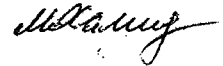


На правах рукописи



Хамидуллина Марина Ильдаровна

**ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ БЕРЕЗНЯКОВ ЗАУРАЛЯ
НА ВСПЫШКИ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ
НЕПАРНОГО ШЕЛКОПРЯДА (*LYMANTRIA DISPAR* L.)
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

06.03.02 — Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
биологических наук

Екатеринбург — 2013

A-1726

Работа выполнена в лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук»

Научный руководитель: Колтунов Евгений Владимирович,
доктор биологических наук, профессор

Официальные оппоненты: Усольцев Владимир Андреевич,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, ФГБОУ ВПО «Уральский
государственный лесотехнический уни-
верситет»

Завьялов Константин Евгеньевич,
кандидат сельскохозяйственных наук,
научный сотрудник, ФГБУН «Ботани-
ческий сад Уральского отделения Рос-
сийской академии наук»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Оренбургский государ-
ственный аграрный университет»

Защита состоится 28 февраля 2013 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан « 18 » января 2013 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Бачурина Анна Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние десятилетия уровень антропогенного воздействия на лесные биогеоценозы постоянно возрастает, что сопровождается снижением их устойчивости, в том числе к вспышкам массового размножения насекомых-филлофагов, которые наносят существенный экологический и экономический ущерб лесному хозяйству. Как правило, вспышки массового размножения насекомых-филлофагов часто связаны с засушливыми условиями и сопровождаются сильной дефолиацией крон деревьев. Вместе с тем особенности реакции древостоев на фактор абиотического стресса (засухи) и дефолиацию, а также закономерности развития очагов массового размножения насекомых-филлофагов в условиях техногенного воздействия изучены недостаточно. Поэтому исследование этих проблем представляется особенно важным как для популяционной экологии, так и для лесного хозяйства.

Степень разработанности проблемы. Несмотря на большое количество работ, посвящённых изучению реакции берёзовых древостоев на дефолиацию, в условиях техногенного загрязнения эта проблема остается малоизученной. Не исследованы, также, особенности реакции древостоев на абиотический стресс (засуху), взаимосвязь уровня реакции с энтоморезистентностью и особенности миграции и аккумуляции тяжёлых металлов в системе: «почва — берёза — непарный шелкопряд».

Цель исследования. Изучить особенности реакции древостоев на фактор абиотического стресса и дефолиацию, а, также, взаимосвязь её с параметрами резистентности древостоя и особенности динамики очагов в берёзовых лесах Зауралья в условиях техногенного загрязнения.

Задачи исследования:

1. Исследовать особенности реакции древостоев берёзы повислой на фактор абиотического стресса (весенне-летние засухи) и дефолиацию и взаимосвязь её с параметрами энтоморезистентности древостоев в условиях техногенного воздействия.

2. Изучить особенности многолетней динамики радиального прироста берёзы повислой в лесах, периодически дефолируемых непарным шелкопрядом в условиях техногенного воздействия.

3. Изучить уровень техногенного загрязнения березняков тяжёлыми металлами в очагах массового размножения непарного шелкопряда и особенности миграции и аккумуляции тяжёлых металлов в системе: почва — дерево — насекомые.

Научная новизна результатов исследований.

Впервые изучены особенности реакции берёзы повислой на фактор абиотического стресса (засуху) и дефолиацию в лесах Зауралья, нарушенных техногенным воздействием, и выявлена тесная взаимосвязь уровня реакции в зависимости от энтоморезистентности берёзы повислой. Установлено, что количественный уровень снижения годичного радиального прироста при воздействии засухи адекватно отражает уровень снижения энтоморезистентности берёзы.

Впервые изучено воздействие весенних низовых пожаров на отрождаемость гусениц непарного шелкопряда в берёзовых лесах Свердловской области. Как показали результаты, уровень отрицательного воздействия пирогенного

фактора обусловлен временем (до или после отрождения гусениц из кладок) и интенсивностью воздействия. В целом показано, что в условиях воздействия пожаров до отрождения непарного шелкопряда этот фактор оказывает значительное влияние на снижение численности популяции.

Впервые исследован уровень загрязнения тяжёлыми металлами почвы и листьев берёзы повислой в очагах массового размножения непарного шелкопряда в Каменск-Уральском районе Свердловской области. Впервые подсчитан коэффициент биологического поглощения (КБП) тяжёлых металлов имаго непарного шелкопряда зауральской популяции и установлено, что механизм клеточной защиты функционирует избирательно. Более интенсивно происходит биоаккумуляция тяжёлых металлов биогенного происхождения.

Детально проанализированы особенности развития очагов непарного шелкопряда и степень их пространственной синхронизации с предыдущей вспышкой массового размножения этого фитофага в лесах, нарушенных техногенным воздействием. Установлено, что в условиях воздействия умеренных засух пространственная структура очагов непарного шелкопряда имеет устойчивый характер. При реализации особенно интенсивных вспышек массового размножения непарного шелкопряда верхняя граница очагов продвигается севернее.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установленная взаимосвязь между уровнем реакции древостоев на фактор абиотического стресса (засухи) и параметрами энтоморезистентности древостоев позволит более точно прогнозировать площади очагов и ожидаемые последствия дефолиации и в зависимости от этого, принимать более обоснованные решения о необходимости проведения мероприятий по лесозащите и снизить ущерб лесному хозяйству от вспышек массового размножения. Результаты исследований по особенностям развития очагов могут использоваться при проведении лесопатологического мониторинга. Результаты работы могут использоваться в сравнительном аспекте, при изучении экологических особенностей популяций непарного шелкопряда и других вспышечных видов насекомых. Данные по содержанию тяжёлых металлов в почвах, листьях берёзы повислой и имаго непарного шелкопряда могут быть использованы при оценке уровня техногенного загрязнения лесных биогеоценозов.

Методология и методы исследования. Исследования проводили в очагах массового размножения непарного шелкопряда в березняках разнотравных Каменск-Уральского района Свердловской области. Согласно классификации Б.П. Колесникова район исследования входит в подзону северной лесостепи Зауралья (Колесников, Зубарева, Смолоногов, 1973). Основные породы – берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) и берёза пушистая (*Betula pubescens* Roth.). Особенности берёзовых лесов Каменск-Уральского района являются отсутствие подроста, значительный процент деревьев порослевого происхождения, вырубка леса, высокая рекреационная и пастбищная дигрессия (III—IV стадии антропогенной трансформации), техногенное загрязнение, что свидетельствует об интенсивном антропогенном воздействии на лесные биоценозы (Колтунов, Пономарёв, Федоренко, 1991).

Основным объектом исследования были берёзовые леса в очагах массового размножения непарного шелкопряда и зауральская популяция этого фитофага в северной части ареала (Свердловская область). Сборы материала проводили с 2004 по 2012 гг. Площадь исследований составила около 200 км².

Для изучения динамики годичного радиального прироста берёзы повислой в очагах массового размножения непарного шелкопряда отбирали керны природным буровым по общепринятой методике. Обработка кернов производилась с помощью бинокуляра МБС-10, точность измерений 0,05 мм. Общее количество кернов берёзы повислой составило 160 шт..

Для определения уровня техногенного загрязнения лесных биогеоценозов тяжёлыми металлами были взяты пробы почв, листьев берёзы повислой и имаго непарного шелкопряда в очагах массового размножения. В каждом очаге было взято и проанализировано 10 почвенных проб, 10 растительных проб и отобрано 30 экземпляров имаго для каждой пробы. Содержание тяжёлых металлов в пробах определяли с помощью атомно-абсорбционного анализа. Интенсивность биологического поглощения тяжёлых металлов мы оценивали при помощи подсчета КБП, представляющего собой отношение содержания химического элемента в золе растений к его содержанию в почве, на которой произрастает данное растение (Перельман, 1975). КБП тяжёлых металлов в имаго непарного шелкопряда определяли по отношению содержания металла в тканях насекомых к его содержанию в кормовом субстрате (растении) (Никаноров, Жулидов, Емец, 1993; Савушкина, 2006).

Учет количества кладок непарного шелкопряда проводили общепринятым визуальным методом (Ильинский, Тропин, 1965; Воронцов, 1978). На каждом учетном пункте осматривалось не менее 400 деревьев (Рекомендации по надзору за непарным шелкопрядом, 1982).

Для изучения пространственной структуры очагов непарного шелкопряда использовались методы маршрутных исследований с закладкой постоянных (ППП) и временных пробных площадей (ВПП) общепринятыми методами. Всего было заложено 10 ППП и 20 ВПП. На пробных площадях проводился анализ таксационных параметров древостоя (Анучин, 1971).

В лабораторных условиях анализировалась отрождаемость гусениц из яиц и количество яиц в кладке. Процент отрождения гусениц непарного шелкопряда из кладок определяли двумя способами: по количеству отродившихся гусениц и по остаткам хорионов. Оба способа подсчета дали сходные результаты. Всего за период исследований было взято и проанализировано 200 кладок непарного шелкопряда.

Положения, выносимые на защиту:

1. Абиотический стресс (засухи) является одним из ключевых факторов реализации вспышки массового размножения непарного шелкопряда и других видов насекомых с высоким биотическим потенциалом. Уровень реакции берёзы повислой на этот фактор тесно взаимосвязан с уровнем энтоморезистентности древостоев.

2. Вследствие адаптации популяции реализация вспышек массового размножения зауральской популяции непарного шелкопряда в северной части арса-

ла возможна в условиях незначительных по интенсивности и продолжительности весенне-летних засух. Но площадь очагов при этом невелика.

3. Уровень реакции берёзы на фактор абиотического стресса (засухи) и параметры ВЧ-составляющей радиального прироста могут быть использованы для прогнозирования ожидаемого уровня энтоморезистентности и степени дефолиации древостоев в очагах массового размножения непарного шелкопряда, картирования берёзовых лесов по степени устойчивости к дефолиации и ожидаемой площади очагов с сильной дефолиацией крон древостоев.

Степень достоверности результатов обеспечивается значительной теоретической и экспериментальной базой исследований отечественных и зарубежных авторов по изучаемой проблеме; проведением большого объёма экспериментов, соответствующих цели и задачам исследования, с использованием общепринятых методов. Достоверность экспериментальных данных подтверждается результатами статистической обработки, выполненной с помощью программы Statistica 6.0. Для выявления достоверности различий использовали F-критерий Фишера.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на Всероссийской конференции «Проблемы биологической науки и образования в педагогических вузах» (Новосибирск, 2005); Международной научной конференции «Биоразнообразие и роль зооценоза в естественных и антропогенных экосистемах» (Днепропетровск, 2005); международной научно-технической конференции «Лес—2006» (Брянск, 2006); Всероссийской конференции молодых учёных «Экология в меняющемся мире» (Екатеринбург, 2006); Международной молодежной научной конференции «Окружающая среда—XXI» (Днепропетровск, 2006); международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса» (Брянск, 2006, 2007); Всероссийской конференции молодых учёных «Экология: от Арктики до Антарктики» (Екатеринбург, 2007); международной научной конференции «Биоразнообразие и роль животных в экосистемах» (Днепропетровск, 2007); Всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы: проблемы и решения» (Красноярск, 2007); Всероссийской научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Пушино, 2008); Всероссийской конференции молодых учёных «Биосфера Земли: прошлое, настоящее и будущее» (Екатеринбург, 2008); Международной научно-практической интернет-конференции «Актуальные вопросы энтомологии» (Ставрополь, 2009); на семинарах Лесного отдела Ботанического сада УрО РАН.

Личный вклад автора. Сбор полевого материала, проведение лабораторных исследований, анализ и обобщение полученных результатов выполнены лично автором.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. В каждой главе представлен обзор литературных данных, характеризующий состояние изучаемой проблемы. Работа изложена на 121 странице, содержит 13 таблиц, 25 рисунков. Список литературы включает 286 источников, в том числе 110 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д.б.н., проф. Е.В. Колтунову, сотрудникам лаборатории экологии техногенных растительных сообществ ФГБУН «Ботанического сада УрО РАН» за помощь при определении содержания тяжёлых металлов в исследуемых образцах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОЧАГОВ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ НЕПАРНОГО ШЕЛКОПРЯДА В БЕРЕЗНЯКАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Вспышки массового размножения непарного шелкопряда в Свердловской области известны с 50-х годов XX века (Распопов, 1970). Так, первая вспышка массового размножения этого фитофага наблюдалась с 1954 до 1970 года, следующая возникла только в 1984 году и затухла в 1986 году (Колтунов, 1993). Последняя вспышка массового размножения непарного шелкопряда наблюдалась в 2004—2007 гг. (Колтунов, Хамидуллина, 2005, 2009). Кроме того, локальный подъём численности непарного шелкопряда также отмечался в 2009 году. В целом, периодичность вспышек массового размножения непарного шелкопряда в лесах Свердловской области составляет 20 лет (Колтунов, 2006). Как правило, площадь очагов непарного шелкопряда в Свердловской области не превышает 3,5 тыс. га (Колтунов, 2006). Известно, что популяция непарного шелкопряда обитает только в южной и юго-восточной части Свердловской области (Колтунов, 1993). Это обусловлено более благоприятными климатическими условиями (Колтунов, 2006).

Как показали результаты, в 2004—2005 гг. наблюдался резкий подъём численности популяции непарного шелкопряда и формирование очагов массового размножения (рисунок 1). В целом, условно можно выделить 3 локальных очага непарного шелкопряда, которые отличались наибольшей заселённостью кладками.

Так, первый очаг сформировался в насаждениях вблизи пос. Покровского (очаг «Покровское»). Здесь же отмечается максимальная заселённость древостоев кладками (до 13,5 кладок на дерево). Общая площадь очага достигала 400 га.

Второй локальный очаг сформировался в берёзовых насаждениях возле пос. Кисловское (очаг «Кисловское»). Для этого очага характерна более низкая заселённость древостоев кладками, которая на разных участках составила от 3,7 до 5,3 кладок на дерево. Площадь этого очага также заметно меньше, чем предыдущего (приблизительно 200 га).

Третий локальный очаг сформировался вокруг пос. Клевакинского, где заселённость достигала 6,0 кладок на дерево. Однако весной 2006 года заселённость древостоев кладками в этом очаге заметно снизилась (в среднем до 0,014 кладок на дерево) вследствие воздействия интенсивных пожаров.

Некоторые лесотаксационные особенности берёзовых древостоев, в которых сформировались очаги массового размножения непарного шелкопряда,

представлены в таблице 1. Средний возраст берёзовых насаждений, установленный по кернам, составляет 55—65 лет.

Из данных таблицы 1 следует, что очаги непарного шелкопряда возникли в древостоях со сходными таксационными характеристиками: в чистых берёзовых древостоях или с незначительной примесью сосны, со средним классом бонитета (II), с высокой полнотой (0,7—0,9).

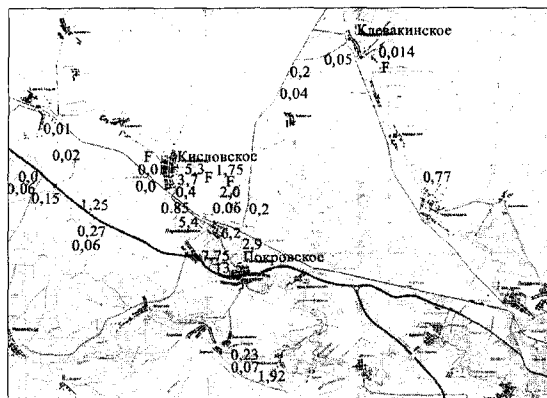


Рисунок 1 — Уровень заселённости древостоев кладками непарного шелкопряда в продромальной фазе вспышки, 2005 год (Каменск-Уральский район, Свердловская обл.)

Примечание — Цифрами обозначено среднее количество кладок непарного шелкопряда; F (fire) — пожар

Таблица 1 — Таксационные показатели берёзовых древостоев в очагах непарного шелкопряда (Каменск-Уральский район, Свердловская область)

Постоянная пробная площадь (ППП)	Таксационные показатели древостоя				
	Состав	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Класс бонитета	Полнота
ППП № 1 Очаг «Покровское»	10Б	22,28	23,39	II	0,8
ППП № 2 Очаг «Покровское»	10Б	27,39	24,74	II	0,7
ППП № 3 Очаг «Кисловское»	10Б+С	22,62	23,56	II	0,9
ППП № 4 Очаг «Клевацинское»	10Б+С	23,34	24,03	II	0,8

Однако отмечаются различия в рельефе в местах формирования очагов. Так, для очага около пос. Покровского характерен равнинный рельеф. Очаг вблизи пос. Кисловского сформировался на повышенных участках рельефа с

пологими склонами (равнинно-волнистый рельеф), около пос. Клевацинское наблюдается повышение рельефа (вдоль р. Каменки). В случаях повышения рельефа наибольшая заселённость древостоев кладками непарного шелкопряда отмечается на южных склонах. Важно отметить, что очаг «Покровское» подвержен в большей степени рекреационной дигрессии, тогда как очаг «Кисловское» — пастбишной дигрессии.

Ранее было установлено, что пространственная структура очагов непарного шелкопряда определяется сочетанием популяционных, фитоценологических, почвенно-эдафических и антропогенных факторов (Колтунов, Пономарёв, Федоренко, 1998). Между тем, одним из ключевых факторов организации пространственной структуры первичных очагов непарного шелкопряда является уровень реакции части ценопопуляции древостоев на абиотический стресс (воздействие весенне-летних засух) (Колтунов, 1993, 1996; Колтунов, Хамидуллина, 2005, 2008; Бахвалов, Колтунов, Мартемьянов, 2010). Детально закономерности реакции на абиотический стресс древостоев берёзы повислой в очагах массового размножения непарного шелкопряда рассмотрены в главе 3.

Однако, несмотря на высокий уровень заселённости берёзовых древостоев кладками непарного шелкопряда в очагах массового размножения, ожидаемой 100% дефолиации летом 2006 года не наблюдалось. Как показали результаты, причинами низкой отрождаемости кладок было их вымерзание и гибель кладок от низовых пожаров (Хамидуллина, 2006). Кроны деревьев были дефолированы, в среднем, на 30% и лишь отдельные деревья на 60—80%.

Кроме того, низовые пожары способствовали снижению заселённости древостоев кладками непарного шелкопряда в очагах массового размножения (очаг «Клевацинское»). Напротив, в насаждениях очага «Покровское», в которых отсутствовал пирогенный фактор, среднее количество кладок в насаждениях увеличилось (в среднем, до 15,6 кладок на дерево). В целом, воздействие пирогенного фактора препятствовало дальнейшему росту площади очагов непарного шелкопряда.

В следующем (2007) году наблюдалось резкое снижение количества кладок в очагах, а также в большинстве насаждений исследуемого района, которое свидетельствует о затухании вспышки массового размножения непарного шелкопряда в берёзовых лесах Свердловской области.

В 2009 году в некоторых насаждениях очага «Покровское» наблюдался повторный рост численности популяции непарного шелкопряда (в среднем, от 6,6 до 27,9 кладок на дерево). Однако площадь насаждений с повышенной заселённостью не достигла прежнего масштаба и составила около 120 га. Напротив, в затухшем очаге «Кисловское» повторного подъема численности популяции непарного шелкопряда не отмечалось. Здесь заселённость древостоев кладками сохраняется на низком уровне (в среднем, 0,46 кладок на дерево). В остальных насаждениях исследуемого района кладки встречались единично. Таким образом, повсеместного роста численности популяции непарного шелкопряда не наблюдалось, тогда как очаг вблизи пос. Покровское приобрел длительно действующий характер (рисунок 2).

Как показали результаты собственных исследований и анализа литературных данных, северная граница очагов массового размножения непарного шелко-

пряда зависит от интенсивности и продолжительности воздействия весенне-летних засух. При умеренных засухах она находится на 30 км севернее г. Каменск-Уральского. В условиях особенно интенсивных засух (1950—1960 гг.) она продвигается к северу до г. Ирбит (Колтунов, 1993).

Сравнительный анализ результатов, полученных нами, с результатами, наблюдаемыми в период предыдущей вспышки (1986—1991 гг.) (Колтунов, 1993) показал, что пространственная структура очагов непарного шелкопряда в северной части ареала имеет устойчивый характер. Следовательно, берёзовые древостой вблизи пос. Покровское, которые отличаются наибольшей интенсивностью очагов, могут быть использованы для мониторинга за популяцией непарного шелкопряда в Свердловской области.

В целом, очаги непарного шелкопряда в берёзовых лесах Каменск-Уральского района сформировались в высокополнотных берёзовых насаждениях, преимущественного порослевого происхождения, без подлеска и подроста, ослабленных неумеренным выпасом скота (очаг «Кисловское») и высокой рекреационной нагрузкой (очаг «Покровское»).

ГЛАВА 2. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БЕРЁЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ С ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКОЙ НЕПАРНОГО ШЕЛКОПРЯДА В ЗАУРАЛЬЕ

2.1 Связь гидротермических условий березняков со вспышками массового размножения непарного шелкопряда

Как известно, каждой вспышке массового размножения непарного шелкопряда в лесах Зауралья предшествовала засуха, и не было ни одной вспышки, без воздействия фактора абиотического стресса (засух) (Распопов, 1973; Соколов, 1983; Колтунов, 2006; Бахвалов, Колтунов, Мартемьянов, 2010). Вместе с тем не каждая засуха сопровождается вспышкой (Воронцов, 1978; Колтунов, 2006). В этой связи особую важность представляет изучение вспышек массового размножения непарного шелкопряда в северной части ареала зауральской популяции (Свердловская область) в нестабильных гидротермических условиях и незначительных по интенсивности засухах.

Анализ гидротермических особенностей реализации вспышек массового размножения непарного шелкопряда в 1954—1968 гг. и в 1984—1987 гг. показал (Колтунов, Хамидуллина, 2005), что на территории Свердловской области, так же, как и на территории Челябинской области, каждой вспышке предшествуют повторные засухи. Однако они не отличались высокой интенсивностью и продолжительностью. Другие различия заключаются в почти полном отсутствии сильных засух в период собственно вспышки и в отсутствии полных повторных засух, по сравнению с гидротермическими условиями Челябинской области (Колтунов, 2006).

Так, в год начала продромальной фазы вспышки (2004 г.) наблюдалась интенсивная весенне-летняя засуха: значения ГТК мая, июня и июля были пониженными и составили соответственно 0,72; 0,43; 0,39 (рисунок 2). Подъём численности популяции в 2005 году происходит на фоне менее интенсивных засух в мае (ГТК = 0,85), в июле (ГТК = 0,83) и в августе (ГТК = 0,625), тогда как ГТК июня несколько выше нормы (1,7). Таким образом, интенсивная весенне-летняя

засуха в 2004 году вместе с умеренной засухой в 2005 году детерминировали резкий рост биотического (вспышечного) потенциала, оказывали влияние на древостой за счет воздействия фактора абиотического стресса и способствовали адаптации популяции к изменению биохимического состава кормового субстрата.

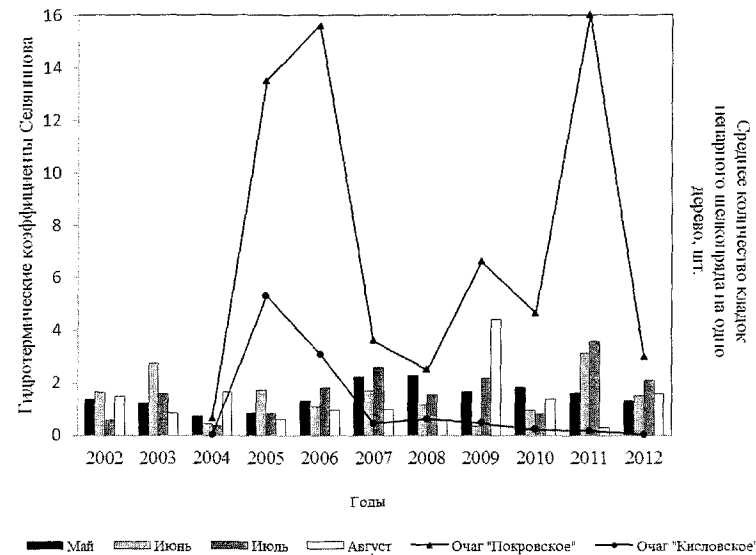


Рисунок 2 — Гидротермические условия мая — августа в Каменск-Уральском районе Свердловской области в различные фазы вспышек массового размножения непарного шелкопряда

На основании результатов исследований можно предполагать, что зауральская популяция непарного шелкопряда в северной части ареала адаптировалась к обитанию в менее благоприятных экологических условиях и к реализации вспышек массового размножения в условиях незначительных по интенсивности и продолжительности весенне-летних засух. Вместе с тем продолжительность, периодичность вспышек и площадь очагов в этих условиях заметно меньше, чем в лесах Челябинской области.

Для исследования особенностей вспышки непарного шелкопряда в лесах Свердловской области нами была изучена динамика некоторых популяционных параметров в очагах массового размножения (таблица 2, таблица 3).

Как видно из таблиц 2 и 3, локальные очаги массового размножения непарного шелкопряда значительно различаются по уровню заселённости древостоев кладками во всех фазах развития вспышки. Наиболее интенсивное формирование очага максимальная заселённость древостоев кладками (рисунок 2, таб-

лица 2) наблюдается в насаждениях вблизи пос. Покровское. Развитие локального очага в насаждениях около пос. Кисловское происходит при более низкой заселённости древостоев кладками (рисунок 2, таблица 3).

Таблица 2 — Популяционные параметры непарного шелкопряда в различные фазы вспышки массового размножения. Очаг «Покровское» (Каменск-Уральский район, Свердловская обл.)

Параметр	Фаза вспышки и год наблюдений								
	Продромальная		Эруптивная	Кризиса (затухания)		Повторный подъем численности популяции			
	2004	2005		2006	2007	2008	2009	2010	2011
Среднее кол-во кладок на дерево, шт. (осенний учёт)	0,64± 0,07	13,5± 2,1	15,6± 4,6	3,6± 0,4	2,5± 0,33	6,6± 0,9	4,64± 0,8	16,16± 5,3	3,0± 0,6
Кол-во яиц в кладке, шт.	418,36± 68,2	452,7± 78,4	397,27± 45,3	384,44± 49,6	416,33± 62,4	332,5± 23,7	330,83± 76,3	350,16± 52,9	—
Отрождаемость гусениц из кладок, % (май следующего года)	93,28± 8,2	17,23± 1,6	52,66± 3,5	37,31± 5,8	86,09± 9,4	36,11± 4,1	80,55± 9,02	37,77± 2,9	—

Таблица 3 — Популяционные параметры непарного шелкопряда в различные фазы вспышки массового размножения. Очаг «Кисловское» (Каменск-Уральский район, Свердловская обл.)

Параметр	Фаза вспышки и год наблюдений								
	Продромальная		Эруптивная	Кризиса (затухания)					
	2004	2005		2006	2007	2008	2009	2010	2011
Среднее кол-во кладок на дерево, шт. (осенний учёт)	0,025± 0,003	5,3± 1,1	3,1± 0,7	0,44± 0,05	0,62± 0,11	0,46± 0,16	0,218± 0,03	0,177± 0,02	0,032± 0,004
Кол-во яиц в кладке, шт.	185,33± 47,3	424,75± 73,8	444,35± 5,99	533,00± 61,8	533,66± 82,9	478,3± 34,8	533,33± 75,7	454,5± 48,3	—
Отрождаемость гусениц из кладок, % (май следующего года)	85,69± 9,8	33,92± 4,9	69,85± 7,3	44,6± 5,8	91,1± 11,2	28,88± 3,9	82,22± 7,7	20,27± 3,6	—

Результаты показали, что в северной части ареала (Свердловская область) возникают различные по продолжительности типы очагов. Так, очаг «Покровское» приобрел длительно действующий характер (7 лет), тогда как очаг «Кисловское» — быстротекущий (3 года) (рисунок 2). Таким образом, внутри одной

популяции непарного шелкопряда, динамика численности в локальных очагах значительно может различаться. Результаты собственных исследований и анализ литературных данных показали, что эта особенность характерна для зауральской географической популяции непарного шелкопряда как в северной части ареала (Свердловская область), так и в южной (Челябинская область).

Установлено, что для зауральской популяции непарного шелкопряда в северной части ареала характерно высокое значение среднего количества яиц в кладках (таблица 2, таблица 3). При этом выраженных колебаний этого показателя по фазам вспышки, наблюдаемых большинством исследователей (Ильинский, 1959; Распопов, 1983; Бенкевич, 1984; Знаменский, Лямцев, 1990), нами не было обнаружено (таблица 2, таблица 3). Результаты, аналогичные нашим, ранее были получены М.Г. Ханисламовым с сотр. (1958; 1962) для башкирской популяции непарного шелкопряда, что свидетельствует о некотором сходстве в популяционной динамике зауральской и предуральской популяций непарного шелкопряда.

В свою очередь, отрождаемость гусениц из кладок весной следующего года позволяет оценить степень благоприятности периода зимовки. Результаты показали, что в зимние периоды 2005—2006 гг. и 2009—2010 гг. отрицательное воздействие на выживаемость кладок непарного шелкопряда оказали чрезмерно суровые зимние условия — продолжительные морозы и длительный бесснежный период.

2.2 Влияние низовых пожаров на отрождаемость гусениц непарного шелкопряда

Как показали результаты (таблица 4), в очаге вблизи пос. Кисловское отрождаемость гусениц из кладок, подвергшихся воздействию низового пожара, составила, в среднем, 17,48%, тогда как процент отродившихся гусениц из кладок, не испытавших воздействия пирогенного фактора, составил, в среднем, 33,92%. В насаждении возле ж.д. ст. Перебор, при воздействии низового пожара, отрождаемость гусениц непарного шелкопряда составила около 2,65%. В то время как контрольный показатель был равен 19,28%. Различия статистически достоверны (таблица 4).

Установлено, что уровень отрицательного воздействия весенних низовых пожаров на отрождаемость гусениц непарного шелкопряда в берёзовых лесах Свердловской области обусловлен временем (до отрождения гусениц или после отрождения) и интенсивностью воздействия. Показано, что до отрождения гусениц из кладок непарного шелкопряда этот фактор оказывает значительное влияние на снижение численности популяции.

Таблица 4 — Сравнительные показатели отрождаемости гусениц непарного шелкопряда в очагах массового размножения

Наименование варианта	Отрождаемость гусениц, %	Среднее квадратичное отклонение (SD)	F крит. Фишера	P	Кол-во кладок
1 Воздействие пирогенного фактора в 2006 году. Пос. Кисловское	17,48	20,07	1,12	0,82	10,0
2 Контроль. Пос. Кисловское	33,92	18,97	—	—	10,0
3 Воздействие пирогенного фактора в 2006 году. Ст. Перебор	2,65	2,29	98,29	0,0034	10,0
4 Контроль. Ст. Перебор	19,28	22,73	—	—	10,0
5 Сравнение 1/3	—	—	76,63	0,005	10,0

В целом абиотические факторы — суровые зимние условия (2005—2006 гг.) и весенние низовые пожары — оказали значительное отрицательное влияние на выживаемость яиц в очагах массового размножения непарного шелкопряда. В результате, процент отрождения гусениц из кладок в 2006 году колебался в разных локальных очагах от 2,65% до 33,92% и в среднем составил около 20%.

Согласно результатам проведённых исследований, популяция непарного шелкопряда в северной части ареала адаптировалась к значительно менее благоприятным климатическим условиям и способна переходить во вспышечное состояние в условиях менее интенсивных засух. Хотя подъём численности популяции всё равно происходит на фоне воздействия фактора абиотического стресса — засухи. В этом заметное отличие абиотических факторов реализации массового размножения непарного шелкопряда в северной и южной части ареала этого фитофага.

ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ ДРЕВОСТОЕВ БЕРЕЗЫ НА ФАКТОР АБИОТИЧЕСКОГО СТРЕССА (ЗАСУХИ) В ОЧАГАХ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ НЕПАРНОГО ШЕЛКОПРЯДА И ЕЁ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ПАРАМЕТРАМИ ЭНТОМОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ

В настоящее время установлено, что механизм возрастания биотического (вспышечного) потенциала у непарного шелкопряда, который непосредственно и контролирует возможность реализации вспышки, инициируется воздействием на древесную часть деревьев весенне-летних засух, предшествующих вспышке, и уровнем реакции части древостоя на этот фактор (Koltunov, Andreeva, 1999; Колтунов, Хамидуллина, 2005; Колтунов, 2006). Предположительно, этот процесс имеет последовательный характер и реализуется в течение 2-3 лет, предшествующих собственно вспышке (Колтунов, 2006). Однако механизм воздействия фактора абиотического стресса ранее был рассмотрен только в условиях воздействия этого фактора в течение одного сезона, непосредственно предшествующего сильной дефолиации чувствительных древостоев на следующий год (Koltunov, Andreeva, 1999). Поэтому целью данного исследования был количественный анализ осо-

бенностей реакции древостоев, дефолируемых непарным шелкопрядом, на гидротермические условия, предшествующие в течение нескольких лет вспышкам массового размножения. Особое значение представляет сравнение изучаемого параметра у берёзовых древостоев, произрастающих в разных экологических условиях — в Свердловской и Челябинской области.

Результаты показали, что перед вспышкой наблюдается дифференциация по реакции на фактор абиотического стресса у потенциально низко- и высокорезистентных древостоев. В подгруппе древостоев с наиболее низкой энтоморезистентностью снижение радиального прироста заметно интенсивнее, чем в контрольной (с высокой энтоморезистентностью) (рисунок 3, рисунок 4). Важно отметить, что и в южной, и в северной лесостепи древостои, при одновременном воздействии засухи и фактора дефолиации, в год дефолиации снижают прирост в большей степени от фактора сильной засухи (в 7,8 раз за 3 года засухи), в меньшей степени — от фактора дефолиации (в 1,4—1,5 раз в год дефолиации).

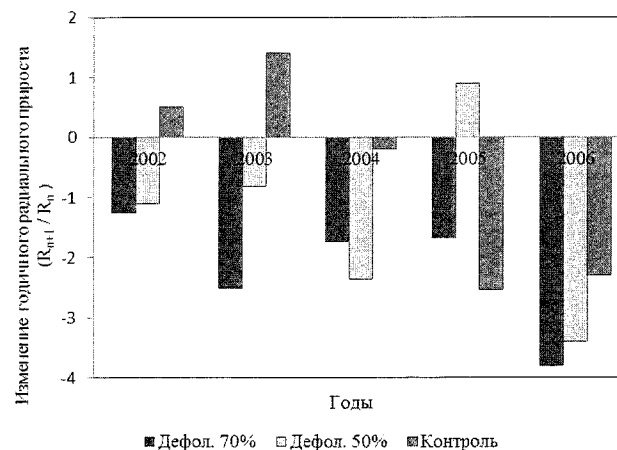


Рисунок 3 — Изменение годового радиального прироста березы повислой в зависимости от уровня энтоморезистентности (Каменск-Уральский район Свердловской области)

Примечание — R_{n+1} — годичный радиальный прирост в каждый последующий год; R_n — годичный радиальный прирост в предыдущий год

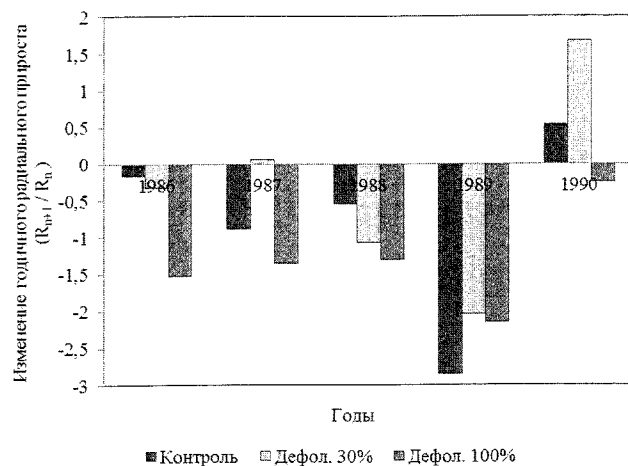


Рисунок 4 — Изменение годичного радиального прироста березы повислой в зависимости от уровня энтоморезистентности (Еткульский район Челябинской области)

Примечание — R_{n+1} — годичный радиальный прирост в каждый последующий год; R_n — годичный радиальный прирост в предыдущий год

Установлено, что древостои березы в условиях Свердловской области (Каменск-Уральский район) сходным образом реагировали на засуху перед вспышкой массового размножения, как и в условиях Челябинской области. Различия заключались в меньшей интенсивности и продолжительности засух. Но изменения в интенсивности реакции на стресс также выражены в зависимости от потенциальной энтоморезистентности древостоев. Таким образом, гипотеза, предложенная ранее (Koltunov, Andreeva, 1999) о существенных различиях в уровне реакции на фактор абиотического стресса (весенне-летние засухи) в зависимости от степени потенциальной энтоморезистентности древостоев, как один из ключевых факторов возникновения вспышки, подтверждается на более полном материале. В целом, количественный уровень снижения годичного радиального прироста при воздействии засухи адекватно отражает уровень снижения энтоморезистентности березы в очагах. Мы считаем, что этот подход может быть использован для прогнозирования уровня ожидаемой энтоморезистентности березняков и картирования лесов по уровню энтоморезистентности. Это способствовало бы переходу от сплошных обработок лесов инсектицидами к локальным и снижению экологического ущерба и экономических затрат на обработку очагов.

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ГОДИЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В ЛЕСАХ, ПЕРИОДИЧЕСКИ ДЕФОЛИРУЕМЫХ НЕПАРНЫМ ШЕЛКОПРЯДОМ

Интерес ряда исследователей к изучению радиального прироста деревьев также связан с его использованием для оценки энтоморезистентности и энтомотолерантности насаждений к насекомым-фитофагам (Суховольский, Артемьева, 1992; Соколов, 2005; Толкач, Пономарёв, Шаталин, 2005, 2007; Колтунов, Хамидуллина, 2006; Хамидуллина, 2006). В свою очередь, разработка количественных критериев для оценки этих параметров позволит рационально планировать мероприятия по защите леса, прогнозировать ожидаемый уровень энтоморезистентности и энтомотолерантности древостоев, а также отпад древостоев в очаге.

В качестве прогностических показателей устойчивости берёзовых древостоев к повреждению насекомыми-фитофагами нами изучены высокочастотные (ВЧ) составляющие радиального прироста (Колтунов, Хамидуллина, 2006). Ранее этот метод был предложен В.Г. Суховольским и Н.В. Артемьевой (1992) для сосны и лиственницы.

Изучение амплитуды ВЧ-составляющей радиального прироста берёзы повислой в очагах массового размножения непарного шелкопряда в лесостепной зоне Южного Зауралья показало, что древостои в составе одной ценопопуляции имеют различный характер изменения амплитуды. В результате удалось выявить два типа древостоев: с сохраняющейся амплитудой (рисунок 5) и с убывающей амплитудой (рисунок 6) (Хамидуллина, 2006). Эти различия наблюдаются на всех исследуемых участках.

В древостоях с низкой энтоморезистентностью (100% дефолиация) амплитуда колебаний прироста была достоверно выше ($8,211 \pm 2,843$) по сравнению с этим параметром в насаждениях с высокой энтоморезистентностью (дефолиация 10—15%) ($3,319 \pm 0,884$). Различия статистически достоверны ($P = 0,05$) (таблица 5).

Наиболее значительными были различия в амплитуде при интервале в 10 лет до начала вспышки (таблица 5). Однако при анализе за 20 и 50 лет перед вспышкой результаты различались незначительно и были статистически недостоверны (таблица 5).

Изучение особенностей частоты ВЧ-составляющей радиального прироста березы повислой в очагах за 10 лет до начала вспышки показало, что в древостоях с низкой энтоморезистентностью (100% дефолиация) показатели частоты ниже ($0,247 \pm 0,028$), чем в древостоях с высокой энтоморезистентностью (10—15% дефолиация) ($0,307 \pm 0,030$) (таблица 6). Как показали результаты, древостои, дефолированные на 30%, по параметрам высокочастотной составляющей радиального прироста также входят в группу древостоев с высокой энтоморезистентностью ($0,254 \pm 0,030$) (таблица 6).

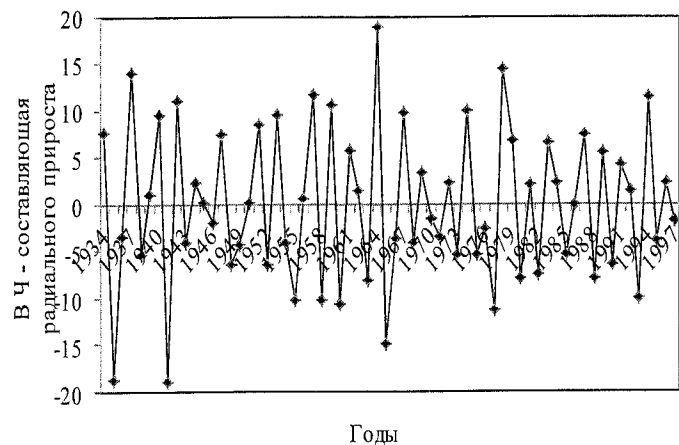


Рисунок 5 — ВЧ-составляющая радиального прироста березы повислой с сохраняющейся амплитудой (Челябинская обл.)

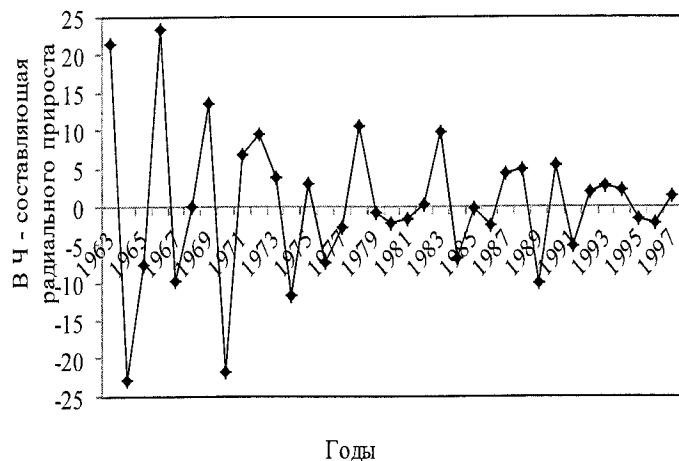


Рисунок 6 — ВЧ-составляющая радиального прироста березы повислой с убывающей амплитудой (Челябинская обл.)

Таблица 5 — Сравнительные характеристики амплитуды ВЧ-составляющей радиального прироста березы повислой в очагах массового размножения непарного шелкопряда. Челябинская область

Наименование варианта	Амплитуда ВЧ-составляющей радиального прироста березы	Среднее квадратичное отклонение (SD)	Средняя ошибка (SE)	F _{крит.} Фишера	P	Кол-во кернов
100% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	за 10 лет до дефолиации 8,211	2,843	1,010	11,99	0,05	20,0
Контроль	3,319	0,884	0,334	—	—	—
100% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	за первые 20 лет 9,105	1,604		13,25	0,058	20,0
Контроль	7,125	0,440	0,220	0,655	—	—
100% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	за все годы 5,528	0,862	0,411	4,356	0,127	20,0
Контроль	7,482	1,801	0,680	—	—	—
30% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	6,437	2,189	1,012	6,43	0,057 (с вар. 100% деф.)	20,0
65% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	5,726	0,897	0,366	1,42	0,88 (с вар. 100% деф.)	20,0

Таблица 6 — Сравнительные характеристики частоты ВЧ-составляющей радиального прироста березы повислой в очагах массового размножения непарного шелкопряда. Челябинская обл.

Наименование варианта	Частота ВЧ-составляющей радиального прироста березы	Среднее квадратичное отклонение (SD)	Средняя ошибка (SE)	F _{крит.} Фишера	P	Кол-во кернов
1 100% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	0,247	0,028	0,089	1,533	0,539	20,0
2 Контроль	0,307	0,036	0,012	—	—	—
3 30% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	0,254	0,030	0,01	3,25	0,58 (2/3)	20,0
4 65% дефолиация непарным шелкопрядом в 1989 г.	0,270	0,028	0,0088	1,14	0,836 (3/4)	20,0

Связь между высокочастотными колебаниями радиального прироста деревьев и их устойчивостью к дефолиации насекомыми-фитофагами может быть обусловлена тем, что для древостоев с высокой амплитудой радиального прироста свойственна более высокая метаболическая активность, которая в свою очередь может сопровождаться как большей привлекательностью и высокой кормовой ценностью субстрата, так и более низкой энтоморезистентностью (Колтунов, Хамидуллина, 2006).

Таким образом, исследования показали, что показатели ВЧ-составляющей радиального прироста берёзы повислой различны у низко- и высокорезистентных древостоев. Так, в древостоях с низкой энтоморезистентностью амплитуда колебаний прироста была выше, а частота колебаний ниже, по сравнению с этим параметром в насаждениях с высокой энтоморезистентностью. Установленные закономерности могут быть использованы для прогнозирования ожидаемой энтоморезистентности и степени дефолиации древостоев в очагах массового размножения непарного шелкопряда, и ожидаемой площади очагов с сильной дефолиацией крон древостоев.

ГЛАВА 5. МИГРАЦИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА — РАСТЕНИЕ — НАСЕКОМЫЕ В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬЯ

Как известно, интенсивное развитие промышленного потенциала Зауралья сопровождается возрастанием уровня техногенного загрязнения лесов, что отрицательно отражается на их устойчивости и продуктивности. Но особенности развития очагов и реакции древостоев на дефолиацию в условиях техногенного загрязнения изучены недостаточно.

Изучение содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах в очагах массового размножения непарного шелкопряда показало, что в целом оно заметно превышает фоновый уровень, а в отдельных пробах приближается (Cd) или превышает ПДК (Pb, Ni) (таблица 7, таблица 8).

Таблица 7 — Содержание валовых форм тяжёлых металлов (мг/кг) в почвах (Каменск-Уральский район, Свердловская обл.)

Образец	Химические элементы							
	Pb	Zn	Cd	Co	Ni	Cu	Mn	Fe
Почва. Очаг «Покровское» (n=10)	3,25 ± 3,48	45,6 ± 7,19	0,375 ± 0,18	16,0 ± 0,66	42,05 ± 2,27	23,48 ± 5,06	862,75 ± 262,0	1325,0 ± 40,82
Почва. Очаг «Кисловское» (n=10)	22,0 ± 14,75	54,9 ± 11,8	0,55 ± 0,26	25,5 ± 16,3	54,7 ± 31,3	33,25 ± 3,32	1345,0 ± 110,7	1350,0 ± 52,70
F критерий Фишера	17,89	2,69	2,11	600,62	189,37	2,32	5,60	1,66
Уровень значимости (P)	0,0002	0,156	0,28	0,0000	0,0000	0,22	0,017	0,46

Примечание — Жирным шрифтом выделены статистически достоверные различия

Таблица 8 — Содержание подвижных форм тяжёлых металлов (мг/кг) в почвах (Каменск-Уральский район, Свердловская обл.)

Образец	Химические элементы							
	Pb	Zn	Cd	Co	Ni	Cu	Mn	Fe
Почва. Очаг «Покровское» (n=10)	0,0	1,0 ± 0,08	1,15 ± 0,06	3,5 ± 0,31	3,1 ± 0,26	0,25 ± 0,07	218,0 ± 16,4	18,0 ± 0,46
Почва. Очаг «Кисловское» (n=10)	0,0	1,2 ± 0,11	1,5 ± 0,02	3,0 ± 0,27	2,4 ± 0,17	0,255 ± 0,04	292,0 ± 18,3	22,0 ± 0,54

Кроме того, нами были изучено содержание валовых форм тяжёлых металлов в листьях берёзы повислой из очагов массового размножения непарного шелкопряда (таблица 9).

Таблица 9 — Содержание валовых форм тяжёлых металлов (мг/кг) в листьях берёзы повислой (Каменск-Уральский район, Свердловская обл.)

Образец	Химические элементы							
	Pb	Zn	Cd	Co	Ni	Cu	Mn	Fe
Листья берёзы Очаг «Покровское» (n=10)	0,0	268,0 ± 34,7	1,0 ± 0,06	2,0 ± 0,17	8,4 ± 0,75	5,1 ± 0,45	1800,0 ± 216,3	136,0 ± 17,4
Листья берёзы Очаг «Кисловское» (n=10)	0,0	97,0 ± 12,3	0,9 ± 0,04	2,2 ± 0,19	22,8 ± 3,1	5,5 ± 0,76	2000,0 ± 234,5	284,0 ± 32,8

В целом, содержание тяжёлых металлов в листьях берёзы повислой согласуется с данными авторов, проводивших исследования в других регионах (Корельская, 2008; Бухарина, 2009).

В тканях имаго непарного шелкопряда содержание тяжёлых металлов было заметно выше, чем в листьях берёзы (таблица 10). Из всех обнаруженных элементов в тканях имаго непарного шелкопряда Fe, Zn и Mn содержится в наиболее высоких концентрациях, тогда как Ni и Cu — в наименьших (таблица 10). Высокотоксичные Pb и Cd (а также Co) в тканях имаго непарного шелкопряда не обнаружены. Таким образом, для непарного шелкопряда характерно наиболее высокое содержание микроэлементов биогенного происхождения в тканях имаго — Fe, Zn и Mn.

Подсчёт коэффициентов биологического поглощения (КБП) в системе: почва — растение (листья берёзы повислой) показал, что наиболее значительный уровень биоаккумуляции имел Zn (КБП_{Zn} = 5,88) (таблица 11). Согласно классификации А.И. Перельмана (1975) к элементам с сильным накоплением (КБП от 1 до 10) относились также Cd (КБП_{Cd} = 2,67) и Mn (КБП_{Mn} = 2,08). Степень поглощения остальных элементов листьями берёзы повислой была слабой (таблица 11).

Подсчёт КБП в тканях имаго непарного шелкопряда показал, что разные металлы значительно отличаются между собой по этому параметру. Наиболее интенсивно в тканях имаго происходит накопление Cu (КБП_{Cu} = 4,215), Fe (КБП_{Fe} = 3,42) и Ni (КБП_{Ni} = 1,904). Вследствие отсутствия Pb, Cd и Co в имаго

непарного шелкопряда (а ряда из них – и в листьях березы) коэффициенты биологического поглощения подсчитать не удалось. Результаты, полученные нами, частично совпадают с данными И.Г. Савушкиной (2006), согласно которым гусеницы непарного шелкопряда при питании листьями дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.) аккумулируют цинк, кадмий, медь и алюминий. Также наши данные сходны с подсчитанными ранее другими авторами КБП для имаго ивовой волнянки (*Leocoma salicis* L.) и траурницы (*Nymphalis antiopa* L.) (Никаноров, Жулидов, Емец, 1993).

Таблица 10 — Содержание валовых форм тяжелых металлов (мг/кг) в тканях имаго непарного шелкопряда

Образец	Химические элементы							
	Pb	Zn	Cd	Co	Ni	Cu	Mn	Fe
1 Имаго Очаг «Покровское» (n=30)	0,0	175,5±28,4	0,0	0,0	16,0±4,0	21,5±5,3	132,5±43,9	465,0±37,2
2 Имаго Очаг «Кислоевское» (n=30)	0,0	152,0±15,1	0,0	0,0	18,0±10,3	15,0±2,2	80,0±11,0	370,0±32,6
3 Имаго Очаг «Клева- кинское» (n=30)	0,0	185,0±13,4	0,0	0,0	6,0±1,6	23,3±4,6	116,6±30,9	693,3±129,7
Достоверность различий: Сравнение 1-2	–	F = 3,54 P = 0,07	–	–	F = 6,43 P = 0,010	F = 5,83 P = 0,014	F = 15,92 P = 0,0003	F = 427,06 P = 0,0000
Сравнение 1-3	–	F = 4,44 P = 0,036	–	–	F = 6,16 P = 0,012	F = 1,28 P = 0,071	F = 2,01 P = 0,31	F = 27,02 P = 0,00003
Сравнение 2-3	–	F = 1,25 P = 0,74	–	–	F = 39,66 P = 0,000	F = 4,52 P = 0,03	F = 7,89 P = 0,005	F = 15,80 P = 0,0003

Примечание — Жирным шрифтом выделены статистически достоверные различия

Таблица 11 — Коэффициенты биологического поглощения (КБП) тяжёлых металлов в системе: почва — растение — насекомое в Зауралье

Химический элемент	КБП в листьях берёзы повислой	КБП в тканях имаго непарного шелкопряда
Zn	5,88±1,16	0,65±0,05
Cd	2,67±0,74	0,0
Co	0,125±0,01	0,0
Ni	0,199±0,07	1,904±0,16
Cu	0,217±0,083	4,215±0,83
Mn	2,08±0,43	0,074±0,027
Fe	0,102±0,02	3,42±0,45

Таким образом, результаты исследований показали, что различные тяжёлые металлы значительно отличаются по КБП между листьями берёзы повислой и имаго непарного шелкопряда. У листьев берёзы наиболее высокой степенью биоаккумуляции отличались Zn, Cd и Mn, тогда как у имаго непарного шелкопряда очень высокими КБП характеризуются Cu, Fe и Ni.

В целом исследования показали, что в березовых лесах, где периодически возникают очаги массового размножения непарного шелкопряда уровень техногенного загрязнения тяжелыми металлами заметно превышает фоновый. Выявлена сильная биоаккумуляция некоторых тяжёлых металлов в насекомых. Поэтому содержание их в имаго непарного шелкопряда является значительным. В большей степени аккумулируются металлы биогенного происхождения (Cu, Fe, Zn).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований сводятся к следующему:

Изучены особенности реакции радиального прироста берёзы повислой в очагах непарного шелкопряда на гидротермические условия. Выявлены существенные различия в степени и характере реакции радиального прироста в зависимости от уровня энтоморезистентности древостоя, что подтверждает эффективность использования этого параметра для прогнозирования энтоморезистентности и ожидаемой дефолиации. Потери прироста древесины в березняках, ослабленных антропогенным воздействием, от комплексного воздействия фактора абиотического стресса и дефолиации значительны.

Обнаружено, что перед вспышкой массового размножения наблюдается дифференциация по реакции на стресс (весенне-летние засухи) у потенциально низко- и высокорезистентных древостоев. Выявлены существенные различия в показателях ВЧ-составляющей радиального прироста берёзы повислой у низко- и высокорезистентных древостоев. В березняках с низкой энтоморезистентностью (100% дефолиация) амплитуда колебаний радиального прироста была достоверно выше (8,211±2,843), а частота колебаний ниже, по сравнению с этим параметром в насаждениях с высокой энтоморезистентностью (дефолиация 10–15%) (3,319±0,884). Наиболее значительными были различия в амплитуде при интервале в 10 лет до начала вспышки, что подтверждает эффективность использования этого параметра для прогнозирования энтоморезистентности и ожидаемой дефолиации.

Впервые изучено воздействие весенних низовых пожаров на отрождаемость гусениц непарного шелкопряда в берёзовых лесах Свердловской области. Как показали результаты, уровень отрицательного воздействия этого фактора обусловлен временем (до или после отрождения гусениц) и интенсивностью воздействия. В условиях воздействия пожаров до отрождения непарного шелкопряда этот фактор оказывает значительное влияние на снижение численности популяции гусениц, тогда как после отрождения незначительное.

Изучены особенности динамики очагов массового размножения зауральской популяции непарного шелкопряда в северной части арсала.

Установлено, что в условиях воздействия умеренных засух пространственная структура очагов непарного шелкопряда имеет устойчивый характер.

Детально исследованы особенности популяционной динамики непарного шелкопряда в локальных очагах массового размножения в берёзовых лесах Каменск-Уральского района Свердловской области.

Популяция непарного шелкопряда в северной части ареала адаптировалась к значительно менее благоприятным климатическим условиям и способна переходить во вспышечное состояние в условиях менее интенсивных засух. Хотя подъём численности популяции всё равно происходит на фоне воздействия фактора абиотического стресса — засухи. Вместе с тем продолжительность, периодичность вспышек и площадь очагов в этих условиях заметно меньше, чем в лесах Челябинской области.

В северной части ареала зауральской популяции непарного шелкопряда формируются как быстротекущие, так и длительно действующие очаги.

Впервые был изучен уровень техногенного загрязнения тяжёлыми металлами берёзовых лесов в очагах массового размножения непарного шелкопряда и особенности миграции и аккумуляции тяжёлых металлов в системе почва — растение — насекомые в Зауралье. Результаты показали, что уровень загрязнения почв тяжёлыми металлами заметно превышает фоновый, а в отдельных пробах приближается (Cd) или превышает ПДК (Pb, Ni). Подсчитаны коэффициенты биологического поглощения тяжёлых металлов в листьях берёзы повислой и в тканях имаго шелкопряда. Выявлена сильная биоаккумуляция некоторых тяжёлых металлов в тканях насекомых. Поэтому содержание их в имаго непарного шелкопряда является значительным. В большей степени аккумулируются металлы биогенного происхождения (Cu, Fe).

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Хамидуллина, М.И. Взаимосвязь годичного радиального прироста берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) с гидротермическими условиями, предшествующими вспышке массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) в лесах Свердловской области / М.И. Хамидуллина // Аграрный вестник Урала. — 2008. — N 9. — С. 70—72.
2. Колтунов, Е.В. Факторы возникновения вспышек массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) в лесостепи Зауралья / Е.В. Колтунов, М.И. Хамидуллина // АГРО XXI. — 2009. — N 1—3. — С. 23—25.
3. Колтунов, Е.В. Особенности миграции и аккумуляции тяжёлых металлов в системе: «почва — берёза — непарный шелкопряд» в условиях Зауралья / Е.В. Колтунов, М.И. Хамидуллина // Аграрный вестник Урала. — 2009. — N 2 (56). — С. 60—62.
4. Колтунов, Е.В. Влияние дефолиации на содержание фенолсодержащих соединений в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях антропогенного воздействия / Е.В. Колтунов, М.И. Хамидуллина // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — N 6.

В прочих изданиях:

5. Колтунов, Е.В. Абиотические факторы реализации вспышек массового размножения непарного шелкопряда / Е.В. Колтунов, М.И. Хамидуллина // Проблемы биологической науки и образования в педагогических вузах: Мат. Четвёртой Всерос. конф. — Новосибирск: НГПУ, 2005. — С. 89—93.
6. Хамидуллина, М. И. Абиотические факторы вспышек массового размножения непарного шелкопряда в берёзовых лесах Урала / М.И. Хамидуллина // Биоразнообразие и роль зооценоза в естественных и антропогенных экосистемах: Мат. III Междунар. науч. конф. (Днепропетровск, 4—6 окт. 2005 г.). — Днепропетровск: Изд-во ДНУ, 2005. — С. 322—323.
7. Колтунов, Е.В. Тенденции динамики радиального прироста берёзы повислой и параметры энтоморезистентности / Е.В. Колтунов, М.И. Хамидуллина // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Е.А. Памфилова. — Брянск: БГИТА, 2006. — Вып. 13. — С. 60—63.
8. Хамидуллина, М.И. Динамика радиального прироста берёзы повислой и её энтоморезистентность в берёзовых лесах Южного Зауралья / М.И. Хамидуллина // Экология в меняющемся мире: Мат. конф. молодых учёных (Екатеринбург, 24—28 апр. 2006 г.). — Екатеринбург: Изд-во «Академкнига», 2006. — С. 250—252.
9. Хамидуллина, М.И. Динамика популяционных параметров зауральской популяции непарного шелкопряда в период подъёма численности в северной части ареала / М.И. Хамидуллина // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Е.А. Памфилова. — Брянск: БГИТА, 2006. — Вып. 15. — С. 126—129.
10. Хамидуллина, М.И. Особенности вспышки массового размножения непарного шелкопряда в северной части ареала зауральской популяции / М.И. Хамидуллина // Экология: от Арктики до Антарктики. Мат. Всерос. конф. молодых учёных (Екатеринбург, 16—20 апр. 2007 г.). — Екатеринбург: Изд-во «Академкнига», 2007. — С. 343—346.
11. Колтунов, Е.В. Особенности развития очагов массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) на северной границе ареала / Е.В. Колтунов, М.И. Хамидуллина // Биоразнообразие и роль животных в экосистемах: Мат. IV междунар. науч. конф. (Днепропетровск, 9—12 октября 2007 г.). Днепропетровск: ДНУ, 2007. — С. 262—264.
12. Хамидуллина, М.И. Особенности заселения берёзовых древостоев непарным шелкопрядом в различные фазы вспышки массового размножения / М.И. Хамидуллина // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Е.А. Памфилова. — Брянск: БГИТА, 2007. — Вып. 19. — С. 166—168.
13. Колтунов, Е.В. Техногенное загрязнение лесов в очагах массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) в Свердловской области / Е.В. Колтунов, М.И. Хамидуллина // Лесной и химический комплексы проблемы и решения: сб. ст. по мат. Всерос. науч.-практ. конф. — Красноярск: СибГТУ, 2007. — Т. 1. — С. 227—231.

14. Колтунов, Е.В. Абиотический стресс как фактор возникновения вспышек массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) / Е.В. Колтунов, **М.И. Хамидуллина** // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: мат. III Всерос. науч. конф. (Пушино, 27 янв. — 3 февр. 2008 г.). — Йошкар-Ола; Пушино, 2008. — С. 253—255.

15. **Хамидуллина, М.И.** Особенности пространственной структуры непарного шелкопряда в северной части ареала зауральской популяции / М.И. Хамидуллина // Биосфера Земли: прошлое, настоящее и будущее. Мат. Всерос. конф. молодых ученых (Екатеринбург, 21—25 апр. 2008 г.). — Екатеринбург: Изд-во «Гощицкий», 2008. — С. 305—306.

16. Колтунов, Е.В. Миграция и аккумуляция тяжелых металлов в системе: «береза - непарный шелкопряд» / Е.В. Колтунов, **М.И. Хамидуллина** // Труды Ставропольского отделения Русского энтомологического общества: мат. II Междунар. науч.-практ. интернет-конф. «Актуальные вопросы энтомологии» (Ставрополь, 1 марта 2009 г.). — Ставрополь: АГРУС, 2009. — Вып. 5. — С. 163—167.

17. **Хамидуллина, М.И.** Особенности развития локальных очагов массового размножения непарного шелкопряда в лесах Свердловской области / М.И. Хамидуллина // Инновационные процессы в области химико-педагогического и естественнонаучного образования: Мат. II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Оренбург, 15—16 нояб. 2012 г.). — Оренбург, 2012. — С. 332—335.

Отзывы на автореферат просим направлять в трёх экземплярах с заверенными печатью подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, ФГБОУ ВПО «УГЛТУ», учёному секретарю диссертационного совета Бачуриной А.В. Факс: (343) 254-62-25;
e-mail: dissovet.usfeu@mail.ru.

Подписано в печать 20.12.2012. Формат 60x84 1/16.
Объем 1,6 п.л. Тираж 100. Заказ №

620100 Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».
Отдел оперативной полиграфии.