Университета по методикам, рекомендованным для целей государственного экологического контроля.

Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Общие закономерности изменения содержания хлорофиллов в хвое *Abies sibirica* и *Picea abies* в процессе вегетации

3.1.1 Возрастная динамика содержания хлорофиллов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*

Из большого числа разнообразных пигментов только Хл а способен осуществлять преобразование энергии. Все остальные пигменты, в том числе и Хл б, участвуют в процессах поглощения и миграции энергии. Известно, что повышенное содержания Хл б свидетельствует о стрессовом состоянии растительного организма.

На основании исследования основных пигментов в хвое деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* проведен анализ хвои 1-5 годов вегетации по содержанию хлорофиллов а и б в ходе сезонной динамики.

Характер изменения содержания фотосинтетических пигментов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* с мая по март имеет ряд общих закономерностей. В средних и северных широтах хвоя выходит из почки в мае месяце с колебаниями в 2-3 недели, ее вегетационный год не совпадает с календарным. Поэтому при определении возраста хвои за начало отсчета принимали начало вегетационного года, то есть май месяц.

Установлено, что на протяжении всего сезона общее содержание основного фотосинтетического пигмента Хл а в хвое 3-4 годов вегетации изученных видов хвойных деревьев значительно выше, чем в хвое первых и последующих лет вегетации (рис. 1 и 2).

Содержание Хл б также максимально в хвое 3-4 годов вегетации обоих изученных видов. Однако в начале вегетации и в осенние месяцы (сентябрь — ноябрь) содержание дополнительного фотосинтетического пигмента в хвое 4-го года деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* несколько ниже, чем в хвое 3-го года. Возможно, это связано с разрушением фонда Хл б в более поздней хвое в период окончания вегетационного периода (рис.3 и 4).

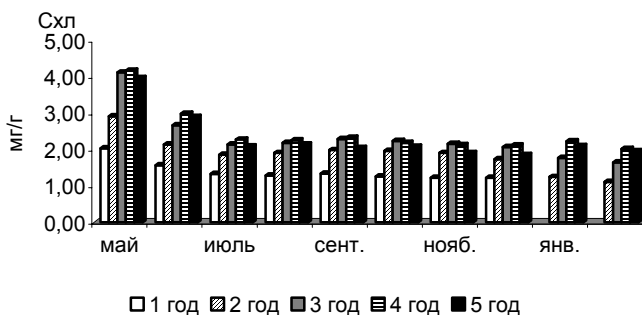


Рис.1 Содержание Хл а в хвое деревьев *Abies sibirica* в ходе сезонной динамики

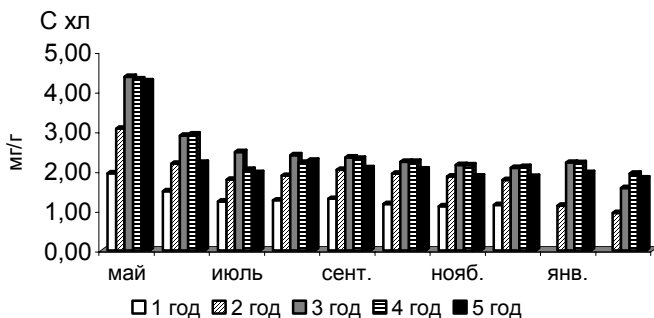


Рис.2 Содержание Хл а в хвое деревьев *Picea abies* в ходе сезонной динамики

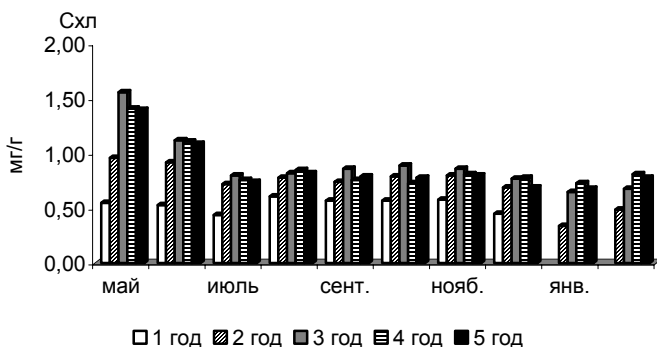


Рис.3 Содержание Хл б в хвое деревьев *Abies sibirica* в ходе сезонной динамики

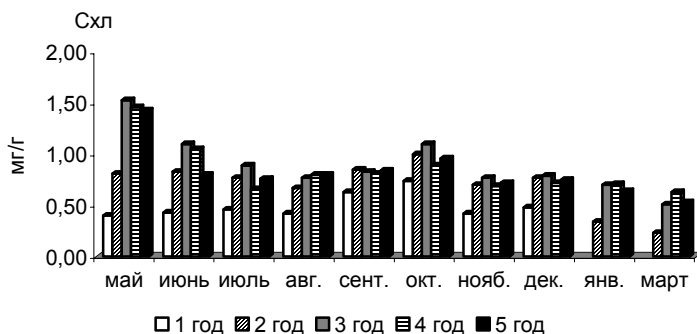


Рис.4 Содержание Хл б в хвое деревьев *Picea abies* в ходе сезонной динамики

Характер накопления зеленых пигментов в хвое разного возраста растений подростка и деревьев изученных видов хвойных в ходе сезонной динамики практически аналогичен.

Однако в хвое 5-го года вегетации растений подростка *Abies sibirica* и *Picea abies* содержание хлорофиллов а и в остается на достаточно высоком уровне в отличие от соответствующей хвои деревьев, в которой содержание хлорофиллов снижается и ее можно отнести к старовозрастной.

Следовательно, хвоя 5-го года вегетации растений подростка *Abies sibirica* и *Picea abies*, наряду с хвоей 3 и 4-го годов, вносит основной вклад в фотосинтетическую активность. Содержание хлорофиллов а и в в хвое разных лет вегетации представлено на примере растений подростка *Abies sibirica* на рисунке 5.

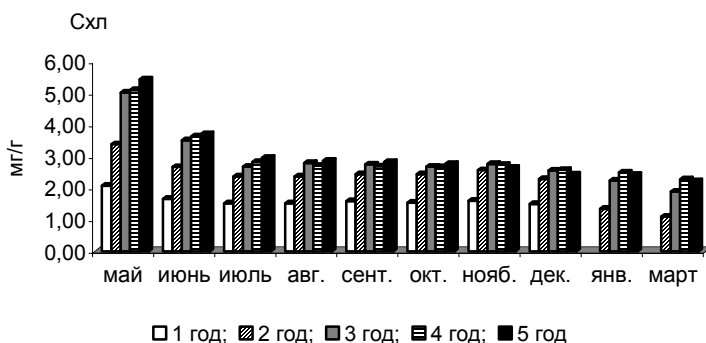


Рис.5 Содержание Хл а + Хл б в хвое разных лет вегетации растений подростка *Abies sibirica* в ходе сезонной динамики

3.1.2 Сезонная динамика изменения содержания хлорофиллов в хвое деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*

Значительные изменения в динамике содержания хлорофиллов в хвое взрослых деревьев и растений подростка *Abies sibirica* и *Picea abies* отмечаются в течение всего года. Весной в период вегетативного роста (май месяц) наблюдается относительно высокое содержание пигментов. Летом (июнь - август) в период интенсивного прироста хвои и начала репродуктивного роста побегов общее количество хлорофиллов уменьшается. Осенью (сентябрь - ноябрь) синтез и накопление зеленых пигментов в хвое продолжается, а в молодой хвое

(1-2 года вегетации) даже усиливается. В зимний период (декабрь - январь) отмечено снижение общей суммы хлорофиллов в хвое разных лет вегетации. Снижение общего содержания зеленых пигментов в осенне-зимний период, возможно, объясняется относительным периодом покоя и замедлением фотосинтетической активности в конце сезона вегетации.

Характер зависимости содержания зеленых пигментов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* от года ее вегетации описывается уравнением:

$$Y = a \cdot X^b \cdot \exp(-c \cdot X) + m \quad (1)$$

где Y – содержание хлорофилла а или б; мг/г ($C_{Xл}$);

X – возраст хвои (А).

Графическое изображение зависимостей содержания $Xл а$ (рис. 6), и $Xл б$ (рис. 7) от возраста хвои приведено на примере деревьев *Abies sibirica*.

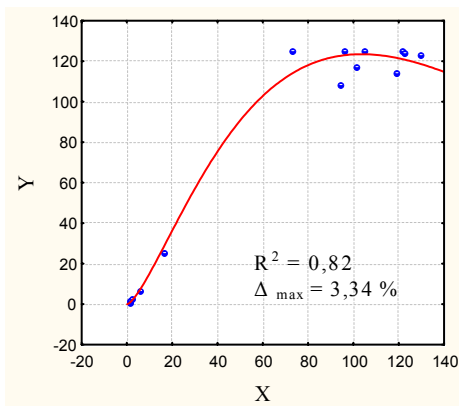


Рис.6 Изменение содержания $Xл а$ в хвое деревьев *Abies sibirica* в ходе возрастной динамики в мае

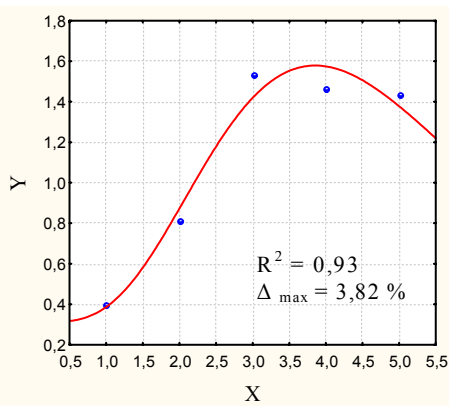


Рис.7 Изменение содержания $Xл б$ в хвое деревьев *Abies sibirica* в ходе возрастной динамики в мае

Коэффициенты приведенной математической модели (1), описывающей изменение содержания $Xл а$ и $Xл б$ в ходе возрастной динамики хвои деревьев *Abies sibirica* в разные периоды вегетации, а также максимальные значения относительной погрешности (Δ_{max} , %) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры уравнения зависимости содержания Хл а и Хл b в хвое деревьев *Abies sibirica* от возраста хвои в ходе сезонной динамики

Период	Параметр	Коэффициенты			$\Delta_{\max, \%}$
		a	b	c	
Весенний	$C_{Хл\ a}$	0,870	3,361	0,861	4,14
	$C_{Хл\ b}$	0,249	4,660	1,209	3,82
Летний	$C_{Хл\ a}$	0,422	5,686	1,701	1,12
	$C_{Хл\ b}$	0,472	2,376	0,735	0,57
Осенний	$C_{Хл\ a}$	1,76	1,871	0,558	8,34
	$C_{Хл\ b}$	16,56	0,032	0,102	2,98
Зимний	$C_{Хл\ a}$	55,811	0,041	0,014	3,55
	$C_{Хл\ b}$	16,821	0,479	0,016	5,71

3.1.3 Содержание Хл а и Хл b в хвое деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* в зависимости от яруса хвои

Интенсивность света в разных частях кроны дерева различна и содержание зеленых пигментов в хвое изменяется. Распределение хлорофиллов в хвое разных профилей кроны представлено на примере деревьев *Abies sibirica* (рис. 8). Содержание хлорофиллов в хвое нижнего яруса изученных видов деревьев выше, чем в хвое верхнего яруса.

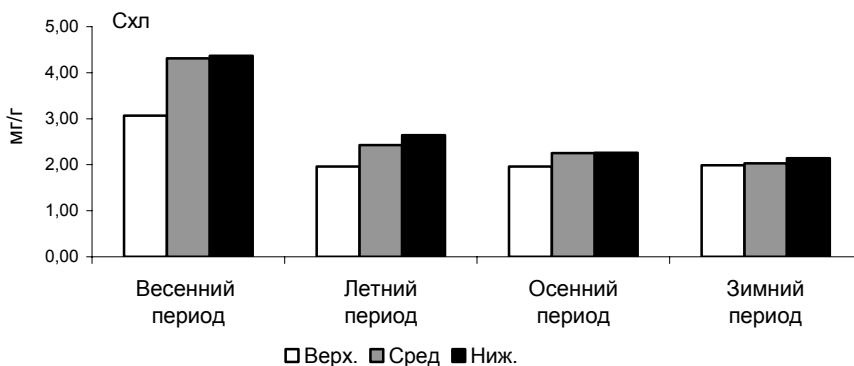


Рис. 8 Содержание Хл а + Хл b в хвое разных лет вегетации деревьев *Abies sibirica* в зависимости от яруса хвои в ходе сезонной динамики

Увеличение содержания Хл а и Хл b в хвое различных лет вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* в средних и нижних частях кроны, по-видимому, объясняется адаптацией

фотосинтетического аппарата хвои, направленной на максимальную аккумуляцию энергии света при достаточно низкой освещенности в древесном ярусе елово-пихтовых фитоценозов.

Полученные результаты, имеют практическую ценность. Для решения вопросов экологического состояния изученных видов растений следует отбирать и исследовать хвою 3-4 года вегетации из нижней части кроны взрослых деревьев.

3.2 Общая характеристика закономерностей распределения микроэлементов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*

3.2.1 Содержание микроэлементов в хвое разных лет вегетации деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики.

При рассмотрении характера накопления микроэлементов в процессе вегетации хвои изученных растений выявлен ряд закономерностей.

Абсолютное содержание микроэлементов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* различается на несколько порядков (рис. 9).

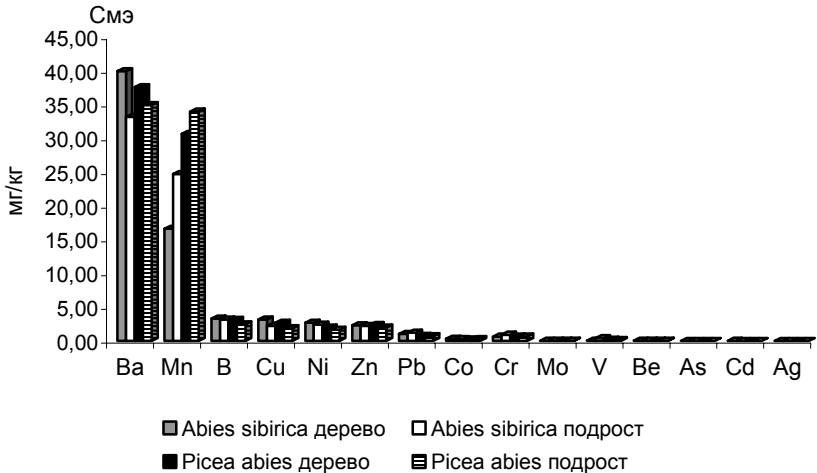


Рис.9 Абсолютное среднее содержание микроэлементов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*

По количественному содержанию в хвое следует различать:

- микроэлементы с высоким средним содержанием в хвое (содержание более 8 - 10 мг/кг) – Ва, Мп. Данные химические элементы являются макроэлементами почв, высокое содержание которых, по-видимому, связано с почвенно-химическими условиями произрастания изученных видов растений;
- микроэлементы со средним содержанием (0,1 – 8,0, в большинстве случаев - 0,5 - 5 мг/кг) – Ni, Zn, В, Cu, Со, Cr, Мо, Pb;
- микроэлементы с низким следовым содержанием (менее 0,1 мг/кг) – V, Ag, Be, Cd, As.

Для сопоставления сезонной динамики содержания различных микроэлементов, абсолютное количество которых, как было отмечено, может отличаться на несколько порядков, проведено их нормирование. Для этого абсолютное содержание каждого микроэлемента отнесено к его значению в начальный период вегетации.

По характеру изменчивости относительного содержания в хвое 1 – 5-го годов вегетации деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* исследуемые микроэлементы делятся на 2 группы. К первой из них относятся Ва, Мп, Zn, В, Cu, Со, Ni, Cr, Pb, Мо, относительное содержание которых имеет четко выраженный максимум в пике вегетации (июль). Вторая группа включает Ag, V, Be, Cd, As, для которых характерен минимум относительного содержания в тот же период. Возможно, это связано с различной физиологической значимостью выделенных групп элементов.

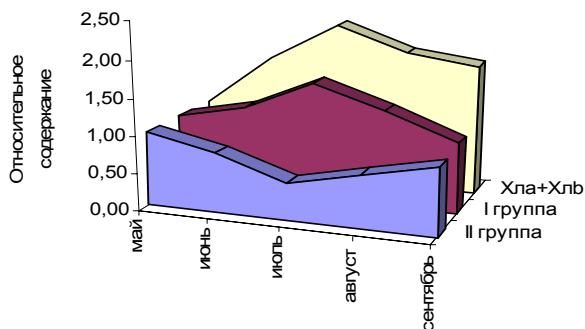


Рис. 10 Характер распределения микроэлементов 1 – 2 групп и хлорофиллов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики

На рисунке 10 представлен характер распределения микроэлементов 1 – 2 групп и хлорофиллов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики

Предлагаемое деление на основе динамики относительного содержания свидетельствует об эволюционной отработанности накопления микроэлементов фотосинтезирующими органами хвойных в зависимости от их физиологической роли.

3.2.1 Взаимосвязь между содержанием фотосинтетических пигментов и микроэлементов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*

С целью сопоставления характера распределения хлорофиллов в хвое деревьев и растений подроста обоих видов и микроэлементного состава проведен корреляционный анализ (табл. 2).

Как следует из данных таблицы 2, накопление хлорофиллов наиболее тесно связано с содержанием таких микроэлементов, как Cu, Zn, Co, Mo, Mn, B.

Таблица 2 Коэффициенты корреляции среднего содержания хлорофиллов ($C_{Хл}$) и микроэлементов ($C_{МЭ}$) в хвое деревьев растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*

$C_{Хл}$	$C_{МЭ}$							
	Zn	Co	Mn	Cu	Be	Ba	Mo	B
Деревья <i>Abies sibirica</i>								
$C_{Хл} a$	0,77	0,63	0,61	0,91	0,47	0,33	0,80	0,61
$C_{Хл} b$	0,62	0,62	0,88	0,89	0,45	0,27	0,68	0,65
Деревья <i>Picea abies</i>								
$C_{Хл} a$	0,83	0,66	0,86	0,97	0,34	0,19	0,86	0,59
$C_{Хл} b$	0,77	0,61	0,92	0,81	0,42	0,21	0,77	0,64
Подрост <i>Abies sibirica</i>								
$C_{Хл} a$	0,79	0,67	0,76	0,92	0,39	0,31	0,64	0,74
$C_{Хл} b$	0,81	0,73	0,83	0,96	0,37	0,27	0,84	0,79
Подрост <i>Picea abies</i>								
$C_{Хл} a$	0,69	0,69	0,77	0,87	0,19	0,24	0,91	0,81
$C_{Хл} b$	0,74	0,72	0,84	0,89	0,31	0,21	0,87	0,84

Характер сезонной динамики относительного содержания микроэлементов в хвое исследуемых растений объясняется изменением уровня содержания хлорофиллов, отвечающего потребностям

фотосинтеза. Это вытекает из симбатности изменения содержания хлорофиллов и микроэлементов 1-ой группы в ходе вегетации. Для элементов 2-ой группы, характерна антибатная зависимость, которая может быть связана с оттоком или накоплением данных микроэлементов в процессе роста и развития древесного растения (рис.10).

Максимальные значения коэффициентов корреляции $R=0,87—0,97$ отмечены для микроэлемента Cu.

Известно, что обеспеченность растений Cu определяет его регулирующее действие на процесс накопления таких микроэлементов, как Zn, Mn и B, непосредственно влияющих на ряд фотосинтетических процессов.

На основе полученных экспериментальных данных для хвои разных лет вегетации зависимость относительного содержания хлорофиллов а и b от содержания микроэлементов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* описывается уравнением (1), где Y – общее относительное содержание хлорофиллов ($C_{Хл\ a+Хл\ b}$); X – относительное содержание микроэлементов ($C_{МЭ}$).

Графическое изображение приведенной зависимости на примере изменения относительного содержания $X_{л\ a} + X_{л\ b}$ в хвое деревьев *Abies sibirica* от относительного содержания микроэлемента Cu, представлено на рисунке 11

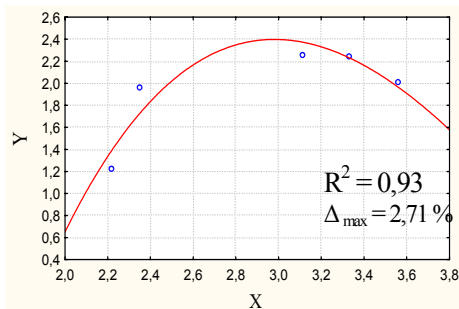


Рис.11 Изменение относительного содержания хлорофиллов в хвое деревьев *Abies sibirica* в зависимости от относительного содержания микроэлемента Cu

Значения коэффициентов уравнения (1), описывающего характер изменения содержания $X_{л\ a}$ и $X_{л\ b}$ в зависимости от содержания микроэлемента Cu в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*, а также максимальные значения относительной погрешности (Δ_{max} , %) представлены в таблице 3.

Доверительная вероятность 100 — $|\Delta_{\max}, \%$ | статистических моделей, довольно высока, что позволяет их использовать для описания динамики оптимальных соотношений между содержанием хлорофиллов и микроэлементов в хвое растений *Abies sibirica* и *Picea abies*.

Таблица 3 Параметры уравнения описывающего характер изменения содержания Хл а и Хл б в зависимости от содержания микроэлемента Си

Растение	Параметр	Коэффициенты			$\Delta_{\max}, \%$
		a	b	c	
Деревья <i>Abies sibirica</i>	$C_{Хл\ a}$	0,686	1,309	0,439	2,18
	$C_{Хл\ b}$	0,170	4,707	1,322	1,77
Деревья <i>Picea abies</i>	$C_{Хл\ a}$	0,567	2,432	0,786	3,17
	$C_{Хл\ b}$	0,785	1,587	1,212	4,41
Подрост <i>Abies sibirica</i>	$C_{Хл\ a}$	0,871	3,451	2,671	0,79
	$C_{Хл\ b}$	0,440	2,479	0,965	0,96
Подрост <i>Picea abies</i>	$C_{Хл\ a}$	0,736	2,761	0,431	4,76
	$C_{Хл\ b}$	1,156	1,349	0,341	2,47

Аналогичные математические модели получены и для других химических элементов (Zn, Mn, Mo, Co, B), что свидетельствует о физиологической значимости этих микроэлементов в процессе фотосинтеза.

3.3 Изменение ростовых параметров и оценка продуктивности хвои 1-го года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики

3.3.1 Характеристика роста хвои 1-го года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики

Для решения вопросов о прогнозировании развития лесных экосистем необходимы исследования параметров роста и развития растительного организма, с учетом уровня распределения основных фотосинтетических пигментов.

На рисунках 12 и 13 представлены графики изменения скорости ростовых процессов в формирующейся хвое изученных видов деревьев.

Как следует из представленных графиков, закономерности роста хвои по разным критериям различны. Вначале наблюдается активное удлинение хвои деревьев *Abies sibirica* и деревьев *Picea abies*.

Активное увеличение массы хвои начинается после замедления или остановки относительного роста хвои.

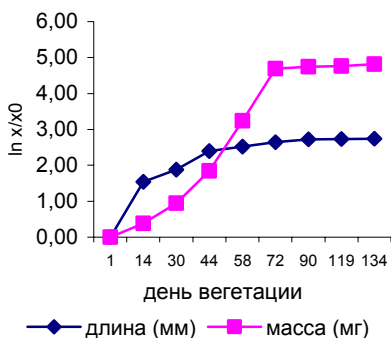


Рис.12 Изменение относительной длины и массы хвои 1-го года в ходе вегетации деревьев *Abies sibirica*

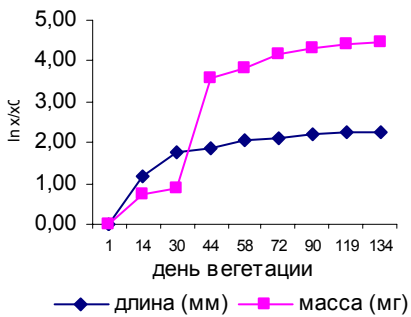


Рис.13 Изменение относительной длины и массы хвои 1-го года в ходе вегетации деревьев *Picea abies*

Однако динамика этого процесса различна для изученных видов хвойных. В целом период увеличения массы хвои для *Picea abies* гораздо меньше, чем для *Abies sibirica* (для *Picea abies* он заканчивается к 44 дню, для *Abies sibirica* – к 72).

Изменение ростовых характеристик хвои приводит к накоплению биомассы, соответственно к увеличению продуктивности как отдельной хвоинки, так и всей хвои кроны древесного растения.

Представляет интерес сравнительный анализ продуктивности 2-х видов хвойных деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*.

Продуктивность (F) определяли как изменение абсолютной массы (M) хвоинки (мкг/сут., абс. сух.) за определенный временной отрезок (t_i).

В таблице 4 представлены данные по оценке продуктивности (F) хвои 1-го года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики.

Как следует из представленных данных, продуктивность хвои *Abies sibirica* в среднем в 1,7 раза выше, чем продуктивность хвои *Picea abies*. Однако активнее начинает накапливать биомассу хвоя деревьев *Picea abies*, в начале вегетации продуктивность данного вида хвойных составляет 3,3 мкг/сут. Подобная закономерность сохраняется лишь до июня месяца.

Таблица 4 Продуктивность хвои 1-го года вегетации *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики (2003 – 2004г.)

Дата отбора	День отбора	Продуктивность, мкг/сут.	
		<i>Abies sibirica</i>	<i>Picea abies</i>
15.05	1	1,4 ± 0,06	3,3 ± 0,14
29.05	14	2,8 ± 0,12	0,6 ± 0,20
13.06	30	11,1 ± 0,47	98,1 ± 4,06
27.06	44	56,4 ± 2,38	26,4 ± 1,09
10.07	58	172,9 ± 10,25	57,1 ± 1,36
24.07	72	13,9 ± 0,58	21,1 ± 0,87
12.08	90	3,4 ± 0,14	14,1 ± 0,58
11.09	119	16,7 ± 0,10	12,7 ± 0,53
14.10	153	5,3 ± 0,22	15,3 ± 0,63
12.03	301	0	0

Хвоя деревьев *Abies sibirica* начинает накапливать биомассу менее интенсивно, но в середине вегетации ее продуктивность составляет 173 мкг/сут. Полученные в эксперименте данные согласуются с результатами исследований других авторов. По уровню продуктивности хвои древесные породы хвойных располагаются в убывающем порядке: виды рода *Abies sp.*, рода *Picea sp.* и рода *Pinis sp.* (Осторошенко, 1997).

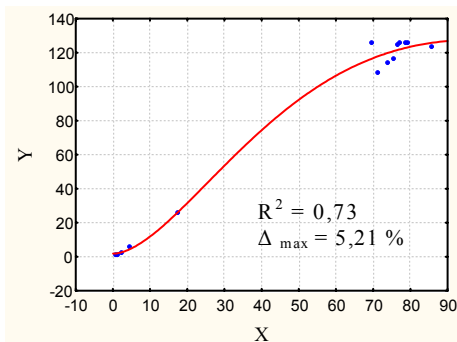


Рис.14 Зависимость изменения относительного содержания Хл а+ Хл б от биомассы хвои 1-го года вегетации деревьев *Abies sibirica*

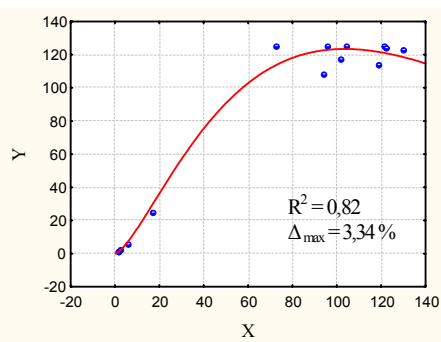


Рис.15 Зависимость изменения относительного содержания Хл а + Хл б от биомассы хвои 1-го года вегетации деревьев *Picea abies*

При исследовании не только морфологической, но и физиологической характеристики продуктивности хвои выявлена зависимость изменения роста хвои и динамики биосинтеза хлорофиллов, описанная уравнением (1),

где Y – относительное общее содержание хлорофиллов ($C_{X_{лa}+X_{лb}}$);

X – относительное изменение массы хвои (индекс роста - I_m).

На рисунках 14-15 представлен характер зависимости индекса роста хвои по массе от относительного содержания хлорофиллов в хвое 1-го года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*.

3.3.2 Взаимосвязь параметров роста хвои и характера распределения микроэлементов в хвое деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*

С целью исследования влияния микроэлементов на процессы роста и развития хвои 1-го года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* проведен корреляционный анализ данных параметров (табл. 5).

Выявлены наиболее тесные связи ($R=0,79—0,92$) между содержанием таких микроэлементов как Zn, В, Mn и увеличением длины хвои. По-видимому, данные микроэлементы накапливаются в период интенсивного увеличения линейных размеров хвои *Abies sibirica* и *Picea abies*.

Содержание микроэлементов Cu, Mo, Mn, В и Co наиболее тесно коррелирует ($R=0,86—0,98$) с увеличением биомассы хвои. Содержание микроэлементов В и Mn коррелирует как с увеличением хвои в длину, так и с накоплением ее массы ($R=0,79 - 0,94$; $R=0,84 - 0,96$ соответственно).

Таблица 5 Коэффициенты корреляции среднего содержания микроэлементов и ростовых характеристик хвои деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*

Параметр	$C_{MЭ}$							
	Zn	Co	Mn	Cu	Be	Va	Mo	B
<i>Деревья Abies sibirica</i>								
Длина (L)	0,84	0,42	0,84	0,65	0,52	0,44	0,61	0,86
Масса (M)	0,52	0,91	0,98	0,94	0,44	0,56	0,84	0,89
<i>Деревья Picea abies</i>								
Длина (L)	0,92	0,56	0,96	0,77	0,41	0,31	0,67	0,79
Масса (M)	0,44	0,87	0,93	0,97	0,38	0,42	0,92	0,94

3.3.3 Оценка потенциальной продуктивности хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*

Для изучения фотосинтетической продуктивности растений используют такие показатели, как хлорофильный индекс, листовой фотосинтетический потенциал, по которым можно оценить продуктивность растения по содержанию хлорофилла, массе листа и его площади (Дорохов, 1957, 1959; Тарчевский, 2001). Для хвойных растений подобные показатели применять довольно сложно в связи с особенностью строения хвои.

В данной работе для характеристики эффективности фотосинтетического процесса в хвое растений и накопления биомассы, предложен показатель «потенциальной» продуктивности (P) хвои:

$$P = m * C_{\text{Хл а+Хл б}}$$

где m – средняя масса хвоинки, мг;

$C_{\text{Хл а+Хл б}}$ – общее содержание хлорофиллов в хвоинке, мг/г

Потенциальная продуктивность хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* значительно выше, чем продуктивность хвои деревьев и растений подроста *Picea abies*.

В хвое 4-го года вегетации растений *Abies sibirica* еще наблюдается увеличение потенциальной продуктивности, а в хвое *Picea abies* уже нет. Деревья *Abies sibirica* растут медленнее, но дольше сохраняют свою физиологическую активность, деревья *Picea abies* растут и развиваются быстрее, но хвоя 4 года вегетации наряду с хвоей 5-го года, является стареющей.

Таблица 6 Потенциальная продуктивность хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*

Год вегетации	<i>Abies sibirica</i>		<i>Picea abies</i>	
	Деревья	Подрост	Деревья	Подрост
1	10,04±0,25	8,37±0,26	7,38±0,22	6,66±0,23
2	13,41±0,33	11,84±0,37	10,32±0,14	8,97±0,31
3	16,64±0,43	15,08±0,47	13,62±0,33	11,89±0,43
4	16,87±0,35	15,39±0,34	13,25±0,36	11,56±0,41
5	16,28±0,36	15,34±0,31	12,32±0,43	11,45±0,32

Исследование потенциальной продуктивности хвои дерева, позволяет не только решать вопросы прогнозирования продукционного процесса всего древесного организма, но и осуществлять мониторинг за развитием растения в период его формирования.

Таким образом, на основе данных экспериментального исследования комплекса эколого-физиологических параметров хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в возрастной и сезонной динамике найдена модель их «нормального» функционирования в виде математического уравнения одного вида:

$$Y=a*X^b*\exp(-c*X)+m.$$

Модель описывает закономерности изменения содержания хлорофиллов (Y) от динамики ростовых процессов, возраста и микроэлементного состава хвои (X) деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*.

Полученные результаты подтверждают информативность исследуемых эколого-физиологических параметров хвои и могут служить основой при оценке экологического состояния и продуктивности хвойных деревьев.

ВЫВОДЫ

1. На основе экспериментальных данных о содержании фотосинтетических пигментов выявлен общий характер распределения и соотношения хлорофиллов в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*. Хвоя 3 – 4-го годов вегетации из «нижнего» яруса кроны взрослых деревьев характеризуется наибольшим содержанием и стабильностью соотношений Хл а и Хл б в сезонной динамике (интервалы значений Хл а - 2,26±0,05 – 2,92±0,04; 2,13±0,02 – 2,74±0,03 и Хл б - 0,63±0,02 – 1,12±0,02; 0,58±0,02 – 0,98±0,04 мг/г; соответственно) и рекомендуется как индикаторный орган для целей мониторинга.
2. По характеру изменения относительного содержания в хвое 1 – 5-го годов вегетации деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики исследуемые микроэлементы подразделяются на 2 группы: Ва, Мп, Zn, В, Сu, Со, Сг, Рb, Мо, относительное содержание которых имеет четко выраженный максимум в пике вегетации (июль); Ni, V, Ag, Be, Cd, As – относительное содержание которых минимально в тот же период. Это объясняется различной физиологической значимостью выделенных групп элементов и эволюционной

- отработанностью накопления микроэлементов фотосинтезирующими органами хвойных.
3. Характер сезонной динамики относительного содержания микроэлементов в хвое исследуемых растений объясняется изменением уровня содержания хлорофиллов, отвечающего потребностям фотосинтеза. Это вытекает из симбатности изменения содержания хлорофиллов и микроэлементов 1-ой группы в ходе вегетации. Для элементов 2-ой группы, характерна антибатная зависимость, которая может быть связана с оттоком или накоплением данных микроэлементов в процессе роста и развития древесного растения.
 4. По результатам исследования параметров роста (массы и длины) хвои 1-го года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* выявлены общие закономерности. В начальный период наблюдается рост хвоинок в длину, и только затем увеличение их массы. Для деревьев *Picea abies* увеличение массы хвои происходит быстрее, но в более короткий срок, для *Abies sibirica* — более длительно, но с меньшей скоростью. Показано, что продуктивность хвои деревьев *Abies sibirica* превышает характерную для деревьев *Picea abies*.
 5. На основе экспериментальных данных о совместной динамике массы хвои и общего количества хлорофиллов в ней на примере видов *Abies sibirica* и *Picea abies* предложен способ оценки потенциальной продуктивности хвойных деревьев. С использованием предложенного способа установлено, что хвоя 3 – 4-го годов вегетации вносит наибольший вклад в продуктивность фотосинтезирующих органов древесного растения.
 6. Впервые на основе данных экспериментального исследования эколого-физиологических параметров хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies*, произрастающих на фоновых территориях РМЭ, предложена модель их «нормального» функционирования в виде математического уравнения одного вида: $Y=a*X^b*\exp(-c*X)+m$, описывающего закономерности изменения содержания хлорофиллов (Y) от динамики ростовых процессов, возраста и микроэлементного состава хвои (X) исследованных видов растений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Силкина, О.В. Изучение содержания хлорофиллов а и b в хвое Ели обыкновенной (*Picea abies*) и Пихты сибирской (*Abies sibirica*) [Текст] / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова // Рациональное лесопользование и защита лесов в Среднем Поволжье. – Материалы научно-практической конференции. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – С. 106-110.
2. Силкина, О.В. Количественный состав хлорофиллов в формирующейся хвое Пихты сибирской (*Abies sibirica*) [Текст] / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова // Седьмые Вавиловские чтения. – Материалы постоянно действующей Всероссийской междисциплинарной научной конференции. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – Ч. 2. – С. 192-195.
3. Силкина, О.В. Содержание хлорофиллов в формирующейся хвое Ели обыкновенной (*Picea abies*) [Текст] / О.В. Силкина, Н.Д. Акмолина // Материалы Всероссийской заочной научно-практической студенческой конф. «Химия и лес». – Йошкар-Ола, 2004. – С. 16-19.
4. Силкина, О.В. Изучение метаболизма пигментов в динамике накопления кобальта в хвое Пихты сибирской (*Abies sibirica*) [Текст] / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова // Восьмые Вавиловские чтения. – Материалы постоянно действующей Всероссийской междисциплинарной научн. конф. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – Ч. 2. – С. 152-154.
5. Силкина, О.В. Характеристика фотосинтетической активности и микроэлементного состава формирующейся хвои Пихты сибирской (*Abies sibirica*) в процессе вегетации. [Текст] / О.В. Силкина, Е.А. Богатырева, Р.И. Винокурова // Материалы Всероссийской заочной науч.-практ. студ. конференции «Химия и лес». – Йошкар-Ола, 2005. – С. 59-63.
6. Силкина, О.В. Сравнительный анализ микроэлементного состава в хвое деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в течение вегетационного сезона. [Текст] / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова // Девятые Вавиловские чтения. – Материалы постоянно действующей Всероссийской междисциплинарной науч. конф. с международным участием. – Москва-Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – С. 86-87.
7. Силкина, О.В. Оценка эколого-физиологических параметров хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* в сезонной

динамике Текст] /О.В. Силкина, Р.И. Винокурова, А.И. Винокуров, В.З. Латыпова // Вестник ТО РЭА. – Казань, 2006. № 1 (27) – С. 33-38.

8. Силкина, О.В. Эколого-физиологическое состояние формирующейся хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* [Текст] / О.В. Силкина, Р.И. Винокурова, А.И. Винокуров, В.З. Латыпова // Вестник Северо-Кавказского гос. тех. университета – Ставрополь, 2006. № 2 – С. 46-51.

Просим принять участие в работе Диссертационного Совета Д 212.081.19 или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, подписанный и заверенный печатью учреждения, по адресу

**420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ (ученому секретарю), отдел аспирантуры,
Тел/факс (843) 238-76-01.**

Подписано в печать 21.02.06.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. п. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 3238.

Редакционно-издательский центр
Марийского государственного технического университета
424006 Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17