

Менщиков Сергей Леонидович

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДУНДРОВЫХ И
ТАЁЖНЫХ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ НАНОСИМОГО УЩЕРБА**

06.03.03. Лесоведение и лесоподство, лесные пожары и
борьба с ними

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук

Екатеринбург, 2004

Работа выполнена в лаборатории экологии техногенных растительных сообществ Ботанического сада УрО РАН

Научные консультанты: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Н. А. Луганский;

доктор биологических наук, профессор А.К. Махнёв.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ С.А. Мамаев;

доктор сельскохозяйственных наук, профессор В.Ф. Цветков;

доктор сельскохозяйственных наук профессор Л.И. Аткина.

Ведущая организация: Уральский государственный университет им. А.М. Горького.

Защита состоится «28» апреля 2004 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 в Уральском Государственном лесотехническом университете по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского Государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан «18» марта 2004 г.

Отзывы на автореферат просим направлять в двух экземплярах с заверенными печатями подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ. Учёному секретарю диссертационного совета

Учёный секретарь диссертационного совета
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
С.В. Залесов

Введение

Актуальность проблемы. В ряде регионов нашей страны вследствие высокой концентрации промышленного производства и недостаточной очистки отходов возникла проблема загрязнения окружающей среды аэротехногенными выбросами. Особенно большой ущерб природным комплексам наносят горнодобывающая и металлургическая отрасли, а также сопутствующие им предприятия энергетики. Развитие и концентрация металлургического производства на Урале, например, за три столетия породили множество экологических проблем и наложили свой отпечаток на природные комплексы региона, отразились на закономерностях лесообразовательного процесса и развитии лесного хозяйства. В XVIII и XIX вв. древесина использовалась в металлургии в качестве сырья для получения древесного угля. Вблизи заводов леса вырубались и сжигались. В следующее (XX) столетие, когда металлургия перешла на каменный уголь, а масштабы промышленного производства увеличились, значительно возросло негативное влияние фактора аэротехногенного загрязнения на лесную растительность. В связи с этим перед лесоводством во второй половине XX века возникла новая сложная проблема – оценка степени и глубины трансформации лесной среды под воздействием техногенного фактора и изучение возможности снижения наносимого лесным насаждениям ущерба. Большинство исследований, проведенных в нашей стране за последние 2 - 3 десятилетия по проблеме повреждения лесов аэротехногенными выбросами, осуществлены в локальных очагах повреждения. Значительно меньше сведений о пространственно - временной структуре повреждений в условиях разных природно-климатических зон. Существенные отличия в методических подходах оценки процесса дегрессии лесов часто не дают возможности сделать обобщение полученных разными исследователями данных.

В Сибири и на Урале расположены основные массивы бореальных лесов России и здесь же сосредоточены крупные промышленные центры – источники аэротехногенных выбросов, загрязняющих природную среду. Особо негативные последствия может вызвать гибель предтундровых лесов, которые на

северном пределе распространения лесной растительности имеют большое защитное и климаторегулирующее значение. Так, наблюдаемые на Таймыре масштабы повреждения лесотундровых экосистем от аэротехногенного загрязнения можно отнести к экологической катастрофе регионального уровня.

Данные факторы определили выбор объектов исследований - леса, подверженные воздействию аэротехногенных выбросов в зоне тайги на территории Среднего Урала, в районах наиболее крупных промышленных центров и предтундровые леса в зоне лесотундры, в районе г. Норильска Красноярского края.

Цель и задачи исследований. Цель работы – комплексное исследование закономерностей и глубины дигрессии лесных насаждений под воздействием аэротехногенного загрязнения в двух географических регионах РФ на основе натурного изучения, обобщения ведомственных и литературных материалов, а также оценка наносимого ущерба лесам и обоснование путей его снижения.

Задачи исследований сводились к следующему:

- изучить ответную реакцию лесных насаждений на аэротехногенное загрязнение на фоне разных физико-географических условий;
- изучить пространственно-временную структуру повреждений лесных насаждений в очагах аэротехногенного загрязнения;
- разработать методику диагностики повреждений лесов в очагах аэротехногенного загрязнения;
- определить стратегию и методы сохранения и восстановления лесов в районах крупных промышленных центров;
- разработать методику оценки ущерба лесам, подверженным хроническому аэротехногенному загрязнению и обосновать пути снижения ущерба.

Научная новизна. В соответствии с новыми методами лесоэкологического мониторинга впервые установлены закономерности процессов дигрессии и деградации лесных насаждений под воздействием аэротехногенных выбросов в крупных промышленных регионах в условиях двух контрастных природно-климатических зон: в условиях оптимального роста основных лесобразующих пород – в зоне тайги Урала и на их северном пределе распространения в зоне

лесотундры Средней Сибири. Критически проанализированы и применены в работе ряд гипотез, дискуссионных теоретических положений и вопросов методического характера.

На основе изучения закономерностей изменения параметров состояния лесных насаждений разработаны критерии и методы оценки степени деградации лесных насаждений с учётом текущего и накопленного аэротехногенного воздействия. Изучена связь динамики радиального прироста сосны и дефолиации хвои в очагах загрязнения. Общеввропейская методика оценки степени повреждения древостоев в очагах аэротехногенного загрязнения адаптирована для условий регионов Урала и севера Средней Сибири. Результаты работ легли в основу модифицированной методики оценки состояния лесных насаждений в очагах поражения аэротехногенными выбросами, а также оригинальной методики стоимостной оценки нанесённого лесному хозяйству ущерба.

Установлены закономерности и количественные показатели аккумуляции загрязняющих веществ в лесных насаждениях, их буферные свойства, способность к самоочищению и изменению лесорастительных свойств почвы на фоне разных физико-географических условий.

Обоснованность и достоверность результатов исследований обеспечена анализом большого репрезентативного натурального материала, собранного за многолетний период с применением актуальных методик; комплексным подходом к решению поставленных задач; применением современных математических методов, компьютерной техники и пакетов прикладных программ.

Практическая значимость. Полученные материалы имеют методическое значение при оценке степени трансформации лесных насаждений в зонах аэротехногенного воздействия и позволяют оценочными методами (по морфологическим показателям) на этапе рекогносцировочного обследования выделять зоны и участки леса, подлежащие учету в связи с потерей производительности древостоев, что существенно снижает затраты на проведение работ по стоимостной оценке ущерба. Кроме того, на основе материалов диссертации также можно зонировать территорию по степени воздействия аэротехногенных выбросов и

разрабатывать системы мероприятий по ведению лесного хозяйства дифференцированно по зонам. Обоснованы и конкретизированы предложения производству по способам снижения негативного аэротехногенного воздействия на лесные насаждения, основанные на учёте критических периодов в сезонном развитии лесообразующих пород, а также предельно допустимых уровней аэротехногенных нагрузок в таёжной зоне Среднего Урала и в предтундровых лесах на севере Средней Сибири. Дана оценка газоустойчивости основных лесообразующих пород и прогноз жизнеспособности древостоев в зонах аэротехногенного загрязнения.

Основные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные положения: закономерности динамики изменения состояния лесных насаждений под воздействием аэротехногенных выбросов в оптимальных условиях для роста хвойных пород (зона тайги) и на северном пределе лесной растительности (зона лесотундры); оценка относительной устойчивости основных лесообразующих пород к аэротехногенному загрязнению; оценка устойчивости лесных насаждений к воздействию разных типов аэротехногенного загрязнения, методика оценки ущерба лесным насаждениям, повреждённым аэротехногенными выбросами и пути снижения этого ущерба.

Апробация работы. Основные теоретические положения и практические результаты исследований представлялись и обсуждались на международных, всесоюзных, всероссийских и региональных конференциях: «Проблемы использования воспроизводства и охраны лесных ресурсов» (Йошкар-Ола, 1989); «Растения и промышленная среда» (Днепропетровск, 1990); «Норильский никель» (Норильск, 1990); «Освоение Севера и проблемы рекультивации» (Сыктывкар, 1991; 1996); «Проблемы мониторинга и экологического прогнозирования динамики лесных экосистем в крупных промышленных центрах» (Тольятти, 1991); «Биологическая рекультивация нарушенных земель» (Екатеринбург, 1983; 1996; 2002); «Лесоводство севера на рубеже столетий» (II Мелеховские чтения, Санкт-Петербург, 2000); «Природная и антропогенная динамика лесных

экосистем» (Екатеринбург, 2001); «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (Екатеринбург, 2001; 2003).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследований, разработке программы и методик работ, сборе, обработке и анализе экспериментального и других материалов, а также апробации результатов исследований, формулировке положений, выводов и рекомендаций.

Настоящая работа является итогом исследований, выполненных автором в 1986-2003 годах.

Публикация результатов исследований. Материалы по теме диссертации опубликованы в 52 работах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и 4 приложений. Основной текст изложен на 292 страницах, иллюстрирован 18 рисунками и содержит 80 таблиц. Список литературы включает 395 наименований, в том числе 48 иностранных.

1. Общие черты проблемы

Анализ литературных источников показал что, основные закономерности изменения состояния лесных экосистем под воздействием аэротехногенного загрязнения исследованы многими авторами. Повреждение лесной растительности в очагах загрязнения определяется сложным комплексом абиотических и биотических факторов. Основные из них: количественный и качественный состав выбросов, длительность воздействия и его интенсивность, направление преобладающих ветров, климатические и погодные условия региона, лесоводственно-таксационные особенности лесных насаждений (возраст и состав древостоев, тип леса и др.); фаза фенологического развития растений.

В работах, посвящённых влиянию аэротехногенных загрязнений на растительность, особенно детально рассмотрены особенности воздействия диоксида серы, так как источники выбросов этого типа загрязнения распространены очень широко.

Изменение состояния лесов под воздействием аэротехногенного загрязнения на Среднем Урале. Исторически Уральский регион развивался как индуст

риальный край. С начала 60-х годов прошлого столетия Урал становится одним из центров исследований проблемы загрязнения природной среды. Обобщающие теоретические работы по проблеме негативного воздействия промышленных загрязнений на растительность появились в начале семидесятых годов. Уральский учёный В.В. Тарчевский (1970) выделил промышленную ботанику как раздел ботаники, включающий теоретическую и методическую основу для обоснования работ по фитомелиорации промышленных отвалов. В результате проведённых исследований разработаны и предложены ассортимент устойчивых в данных условиях видов растений и способы биологической рекультивации нарушенных территорий. Обобщая результаты отечественных исследований, Е.М. Лавренко (1959) предложил считать "индустриальной биогеоценологией" раздел биогеоценологии, который изучает воздействие индустриализации и урбанизации на природный биогеоценологический покров и его формирование на отвалах вскрышных пород и при скоплении промышленных отходов. Б.П. Колесников (1974) обобщил итоги работ по биологической рекультивации нарушенных земель, а Ю.З. Кулагин (1982, 1985) предложил в общей экологии выделить новое направление "индустриальная дендрэкология".

Из древесных пород устойчивыми к аэротехногенным загрязнениям в условиях Урала считаются: береза бородавчатая и пушистая, липа мелколистная, тополь бальзамический, ясень зеленый, лиственница Сукачева, вяз мелколистный (Коновалов, Минина, 1948; Малютин, 1960; Яфаев, Федоренко, 1974; Яценко, Николаевский, 1975; Коновалов, Луганский, 1967; Мамаев, Махнев, 1979).

Е.Л. Воробейчик и Е.В. Хантемирова (1994), изучая состояние лесной растительности в условиях Ревдинского-Первоуральского промузла, пришли к выводу, что в таёжной зоне Урала живой напочвенный покров оказывается более чувствительным к атмосферному загрязнению, чем древостой. Он изменяется значительно раньше по отношению к древостою. Травяно-кустарничковый ярус начинает изменяться когда фоновый уровень загрязнения превышен в 2,8-3,3 раза; для древостоя он составляет 3,4-4,5; для параметров возобновления - 4,9-5,7. И.А. Юсупов и др. (1999) пришли к такому же выводу.

Анализ имеющихся данных оценки состояния лесов и геохимического фона на Среднем Урале показывает, что под воздействием аэротехногенных выбросов негативные изменения состояния лесных насаждений наблюдаются на значительной территории и часто имеют не только локальный, но и региональный характер (Меншиков и др., 2001).

Изменение состояния лесов под воздействием аэротехногенного загрязнения на севере Средней Сибири. Интенсивное освоение природных ресурсов в северных районах Красноярского края началось по сравнению с Уралом значительно позже - в середине прошлого столетия. Природный комплекс в районе Норильска, особенно плато Путорана, довольно детально (вне очага аэротехногенного загрязнения) изучен геоботаниками и почвоведом. Определены видовой состав и структура растительных сообществ, пути их приспособления к экстремальным условиям Субарктики, продуктивность зональных фитоценозов и ее связь с термическими показателями (Горные..., 1986; Кузнецов, 1916; Москаленко, 1972; Москаленко, 1965; Норин, 1982; Чернов, 1985). Почвоведом изучены химизм почвенных растворов и природных вод, биологический круговорот зольных элементов и азота, процессы сезонного оттаивания и промерзания почв (Василевская, 1980; Игнатенко, 1977, 1978). В меньшей степени данный район изучен лесоводами. Имеются лишь краткие сведения о лесоводственных особенностях и типологии предтундровых лесов Средней и Западной Сибири, не затронутых аэротехногенными выбросами (Коротков, Дзедзюля, 1969; Крючков, 1974; Ярмишко, Демьянов, 1984).

Леса в районе Норильска не устроены наземными методами и практически выпали из сферы деятельности лесного хозяйства и внимания исследователей лесоводов. Это негативно сказывается на фоне аэротехногенного загрязнения природной среды. Усыхание и гибель предтундровых лесов здесь, по наблюдениям Таймырского лесничества, начались в 1968 г. В 1972 г. площадь погибших лесонасаждений составляла около 80 тыс. га, а к 1975 г. она увеличилась ещё на 69,9 тыс. га. Кроме того, в течение 1968-1975 гг. в результате воздействия аэротехногенных выбросов было частично повреждено более 200 тыс. га

предтундровых лесов. С 1976 г. обследование повреждённых лесов в районе Норильска проводилось Брянской специализированной экспедицией Всесоюзного, а затем всероссийского предприятия «Леспроект». В 1984 г. выделено 9 участков лесных насаждений, повреждённых аэротехногенными выбросами НГМК. С учётом результатов прошлых обследований площадь поражения составила 535,7 тыс. га. Выполнено зонирование территории на основе лесопатологического аэровизуального и частично наземного обследования лесов в очаге поражения (Филипчук, Ковалёв, 1990). По данным обследования 1989 г., площадь поврежденных и погибших лесов и редколесий составила 565,1 тыс. га. Анализ состояния предтундровых лесов в районе Норильска по данным лесопатологических обследований отражён в публикациях Б. И. Ковалёва (1990; 2000).

В зависимости от состояния лишайникового покрова в районе Норильска выделено пять зон, характеризующих загрязнение территории (Власова, Филипчук, 1990). При помощи методов дистанционного зондирования и наземного обследования установлено, что зона повреждений предтундровых лесов распространяется на расстоянии до 180 км от Норильска (Харук и др., 1996). Выделение очагов повреждения, дифференциация уровня дигрессии и деградации древостоев проводились В.Н. Харук (1993) на основе анализа вегетационных индексов (для данных спектрорадиометрии) и цветностей (г, g для зональных и спектрозональных изображений).

Закономерности динамики состояния предтундровых лесов в районе Норильска, а также особенности накопления фитотоксикантов в различных компонентах биогеоценозов лесотундры отражены в работах С.Л. Менщикова (1989; 1990; 1991; 1992). Оценкой воздействия аэротехногенных выбросов НГМК на радиальный прирост лиственницы с помощью методов дендрохронологии занимались А.П. Ившин (1990; 1992), S.G. Shiyatov, A.P. Ivshin (1993), которые установили, что в очаге поражения у лиственницы нарушается связь радиального прироста с климатическими факторами, а воздействие аэротехногенного

фактора на радиальный прирост в данном регионе проявляется раньше, чем являются визуальные признаки повреждения.

Методы изучения и оценки состояния лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Для оценки состояния повреждённых лесов применяют различные методики в зависимости от целей и задач проводимых работ. В основе методов сбора и анализа информации о состоянии лесов лежат два аспекта: 1) оценка состояния на момент обследования; 2) определение степени изменения состояния за определённый период. При этом используется широкий спектр изучаемых показателей. Ряд авторов предлагает определять степень поражения древесной растительности по изменению класса бонитета (Wentzel, 1971), по изменению видового состава и структуры насаждений (Гальперин, 1972), по учету усыхающих деревьев и сухостоя (Щербаков, Чередниченко, 1966), по изменению прироста ствола по диаметру (Антонов, 1970). Унифицировать эти показатели можно только применительно к «грубым» оценкам состояния древостоев. Для диагностики повреждений древостоев от аэротехногенного воздействия применяются как традиционные лесоводственно-таксационные методы, так и новые с учётом изменения физиологических процессов у древесных пород (Шавнин, и др. 1988). В результате лесопатологических исследований разработаны критерии, такие как «категория состояния», «классы повреждения», «баллы жизненного состояния» (Санитарные правила ..., 1998; Manual..., 1986; Временная методика..., 1986; Цветков и др., 1995; Алексеев, 1997). Разработана общеевропейская методика лесоэкологического мониторинга, имеющая 3 уровня сложности (Manual ..., 1994).

2. Природные условия регионов исследований

Исследования проводились на территории двух крупных регионов РФ:

Средний Урал. Регион исследований расположен на территории Свердловской области между 56° и 62° с.ш. и 57° и 66° в.д.; общая площадь его 193,6 тыс. км², протяженность с севера на юг свыше 600 км. С запада на восток регион охватывает осевую часть Урала с западными и восточными склонами, частично зауральский пенеппен. Исследования проводились в 6 районах (очагах

поражения аэротехногенными выбросами наиболее крупных промышленных центров Свердловской области) на землях 9 лесхозов: Красноуральского, Нижнетагильского, Пригородного, Ревдинского, Билимбаевского, Сухоложского, Асбестовского, Каменска-Уральского, Полевского. Все объекты исследований расположены в подзоне южной тайги, кроме Каменска-Уральского, который расположен в подзоне предлесостепных и сосново-берёзовых лесов. Основными лесообразующими породами являются сосна обыкновенная, ель сибирская и береза повислая и пушистая.

Север Средней Сибири. Район исследований расположен на территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) и Эвенкийского национальных округов Красноярского края, за полярным кругом на юге Таймырского полуострова, в северо-западной части Средне-Сибирского плоскогорья. Территория региона исследований (общая протяжённость с севера на юг составляет 400 км, с востока на запад – 150 км) расположена на землях Таймырского лесхоза. Объектом исследований являются предтундровые леса. По ботанико-географическому районированию Л. В. Шумиловой (1962а, 1962б) большая часть региона исследований входит в Хантайско-Норильский округ горного предтундрового редколесья, долинных лесов и бугристых лайд Норильско-Эвенкийской провинции. По схеме лесорастительного районирования район исследований относится к Путоранской провинции лиственничных лесов и редколесий (Назимова, 1969).

3. Объекты и методика исследований

На Среднем Урале исследования проводились в окрестностях 6 городов, входящих в десятку наиболее загрязнённых городов Свердловской области (по суммарному показателю загрязнения атмосферного воздуха). Районы исследований расположены в зонах действия крупных источников аэротехногенных загрязнений: Красноуральского медеплавильного комбината (КМК), Рефтинской ГРЭС (РГРЭС), Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК), Каменск-Уральского алюминиевого завода (КАЗ), Полевского криолитового завода (ПКЗ). Выбор данных объектов для исследований объясняется наличием в них достаточно выражен-

ных очагов поражения лесов и сформировавшейся пространственно-временной структурой повреждения древостоев. Оценка состояния сосновых лесов проводилась в районе КМК в 1989, 1990, 1993, 1999 гг., РГРЭС - 1991, 1993, 1995, 1997, 1999 гг., НТМК и СУМЗ - 1999 г., КАЗ и ПКЗ - в 2000.

На севере Средней Сибири исследования проводились в зоне действия Норильского горно-металлургического комбината (НГМК) в 1986-1990 гг. и частично в 2002.

Лесоводственно-таксационная характеристика объектов исследований. В регионе Среднего Урала в районах исследований преобладают чистые сосняки, сосняки с примесью березы, осины, ели, спелые и приспевающие, одноярусные и разновозрастные. Наиболее распространенный тип леса – разнотравный. Классы бонитета насаждений в основном II и III, полнота древостоев варьирует в пределах 0,5-1,1, преобладающие группы возраста 80-120 лет.

В регионе севера Средней Сибири основной лесообразующей породой является лиственница сибирская, сопутствующие породы - ель сибирская и берёза пушистая. В составе древостоев по запасу преобладает лиственница. Возраст древостоев лиственницы варьирует от 115 до 340 лет, ели - от 100 до 280 лет. Древостои, как правило, разновозрастные. Производительность большинства древостоев характеризуется Va классом бонитета, снижаясь до Vб класса в лиственничниках сфагновых и повышаясь до III класса в припойменных и пойменных частях рек. Древостои характеризуются низкими сомкнутостью полога и полнотой. На большей части исследуемой территории преобладают леса зеленомошной группы типов леса. В целом лесной растительности района Норильска свойственна большая неоднородность, мозаичность и микрокомплексность. Наблюдается “быстрая” пространственная смена группировок мохово-лишайникового и травяно-кустарничкового ярусов в зависимости от рельефа местности и почвенно-экологических условий.

Методика исследований. Масштабы очагов загрязнения и их количество в значительной мере определили выбор методов исследований и набор парамет-

ров для оценки степени трансформации лесных экосистем в пространственно-временных интервалах.

В очагах повреждения лесных насаждений, расположенных в зонах воздействия аэротехногенных загрязнений, организованы полигоны с сетью постоянных пробных площадей (ППП). Пробные площади закладывались в модальных лесных насаждениях с учётом степени повреждения древостоев и розы ветров. PPP закладывались в соответствии с ОСТ 56-69-83 (1983) с наличием не менее 150 - 200 деревьев основного элемента леса и размером не менее 0,2 га, а также методическим указаниям Н.П. Анучина (1984), А.А. Молчанова и В.В. Смирнова (1967). На PPP был произведен полный перечет растущих и сухостойных деревьев, сделаны геоботанические описания, изучены лесорастительные свойства почв. При определении типа леса руководствовались: в районе Норильска методическими указаниями В. Н. Сукачёва (1972), на Среднем Урале – Б.П. Колесникова и др. (1973). Все учётные деревья нумеровались масляной краской, и периодически оценивалось их состояние. Оценка состояния древостоев приводилась по двум шкалам - шестибальной общепринятой в нашей стране и пятибальной (методика ЕЭК "Draft manual ...", 1986) по дефолиации кроны. Для изучения динамики состояния древостоев проводились повторные оценки состояния: в регионе Среднего Урала в течение 12-летнего периода, в районе Норильска на севере Средней Сибири - 5-ти и 16-летний периоды. Для изучения радиального прироста на PPP отбирались керны с помощью возрастного бурава с 20-60 деревьев с учётом классов Крафта и их жизненного состояния. Обработка кернов проводилась в лабораторных условиях с использованием бинокулярного микроскопа МБС-9 с точностью измерения годичных колец 0,01 мм.

На PPP закладывались почвенные разрезы, изучалась морфология почв, отбирались образцы почв по генетическим горизонтам для химических анализов. В лабораторных условиях проводились анализы по следующей программе: рН водная (ГОСТ 26423), рН обменная (ГОСТ 26483), азот (ГОСТ 26107), со-

держание гумуса (по Тюрину), подвижные фосфор и калий (по Кирсанову), содержание тяжёлых металлов.

Образцы снега отбирали снегоотборником на всю глубину профиля в десятикратной повторности. В лабораторных условиях снеговую воду фильтровали через беззольный фильтр, определяли взвешенные вещества, а в фильтрате – SO_4^{2-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+2} , рН. Содержание тяжёлых металлов определяли в фильтрате и в пыли, осевшей на фильтре.

Образцы хвои и листьев отбирали с 20 деревьев на каждой PPP. Хвоя и листья деревьев, фитомасса травянистых растений после высушивания подвергались мокрому озолению. Анализы содержания Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Cd, K, Na, Ca проводились методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на приборе С-115-М. Содержание общей серы в тех же образцах определяли по методике Маслова (1978).

В воздухе содержание двуокиси серы определяли методом пассивных поглотителей (Fogan et al., 1958). Сорбент с двуокисью свинца устанавливали на PPP на высоте 2,5 м от почвы. Определяли накопление за месяц и пересчитывали на среднесуточное содержание SO_2 ($\text{мг}/\text{м}^2$ в сутки).

Математическая обработка числового материала проведена методами статистического анализа на персональном компьютере с использованием программ Microsoft Excel– V. 7.0 и Statistics V. 5.0.

Объём выполненных работ. На севере Средней Сибири организован полигон, включающий 32 PPP, расположенных на расстоянии до 150 км на северо-восток и 350 км на юг от источника выбросов НГМК. На Среднем Урале исследования проводились на шести полигонах, включающих 60 PPP.

За период исследований выполнены следующие объёмы работ: заложены 92 PPP; взято около 20 тыс. учётных деревьев; изучена почва по 80 разрезам и 500 образцам; с помощью возрастного бурава отобрано и проанализировано 450 кернов древесины; изучено 600 образцов снега; на содержание двуокиси серы в воздухе экспонировались на PPP, а в дальнейшем анализировались 200 образцов (сорбентов); анализировалось 215 растительных образцов, изучено фито-

логическое развитие у 120 деревьев; всего выполнено около 500 тыс. различных измерений.

4. Динамика состояния древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения

Пространственно-временная структура повреждения древостоев. В регионе Среднего Урала исследования общей динамики состояния лесных насаждений проводились на двух полигонах: Красноуральском и Асбестовско-Рефтинском. Пространственная структура повреждений изучалась ещё на четырёх полигонах.

Исследования динамики состояния древостоев на ППП в районе Красноуральска показали, что за период наблюдений с 1990 по 2002 гг. состояние сосновых древостоев ухудшилось в радиусе 7-15 км на восток, в 10 км - на север и в 7 км - на юг от КМК. На удалении 7 км на восток от КМК древостои перешли в категорию сильно повреждённых (т.е. произошли качественные изменения) – в 2002 году индекс повреждения составил 4,1 на ППП В-7 (рис. 1).

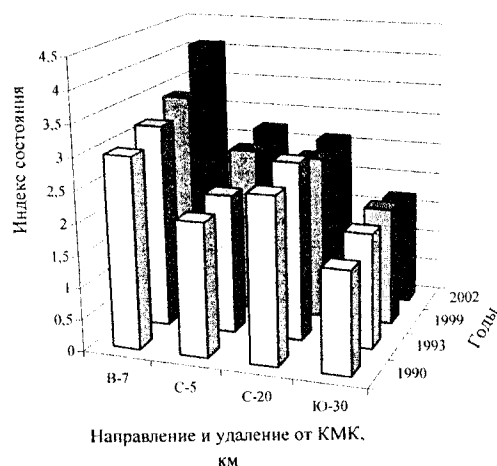


Рис. 1. Динамика жизненного состояния сосны в районе КМК

На остальных обследованных ППП (кроме контроля) также наблюдается увеличение степени повреждения древостоев, но не столь значительное. Состояние ели, пихты и, особенно, лиственницы там, где они присутствуют в со-

ставе древостоев, лучше, чем сосны по всем изученным показателям. Ежегодный отпад деревьев сосны в наиболее повреждённых древостоях составил от 1,5 до 2%.

Изучение состояния древостоев в Рефтинско-Асбестовском районе показало, что большинство из них относятся к слабо поврежденным. Согласно обследованию состояния насаждений в 1999 году их «жизненный статус» незначительно ухудшился на всех ППП по сравнению с состоянием в 1993 г. (рис. 2), но не столь существенно, как на ППП в районе Красноуральска. По существу изменения изученных параметров состояния древостоев здесь следует признать количественными, а не качественными.

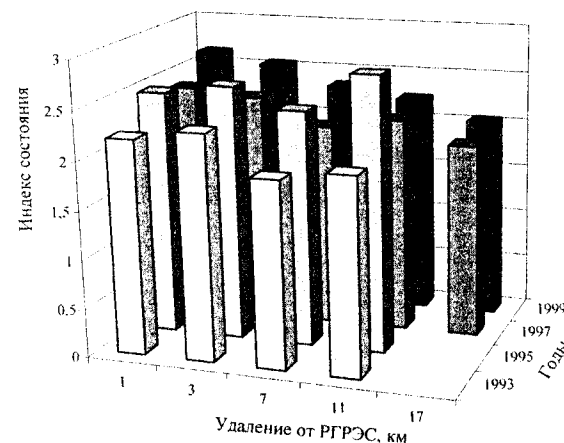


Рис.2. Динамика жизненного состояния сосны в восточном направлении от РГРЭС

Изучение состояния и динамики повреждения древостоев в 6 локальных очагах аэротехногенного загрязнения в регионе Среднего Урала показало, что в большей степени повреждены сосновые древостои в районах Красноуральска и в Рефтинско-Первоуральском. Здесь имеются зоны сильно повреждённых (устрашающих) древостоев. В 4 других районах такой степени деградации древостоев не наблюдается. Ранжируя очаги поражения лесов по масштабу повреждения

древостоев от большего к меньшему можно построить следующий ряд районов: Ревдинско-Первоуральский, Красноуральский, Рефтинско-Асбестовский, Нижнетагильский, Каменск-Уральский, Полевской. С учётом динамики повреждения древостоев в последние 10 лет на первое место следует поставить район Красноуральска. Высоковозрастные сосновые древостои, примыкающие к промузлам, при типе выбросов кислые газы + тяжелые металлы, из категории средне поврежденных переходят в сильно поврежденные за 7-10 лет. В условиях типа загрязнения кислые газы + щелочная зола процесс дигрессии идет медленнее.

Регион севера Средней Сибири. Основные массивы повреждённых аэротехногенными выбросами древостоев расположены на юг и на северо-восток от Норильска. Изучение состояния древостоев на ППП и пространственно-временная структура их повреждений показали, что лиственничные и берёзовые древостои снижают устойчивость за 4-летний период наблюдений, как правило, на 1 класс: средне повреждённые переходят в сильно повреждённые и т. д. (рис. 3).

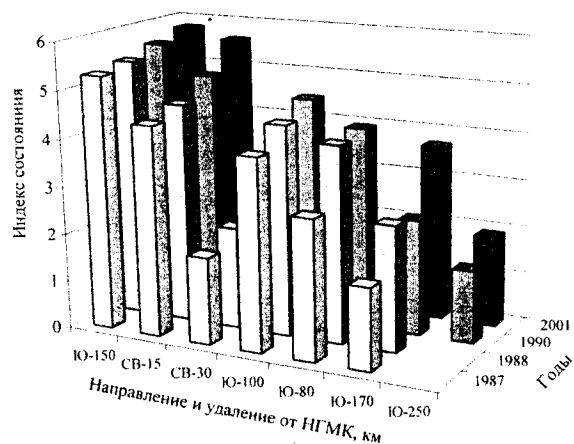


Рис. 3. Динамика состояния лиственницы в районе Норильска

За 15-16 летний период степень повреждения древостоев местами увеличилась даже на 2 класса – слабо повреждённые перешли в категорию сильно повреждённых. Темпы дигрессии увеличиваются на завершающих этапах повреждения

древостоя. Процессы дигрессии еловых древостоев идут более медленными темпами, чем лиственничных и берёзовых (рис. 4).

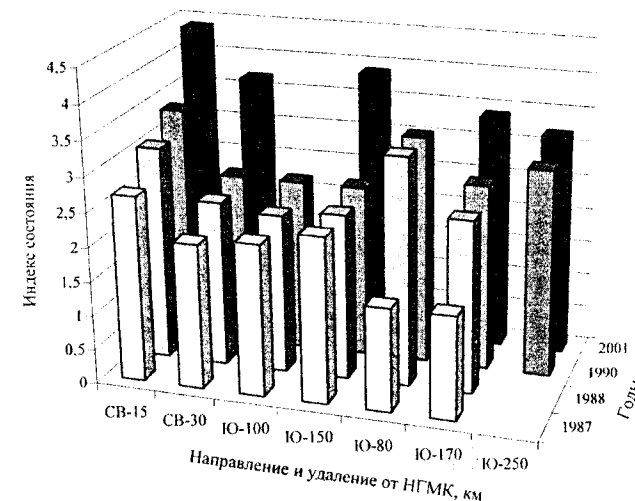


Рис. 4. Динамика состояния ели в районе Норильска

Изучение динамики отпада в регионе севера Средней Сибири показало, что в период исследований (1986-1990 гг.), под воздействием аэротехногенных выбросов НГМК, в предтундровых лиственничных лесах в среднем усыхает от 1 до 10% деревьев в год (в зависимости от стадии деградации древостоя). Данный фактор анализировался с учётом того, что здесь (как показали исследования) в результате естественного отпада в фоновых древостоях может накапливаться сухостойных деревьев до 20-27% в равнинной части и около 50% в горной части.

Сравнительная оценка темпов усыхания древостоев под воздействием аэротехногенного загрязнения в двух природно-климатических зонах показала, что в предтундровых лесах севера Средней Сибири темпы усыхания древостоев в среднем, в 3-8 раз выше, чем на Среднем Урале. Это объясняется более жесткими лесорастительными условиями в первом случае.

Текущий прирост деревьев по радиусу и площади сечения стволов. В процессе исследований на ППП на Среднем Урале установлено, что падение при-

ростов радиального и по площади сечения стволов деревьев зависит от класса Крафта и их жизненного состояния. Снижение прироста по площади сечения от 30 до 50%, по сравнению с контролем, характерно для деревьев IV класса Крафта, в то время как для деревьев I-II классов Крафта оно в пределах 11-25%. У деревьев III класса Крафта прирост стволов снижается в среднем на 30%. В контроле текущий прирост по площади сечений стволов за 1988-1999 гг. составил 31,18 см², в зоне сильного загрязнения – 29,07 см². Дисперсионный анализ подтвердил различие в приросте стволов по площади сечений - $F=28,830$ с $\alpha>0,01$.

Если выразить снижение прироста стволовой древесины индексом, представляющим собой отношение прироста стволов деревьев, растущих в условиях загрязнения и прироста в условиях фоновых $Y_z = Z_{\text{ви}} : Z_{\text{вк}}$ или $Z_{\text{п}} : Z_{\text{к}}$, где Y_z – индекс падения прироста; $Z_{\text{п}}$ – прирост загрязнённого древостоя, м³; $Z_{\text{к}}$ – прирост контрольного древостоя, м³, то полученные индексы для соответствующих классов жизненного состояния и классов Крафта деревьев можно представить в виде табл. 1.

Таблица 1

Учет потерь прироста древесины под воздействием аэротехногенных загрязнений в спелом сосновом древостое (степень среднего повреждения)

Класс Крафта	Индекс падения прироста по классам жизненного состояния			
	I	II	III	IV
I	0,86	0,77	0,75	0,89
II	0,78	0,75	0,71	0,80
III	0,67	0,75	0,67	0,67
IV	0,67	0,67	0,50	0,50

В целом падение прироста в древостое колеблется в пределах 11-50%. Потерю запаса древостоев от снижения прироста древесины отдельными его деревьями можно определить, используя предложенные индексы. Для этого необходимо проведение перечета в повреждённом древостое сочетать с определени-

ем классов их жизненного состояния и классов Крафта, с последующим определением запаса в каждом классе. Полученные запасы составляют указанную в таблице долю от потенциального запаса каждого класса. В целом по древостое для укрупненной его оценки можно использовать среднюю величину индекса падения прироста $Y_z \approx 0,72$.

Полученные результаты исследований показали, что снижение приростов стволов по радиусу под воздействием аэротехногенного загрязнения, надежно улавливается, начиная с класса “среднеповрежденный древостой” (средний индекс повреждения более 2,7-3,0 по 6-балльной шкале).

В результате исследований в районе Норильска выявлены аномалии в приросте стволов в пределах значительных территорий, как у деревьев, имеющих визуальные признаки повреждений, так и у внешне совершенно здоровых деревьев. Имеются различия между средними значениями фактических и прогнозируемых приростов стволов, снижается связь с климатом. Начало аномальных изменений в радиальном приросте стволов относится к 1965-1970 гг. (Ившин, Менщиков, 1989; Ившин, 1993). У древостоев, произрастающих в неблагоприятных условиях местообитания и наиболее близко расположенных к источнику выбросов, наблюдается постоянное снижение радиального прироста несмотря на значительное улучшение климатических условий со второй половины 70-х и 80-х годов (Ившин, 1993). Потери прироста при этом достигают более 100% от прогнозируемого. У древостоев, произрастающих в более благоприятных условиях местообитания, наблюдается более дифференцированная реакция прироста стволов на загрязнение.

Связь дефолиации крон и радиального прироста. Изучение связи дефолиации крон со среднегодовым радиальным приростом стволов за 10 последних лет у сосны на пробных площадях в Красноуральском и Рефтинско-Асбестовском районах показало неоднозначность ответной реакции древостоев на аэротехногенную нагрузку по данным показателям. Сначала на всех IIII идет резкое снижение прироста по диаметру стволов (дефолиация кроны 11-25%), затем его повышение (при дефолиации 26-40%) и далее с увеличением

дефолиации крон происходит дальнейшее снижение прироста. Возможная причина, объясняющая полученную зависимость, приводится в работе W.Beyschlag et al (1994). Авторами установлено, что потеря фотосинтезирующей поверхности хвойными деревьями идет за счет старой хвои, что приводит к увеличению уровней ФАР внутри изреженных крон. И за счет высокой фотосинтетической активности молодой хвои происходит компенсация снижения ожидаемого радиального прироста стволов. Кроме того, можно ожидать положительное влияние потери старой хвои на более эффективное использование воды деревьями.

5. Уровни загрязнения в очагах поражения лесов

В условиях аэротехногенного загрязнения лесов изучение геохимических параметров лесных насаждений в их границах (в гл.5 приводятся количественные показатели содержания ингредиентов выбросов в воздухе, снеговой воде, почве, растениях) представляет само по себе значительный научный интерес и, кроме того, имеет существенное значение для выявления причинно-следственных связей изменения биологических параметров состояния лесных насаждений.

На Среднем Урале и в районе Норильска основная часть газообразных выбросов – кислые газы, твердых – тяжелые металлы и щелочно-земельные элементы (калий, натрий, кальций, магний). Значительный вклад в загрязнение лесов на Среднем Урале вносят также теплоэлектростанции, работающие на угле (самая крупная – Рефтинская ГРЭС), которые выбрасывают в воздух кислые газы (в основном, двуокись серы) и сильнощелочную золу (рН около 9-10).

Изучение степени загрязнения воздуха методом пассивных поглотителей в регионе Среднего Урала показало, что наибольшее содержание двуокиси серы в 6 изученных районах наблюдается в импактных зонах КМК (район Красноуральска), РГРЭС (Рефтинско-Асбестовский район), СУМЗ (Ревдинско-Первоуральский район). Анализ уровня загрязнения двуокисью серы приземного слоя воздуха, в районе Красноуральска например, показал, что максимальное содержание («активность») SO_2 в воздухе $42,9-54,6 \text{ мг/м}^2$ сут. обнаруживается на удалении 1 км от КМК, а на удалении 7 км она составляет $38,5-39,2 \text{ мг/м}^2$

сут. Минимальное содержание - в контроле (фоновые насаждения в 30 км), этот показатель $11,6-16,7 \text{ мг/м}^2$ сут. Пересчет значений SO_2 в воздухе в объемные единицы показывает, что на удалении до 7 км от КМК концентрация диоксида серы превышает разработанные среднесуточные предельно допустимые концентрации для древесных пород (Временные нормативы ..., 1984; Отчёт..., 1990) в 2-2,5 раза.

Изучение уровня загрязнения воздуха в районе Норильска на ППП и в зоне техногенной пустоши показало, что здесь загазованность очень высока ($SO_2 - 83 \text{ мг/м}^2$ в сутки), в среднем в полтора-два раза выше, чем в импактных зонах очагов загрязнения на Среднем Урале. Сильные ветры в данном регионе обусловили перенос газов на значительные расстояния – до 150-200 км и более от источника аэротехногенных выбросов. Особенно высоки концентрации SO_2 в южном направлении от Норильска до 80 км (73 мг/м^2 в сут).

Анализ уровня загрязнения снега в регионе Среднего Урала показывает, что в локальных очагах аэротехногенного загрязнения твердых выбросов оседает от 140 до 930 кг/га (район Красноуральска). Показатель рН снеговой воды варьирует от 5,0 до 6,2. В зоне сильного повреждения он составляет $6,1 \pm 0,14$, в фоновых условиях $pH=4,76 \pm 0,502$. В фильтрате снеговой воды значительно повышается содержание калия, натрия и магния во всех пробах. С приближением к КМК отмечается увеличение содержания тяжелых металлов в снеге. На удалении 15 км от комбината их концентрация выше в 2-3 раза по сравнению с фоном. На удалении 7 км это увеличение уже составило 5-9 раз. В непосредственной близости от КМК (0,5 км), где древостой погиб превышение выпадения металлов составило по Cu - в 15, Ni -13, Zn -19, Pb -13 раз по сравнению с фоном. В районе Норильска тяжелых металлов накапливается в снежном покрове на порядок больше (следует учесть, что и зима здесь продолжительнее), чем в очагах аэротехногенного загрязнения на Среднем Урале. В пробах снега взятых на ППП в районе Норильска показатель рН снеговой воды варьирует от 5,0 до 8,1. Наблюдается увеличение показателя рН по мере приближения к источнику выбросов. По мере приближения к Норильску увеличивается также количество

взвешенных частиц (пыли) в снеговой воде. Особенно резко возрастает их количество в 5 км от НГМК- 145,8-169,4 мг/л (в 125 км-19 мг/л). Глубина снежного покрова колеблется от 0,5 до 2 м, что свидетельствует о значительном перераспределении зимних осадков на территории, а вместе с ними и фитотоксикантов. В твёрдой фракции выбросов осевших за зимний период в снежном покрове из тяжёлых металлов доминирует цинк, потом по мере убывания: железо, медь, никель. Много также марганца, а на многих ППП также и свинца. Во всех образцах снега обнаружен кадмий.

Изучение уровня загрязнения почв на ППП на Среднем Урале показало, что по мере приближения к источникам выбросов увеличивается содержание тяжелых металлов в верхних горизонтах исследуемых почв. Так, например, в районе Красноуральска в непосредственной близости от КМК отмечается превышение значений концентраций тяжёлых металлов в среднем в 15 раз по сравнению с фоном.

В районе Норильска аэротехногенное загрязнение также оказывает существенное воздействие на химический состав исследуемых почв. Верхние горизонты почвы ППП Ю-11 (2 км от завода) несколько подщелочены (рН-7,1). Анализ почвенных образцов на содержание серы показал, что её количество находится в пределах 0,21-0,91%. Определение подвижных форм соединений меди, кобальта, никеля показало, что их количество максимально в верхних горизонтах почв на ППП, расположенных вблизи источника выбросов. Эти величины на один - два порядка превышают верхние пороговые концентрации этих микроэлементов в почвах (для меди- 60 мг/кг, кобальта - 30 мг/кг, никеля - 10 мг/кг) при которых происходит нормальный рост и развитие растений (по Ковальскому, 1974). В подстилках лесных насаждений, удаленных от Норильска на 150 км (ППП Ю-16, Ю-17), концентрации этих элементов падают: меди более чем в 20 раз, кобальта - в 6-12 и никеля - в 50-150 раз. Еще большая разница наблюдается в содержании элементов, растворимых в ацетатно-аммонийном буфере. Количество подвижных форм меди, кобальта и никеля в подстилке сильнозагрязненных почв ППП Ю-11 (2 км от НГМК) превышает их

содержание в подстилках, удаленных от комбината на 60 и более км (ППП Ю-16, Ю-17, СВ-24, СВ-25): меди в 150-300 раз, кобальта в 4-7 раз и никеля в 100-150 раз. Анализ содержания кобальта и никеля показывает, что в среднем никеля в почве больше, чем кобальта почти на порядок. В зоне сильного загрязнения в почве из тяжёлых металлов доминируют медь и никель.

Сравнительный анализ степени загрязнения геохимического фона показал, что она в очаге поражения лесов региона севера Средней Сибири (в районе Норильска) в среднем на порядок выше, чем в очагах поражения лесов на Среднем Урале. Содержание основных элементов аэротехногенных выбросов в зонах сильного загрязнения изученных очагов поражения лесов в несколько раз (зачастую в десятки раз, а в районе Норильска - в сотни раз) превышает фоновые и пороговые концентрации данных элементов в почвах.

6. Основные закономерности реакции лесных насаждений на аэротехногенное загрязнение

Анатомо-морфологическая характеристика ассимиляционного аппарата ели, лиственницы, ели и березы. Воздействие аэротехногенного загрязнения на анатомо-морфологические показатели хвои и листьев изучалось в районе Норильска на шести ППП. Модельные деревья подбирались с учётом степени повреждения дерева и зоны загрязнения.

Под воздействием аэротехногенного загрязнения НГМК у лиственницы и ели в зависимости от стадии повреждения деревьев наблюдаются адаптационные перестройки в анатомо-морфологическом строении хвои. Наблюдается ксерофитизация хвои, проявляющаяся в основном в увеличении как толщины покровных тканей - эпидермиса и кутикулы, так и хвои в целом. У лиственницы такие перестройки наблюдаются в основном у слабо повреждённых деревьев II категории жизненного состояния. У ели подобные перестройки отмечены у хвои двухлетнего возраста, причём в отличие от лиственницы у деревьев всех категорий жизненного состояния, начиная со II и кончая IV. У берёзы также наблюдаются адаптационные перестройки в листьях в зависимости от аэротехногенной нагрузки, но они слабее и не так чётко выражены, как у ели

Феноритмика сезонного развития лесообразующих пород. Фенологические наблюдения за сезонным развитием лиственницы, ели и берёзы проводились в районе Норильска в течение вегетационных периодов 1987-1989 гг. на двух ППП, заложенных в однотипных по лесорастительным условиям насаждениях: в зоне сильного повреждения древостоев и в зоне слабого повреждения (условный контроль). Расстояние от источников выбросов - соответственно 12 и 30 км на северо-восток от Норильска. Фенологические наблюдения показали, что лесообразующие породы по-разному реагируют на аэротехногенную нагрузку. В зоне сильного повреждения по сравнению с зоной слабого повреждения вегетационный период у лиственницы на две недели короче за счет более раннего пожелтения хвои. У берёзы также наблюдается запаздывание некоторых феноритмов. Учитывая, что весь вегетационный период длится в данном районе два месяца, такая разница существенна. У ели таких чётких отклонений не наблюдается.

Устойчивость ассимиляционного аппарата деревьев к "кислотным дождям" (критические периоды в сезонном развитии). В районе Норильска были проведены опыты по изучению сезонной устойчивости лиственницы, ели и берёзы к кислотным дождям, которые помогли выявить критические периоды в сезонном развитии деревьев и относительную устойчивость их ассимиляционного аппарата к аэротехногенному загрязнению. Для проведения опытов использовались в зоне слабого повреждения как взрослые древостой (обрабатывались слабым раствором серной кислоты отдельные ветви), так и подрост (обрабатывался полностью).

Анализ устойчивости деревьев к слабым растворам кислоты показал, что наиболее чувствительным к кислым осадкам является ассимиляционный аппарат берёзы, т.к. уже при обработке 0,5%-ным раствором кислоты в июне происходит стопроцентное повреждение (некрозы и хлорозы) листьев у подростка берёзы, а при дождевании 0,75% раствором кислоты происходит полная дефолиация. Повреждаемость ассимиляционного аппарата берёзы в июне составляла

100%, тогда как в августе она снизилась до 65,3%, что также объясняется слабым развитием покровных тканей молодой листвы в июне.

При определении сезонной устойчивости лиственницы к раствору кислоты получены несколько противоречивые данные. Опираясь на опыт с опрыскиванием подростка лиственницы, можно сделать вывод о том, что хвоя лиственницы обладает большей устойчивостью в августе, чем в начале вегетационного периода (конец июня), так как общая повреждаемость хвои в августе составляет 22,1%, что в 2,6 раза ниже, чем она была в конце июня. При обработке же веток со взрослых деревьев лиственницы раствором кислоты той же концентрации средняя повреждаемость хвои в июне составляла 9,0%, а в августе - 47,5%.

Наиболее устойчивым в опыте по всем оцениваемым показателям оказался ассимиляционный аппарат ели, скорее всего благодаря мощному слою покровных тканей (особенно кутикулы) многолетней хвои, приспособленных к жёстким условиям Субарктики. Ощутимые повреждения хвои ели наблюдаются только при обработке ее однопроцентным раствором кислоты в конце июня (общее повреждение хвои составило 22,8%). В августе повреждение было незначительно и составляло 1,7%. В июне у ели наблюдается достоверное снижение осевого прироста обработанных кислотой ветвей при 0,05%-ном уровне значимости. В августе отставшие в росте ветви догоняют контрольные, и различия по приростам становятся несущественными.

Данные по приростам осевого побега подростка свидетельствуют о резком его сокращении - более чем в 2 раза у берёзы и на 35% у лиственницы, обработанных раствором кислоты в июне по сравнению с необработанными. Замеры приростов осевого побега ели свидетельствуют о некотором замедлении роста в первые дни после опрыскивания по сравнению с контрольными побегами (разница в июне статистически достоверна на пятипроцентном уровне значимости). Но в августе различия по приростам становятся несущественными. Полученные данные для зоны лесотундры позволяют конкретизировать период наибольшей чувствительности ассимиляционного аппарата лесообразующих пород к аэротехногенным выбросам в регионе исследований.

Основываясь на фенологических исследованиях, на опытах по имитации “кислотных дождей” и на анализе среднесезонных метеоданных, можно выделить критический период для древостоев к выбросам – около 2-х недель после начала распускания почек. В районе Норильска это вторая половина июня, а иногда и первая декада июля. В этот период аэротехногенные выбросы в атмосферу НГМК необходимо снижать до минимума и не планировать профилактические работы с очистными установками (а если возможно и останавливать производство), что позволит значительно снизить ущерб, наносимый лесотундровым экосистемам.

В сравнительном плане в условиях кислотно-щелочного типа загрязнения воздействие на лесные насаждения менее жёсткое, чем в условиях кислотного типа + тяжелые металлы. Масштабы повреждения лесов при первом типе загрязнения менее значительны, чем при втором, хотя объёмы выбросов сопоставимы.

Относительная устойчивость лесообразующих пород. Проведённый анализ динамики состояния и структуры лесных насаждений в очагах аэротехногенного загрязнения на фоне разных физико-географических условий показал, что устойчивость одних лесообразующих пород относительно других определяется довольно широким спектром их внутренних (биологических и экологических) свойств по отношению ко многим внешним факторам и, кроме того, имеет зональную специфику. Большое положительное влияние феномена листопадности на газоустойчивость, на наш взгляд, зачастую не даёт никакого преимущества, уступая место более значимым эколого-генетическим факторам, особенно на фоне различных физико-географических условий (природно-климатических зон). Например, на севере Средней Сибири ель оказалась устойчивее лиственницы к аэротехногенному воздействию, а берёза занимает промежуточное положение (в некоторых случаях берёза повреждается и погибает даже быстрее лиственницы, да и биологический возраст жизни лиственницы гораздо выше, чем у берёзы). В регионе Среднего Урала, наоборот, лиственница более устойчива. В силу ветровальности ели лиственница имеет определённые преимуще-

ства и в целом продвинулась на север дальше, чем ель, однако ассимиляционный аппарат ели (многолетняя хвоя выдерживает суровые зимы Субарктики), более устойчив (особенно покровные ткани) к загрязняющим веществам, что является одним из факторов большей “выживаемости” ели в зоне действия НГМК. В оценке относительной газоустойчивости лесообразующих пород важно также за какой временной интервал делается такая оценка – за текущий период (год, несколько лет), за период жизни одного поколения древостоя, нескольких поколений и т. д. Относительная устойчивость древесных пород также зависит и от специфики аэротехногенного воздействия: острое (высокими концентрациями загрязнителей) или длительно хроническое (низкими концентрациями длительный период). Часто выводы по газоустойчивости лесообразующих пород делаются на основании опытов в контролируемых условиях, в фумигационной камере с сеянцами, саженцами, со срезанными ветвями и т.д., либо по исследованиям в одной природно-климатической зоне, зачастую, ещё и за короткий временной интервал. Разработанные на такой основе рекомендации и шкалы газоустойчивости древесных пород в дальнейшем являются определяющими в выборе ассортимента посадочного материала при лесовосстановлении в очагах загрязнения и в целом стратегии оптимизации техногенных ландшафтов. В силу указанных выше причин, утвердившиеся точки зрения на газоустойчивость древесных пород, необходимо пересмотреть, с учётом полученных нами новых данных. Имеющиеся шкалы газоустойчивости лесообразующих пород и разработанные на их основе практические рекомендации нуждаются в серьёзной проверке и корректировке.

Исследования показали, что по устойчивости к аэротехногенному воздействию лесообразующие породы образуют следующий ряд (в сторону ослабления устойчивости): в регионе Среднего Урала – берёза, лиственница, ель, сосна; в регионе севера Средней Сибири – ель, берёза, лиственница.

Роль накопленного воздействия аэротехногенного загрязнения в лесных насаждениях. В силу того, что любая экосистема обладает такими свойствами, как упругость и эластичность (растяжимость) в своей ответной реакции на по-

действие неблагоприятных факторов, в ней присутствует накопленное воздействие. Причем, чем выше биологическая интеграция и сложнее система, как например, лесная экосистема, тем следует ожидать более длительного периода для проявления эффекта накопленного воздействия. Эффект накопленного воздействия в сформировавшихся очагах хронического загрязнения лесов, где экологическая ситуация стабилизировалась, не происходит изменений, которые относятся к качественным (границы зон поражения древостоев не изменяются продолжительный период), может проявляться с течением времени без каких-либо дополнительных внешних факторов. Возможно также проявление данного эффекта через короткий промежуток времени, вызванное воздействием какого-либо “катализатора”.

Для проявления накопленного воздействия “катализатором” могут служить различные экстремальные факторы. Так, например, в зоне действия КМК в районе Красноуральска много лет не наблюдалось существенных сдвигов в сторону ухудшения состояния древостоя (объемы выбросов не повышались, а зачастую и снижались во времена экономического спада), границы зон поражения лесных насаждений стабилизировались (см. гл.4). В 1995 г. на хронический фактор аэротехногенного воздействия наложился фактор низового пожара (ППП В-7 в зоне среднего загрязнения). Сам по себе пожар такой интенсивности не мог бы привести к гибели древостоя. Однако в результате произошёл резкий сдвиг динамики состояния насаждения (появилось много сухих и усыхающих деревьев) – древостой перешёл в категорию усыхающего за 3 года.

Анализ динамики степени повреждения древостоев на ППП по морфологическим признакам (дефолиация и дехромация хвои) и динамики отпада показал, что повышенный отпад зачастую наблюдается в менее повреждённых древостоях без воздействия каких-либо дополнительных внешних факторов. Отметим, что во все годы наблюдений в районах исследований учитывались аэротехногенная нагрузка, погодные условия, другие возможные внешние факторы. Такие негативные изменения в жизненном состоянии насаждений можно клас-

сифицировать как качественные. Это является одним из проявлений накопленного воздействия.

Причинно-следственные связи повреждений лесных насаждений. Причинно-следственные связи повреждений лесов необходимо устанавливать в каждом очаге аэротехногенного загрязнения. В определённой степени доказательными являются закономерности пространственного расположения повреждённой растительности при локальном и региональном уровнях загрязнении атмосферы (в соответствии с розой ветров границы очага, как правило, указывают на источник загрязнения). Однако, в данном случае, необходимо учитывать, что не всегда имеется прямая линейная зависимость степени повреждения лесных экосистем с расстоянием до источника аэротехногенных выбросов. Кроме того, как было показано выше, ответная реакция экологических систем наступает позднее самого воздействия в связи с их упругостью и эластичностью. Поэтому для установления причинно-следственных связей повреждений необходимо изучать динамику состояния видов эдификаторов на протяжении периода достаточного для проявления эффекта накопленного воздействия. Данный метод применим к сформировавшимся очагам поражения (в зонах хронического загрязнения), где уже произошли качественные изменения состояния лесных насаждений.

Изучение причинно-следственных связей повреждений лесов на Среднем Урале показало, что наиболее тесная и статистически достоверная связь (например, в зоне действия КМК) существует между показателями жизненного состояния деревьев и содержанием серосодержащих веществ в почве и хвое сосны текущего года ($r = 0,88-0,90$). Корреляция между показателями степени повреждения и уровнем «активности» SO_2 в воздухе высока ($r = 0,69-0,83$), но статистически недостоверна. Однако такую связь можно и не обнаружить в силу имеющегося в очагах хронического загрязнения накопленного воздействия.

В районе Норильска загрязнение снега и воздуха в юго-восточном направлении сильнее и распространяется дальше. Поэтому масштабы повреждения лесов здесь значительно больше, чем в северо-восточном направлении. Большой массив полностью усохших лиственных лесов обнаружен в 120 км от Но-

рильска на юго-восток (ППП Ю-38). Активность двуокиси серы в воздухе здесь была: в 1989 г. – 0,35, в 1990 г. – 1.2 мг/дм² в сутки. В слабо повреждённых лесных насаждениях содержание сухих и усыхающих деревьев лиственницы составляет 25-30%, а “активность” двуокиси серы в воздухе – 0,19-0,33 мг/дм² в сутки, содержание SO⁻²₄ в снеговой воде – 8,81 мг/л. В контроле (древостой без видимых признаков повреждений) в 150 км на северо-восток и 250 км на юг от НГМК сухих и усыхающих деревьев от 2,5 до 15,7, а с пожелтевшей хвоей – до 8,7%. Изменение окраски хвои лиственницы связано со степенью загрязнения воздуха в летнее время и снега – в зимнее. Высокие концентрации SO₂ в июне 1990 г. в районе Талнаха (ППП СВ-6) – 2,46 мг/дм² в сутки вызвали дехромацию хвои у 80,5% деревьев уже в конце июня, в то время как на ППП СВ-5 при содержании двуокиси серы в воздухе 0,96 мг/дм² в сутки окрасилось только 11,8% деревьев. В 1989 г. загрязнение воздуха на этих пробных площадях было одинаково, а снега почти на порядок выше на ППП СВ-5, соответственно и деревьев с пожелтевшей хвоей здесь было больше.

Базируясь на данных многолетних исследований динамики состояния лесных насаждений в очагах повреждения промышленными выбросами и в условиях фона, мы предлагаем для таёжной зоны Урала древостой со средним индексом жизненного состояния 1-1,7(2) (по шестибальной шкале) классифицировать как фоновое, а превышение данного показателя относить к локальному уровню воздействия.

Устойчивость лесных насаждений в условиях антропогенного загрязнения. Под критическим состоянием экосистемы (критической точкой) понимается такое состояние, в котором происходит ее качественная перестройка (Экосистемы ..., 1989). Под качественным преобразованием экосистемы понимается процесс изменения в составе элементов, названных при определении системы, или в связях между ними. Остальные изменения могут считаться количественными или признаваться несущественными.

Следуя данному определению, критическим состоянием в лесной экосистеме (в зоне тайги Урала) мы можем считать ситуацию, когда под воздействи-

ем антропогенного загрязнения начинает необратимо повреждаться и гибнуть древесный ярус. Сложнее с пониманием критической ситуации в зоне лесотундры, где для насаждений характерна редкостойная структура. В лесотундровой зоне эдификаторная роль древостоя менее выражена, доминируют редколесья и значительную долю в общей фитомассе растительных сообществ занимают кустарнички, полукустарники, мхи и лишайники. Поэтому в регионе севера Средней Сибири базовыми параметрами для диагностики повреждений лесотундровых экосистем являются показатели жизненного состояния перечисленных растительных ярусов. В связи с дигрессией и гибелью каждого из них (входящих в определение лесотундровой экосистемы) можно связывать критическое состояние экосистемы в границах данного лесного насаждения. В этом заключается принципиальное отличие подходов для определения критического состояния лесных экосистем и оценки процессов дигрессии в двух природно-климатических зонах – лесотундровой зоне и зоне тайги.

7. Оценка и прогноз жизненного состояния лесных насаждений и способы оптимизации экологической ситуации

Региональная шкала оценки степени повреждения лесных насаждений в очагах антропогенного загрязнения и прогнозирование их состояния.

Среди биологических параметров лесных насаждений наиболее адекватно, как показано выше (см. гл.4), отражают процесс дигрессии параметры состояния древесного яруса. Структура древостоя, динамика отпада и ретроспективный анализ текущего радиального прироста, например, позволяют оценить факторы текущего и накопленного воздействия. Для оценки жизненного состояния древостоя используются интегральные классы, основанные на учёте морфологических биоиндикационных признаков повреждения деревьев. Применительно к задачам диагностики повреждения древостоев от антропогенного загрязнения на основе изученных показателей, с учётом региональных особенностей, целесообразно выделять шесть классов жизненного состояния (повреждения) деревьев:

1. Не повреждённые (фоновые без признаков ощутимых повреждений) - степень дефолиации 0-20%. Продолжительность жизни хвои у сосны более 3,5 лет, у ели более 8 лет.
2. Слабо повреждённые - степень дефолиации 21-40%, продолжительность жизни хвои у сосны 3-3,5 года, у ели – 6-8 лет.
3. Средне повреждённые - степень дефолиации 41-60%, продолжительность жизни хвои у сосны 2,0-2,9 года, у ели – 4-5,9 года.
4. Сильно повреждённые (усыхающие) - степень дефолиации 61-99%, продолжительность жизни хвои у сосны менее 2 лет, у ели – менее 4 лет.
5. Свежий сухостой.
6. Старый сухостой.

Определение степени дефолиации крон деревьев должно проводиться по шкале ЕЭК. Индекс повреждения древостоя на участке - выделе рассчитывается как средневзвешенное из категорий (классов, баллов) состояния 100-120 деревьев, учтённых на пробной площади или при ленточном перечёте по ходовой линии (на маршруте).

В связи с характером загрязнения воздушного бассейна в регионе Среднего Урала и некоторыми другими региональными особенностями, необходимо скорректировать границы интервалов индексов повреждения всех категорий деревьев, относительно общепринятой шкалы (табл. 2). Каждая из категорий состояния древостоя характеризуется определённым набором конкретных лесоводственных и лесопатологических показателей. В частности, снижение текущего прироста в изученных очагах повреждения (не зависимо от состава выбросов) надёжно улавливается, начиная с категории средне повреждённые. Здесь же начинается повышенный отпад. Приведенные средние индексы (баллы) состояния древостоя могут быть использованы при оконтуривании участков, таксационных выделов и целых зон с разной степенью повреждения лесных насаждений в очагах загрязнения для определения ущерба.

Региональная шкала оценки жизненного состояния сосны и ели в очагах аэротехногенного загрязнения (Меншиков, 2001)

Степень повреждения древостоя	Индекс повреждения древостоя	
	по скорректированной шкале «Санитарные правила...»	по скорректированной шкале ЕЭК
Не повреждённые (фоновые)	1,0-1,7(2,0)	До 1,0
Слабо повреждённые	1,8(2,1)-2,7(3,0)	1,1-1,7
Средне повреждённые	2,8(3,1)-3,5	1,8-2,5
Сильно повреждённые (Гибнущие)	3,6-4,5	2,6-3,5
Погибшие	>4,5	>3,5

Для прогноза жизненного состояния насаждений в очагах поражения лесов аэротехногенными выбросами использовались данные 10 - летних наблюдений динамики состояния учётных деревьев на ППП. Например прогнозная продолжительность жизни сосновых древостоя в Красноуральском и Рефтинско-Асбестовском районах, рассчитанный по удельному индексу их повреждения составляет для перехода из стадии среднего повреждения в сильноповреждённые 15-20 лет.

Оценка ущерба лесам от аэротехногенного загрязнения. Несмотря на значительные достижения в исследовании негативного воздействия аэротехногенных выбросов на лесные насаждения, одной из нерешенных задач является разработка методики оценки ущерба лесам от аэротехногенного загрязнения. Учитывая сложность объектов оценки, наиболее трудным в методическом аспекте является выбор параметров для характеристики состояния и степени повреждения лесных насаждений в очаге загрязнения. Наиболее правильным считается оценка и анализ как можно большего количества показателей, характеризующих изменение состояния лесов. Однако на практике, с учётом больших объёмов работ, удаётся оценить ограниченное число показателей. Кроме того, следует учитывать, что далеко не каждое изменение состояния (особенно отдельных параметров и компонентов) лесного насаждения является нежелательным и будет объективно характеризовать степень повреждения. Известно, например,

что малые дозы двуокиси серы могут вызывать стимулирующий эффект – увеличивать текущий прирост (Алексеев, Ярмишко, 1981). Следует учитывать многие факторы: накопленное воздействие, специфику ответной реакции древостоев на различных стадиях дигрессии (например, наличие “пика” радиального прироста при дефолиации хвои в кроне сосны) и др.

В целом, обобщая исследования, проведённые ранее, методические разработки других авторов и результаты нашей работы в очагах загрязнения, следует заключить, что в основе оценки ущерба лесам от воздействия аэротехногенных выбросов должны лежать три группы показателей:

I - факторы «текущего» и «накопленного» воздействия;

II - прогнозная оценка ответной реакции лесных экосистем (в связи с «упругостью» лесных экосистем ответная реакция на техногенное воздействие наступает позднее);

III - факторы, определяющие причинно-следственные связи изменения состояния лесных насаждений (для доказательной базы и обоснованности претензий по ущербу).

Ущерб от воздействия загрязнений на лесные насаждения складывается из потери прироста древесины, увеличения массы отпада, снижения, соответственно, всех прижизненных полезностей леса, включая биосферные функции. Его оценка может быть проведена по формуле (Балацкий и др., 1984):

$$Y_{л.} = (\Delta\Pi_{д.} + \Delta O_{ц.} + \Delta O_{с.} + \Pi_{в.} S_{в.}) * K_{у}, \quad (1)$$

Комплексный коэффициент потерь полезных функций лесов (он составляет $K_{у} \approx 5,39$) может быть определен в настоящее время лишь ориентировочно, а потери древесины из-за возрастания отпада деревьев и снижения текущего прироста древостоя устанавливаются с необходимой точностью.

Исследования на ППП показали, что падение текущего прироста стволовой древесины зависит от класса роста и развития по Крафту (можно группировать по ступеням толщины) и жизненного состояния деревьев (коэффициенты потери текущего прироста в зонах аэротехногенного загрязнения на Среднем Урале приведены выше, см. табл.1). Потерю запаса древостоя от снижения прироста

древесины отдельными его деревьями можно определить, используя предложенные индексы по классам жизненного состояния: для I-II класса - 0,85-0,71, III-IV - 0,70-0,60. В целом по древостою для укрупненной его оценки можно использовать среднюю величину индекса падения прироста $Y_{л.} \approx 0,72$, однако, более точно, определять потерю прироста по классам жизненного состояния древостоев. В зоне сильного повреждения наблюдается, как правило, полная или очень сильная потеря лесосырьевых ресурсов лесных насаждений, и их оценка проводится по имеющимся нормативным документам. Предлагаемый подход предусматривает несколько этапов выполнения работ по оценке ущерба, нанесенного лесам аэротехногенным загрязнением:

1. Оценка состояния лесов в зонах аэротехногенного загрязнения с помощью биоиндикационных методов. Для этого определяются участки леса, подлежащие учету с целью определения ущерба (по степени повреждения древостоя лесобразующих пород).

2. Установление причинно - следственных связей повреждений.

3. Количественное определение потерь лесосырьевых ресурсов и других функций леса в данных участках леса (по формуле 1).

4. Стоимостная оценка ущерба, нанесенного лесному хозяйству в зонах действия промышленных предприятий.

Необходимо отметить, что оценивая жизненное состояние (степень повреждения, жизнеспособность и т. д.) древостоя, группируя деревья по классам повреждения под воздействием негативных факторов, нельзя основываться только на динамике прироста и снижении производительности. Следует искать корреляционные связи и учитывать количественные изменения также и у других параметров, характеризующих негативные процессы, происходящие в лесных насаждениях, таких, например, как изменение физиолого-биохимических параметров растений, биоразнообразие, изменение геохимических и геофизических параметров. Тем не менее, динамика производительности древостоя и его структура являются базовыми суммирующими параметрами для характеристики ответной реакции лесного насаждения на аэротехногенное воздействие. Ко

личественная оценка данных параметров, на наш взгляд, даст более объективную оценку ответной реакции лесной экосистемы на внешние воздействия, чем простое суммирование показателей (выраженных в индексах) состояния большого количества составляющих лесную экосистему компонентов (к тому же полученных разными способами измерения). Характеризуя особенности роста и жизненного состояния древостоя, мы, прямо или косвенно, достаточно объективно характеризуем изменение состояния всей лесной экосистемы в границах лесного насаждения.

Как показали исследования в очагах аэротехногенного загрязнения предтундровых и таёжных лесов, базовым диагностическим показателем, наиболее объективно характеризующим процесс дигрессии лесных насаждений, служит динамика жизненного состояния древостоев, определяемая в процессе многолетних наблюдений в градиенте загрязнения (мониторинга лесов). Данный метод требует значительного временного интервала наблюдений – 7-10 и более лет, в отличие от метода контрольных деревьев (древостоев, насаждений), который можно использовать при разовых оценках.

Для особо охраняемых территорий (заповедников, национальных парков и др.), где приоритет имеет сохранение биоразнообразия экосистем и отдельных видов растений и животных, а также ряд других функций лесов, методические подходы к оценке ущерба должны быть иными.

Разработаны предложения производству по способам снижения негативного аэротехногенного воздействия на лесные насаждения, основанные на учёте критических периодов в сезонном развитии лесообразующих пород, а также предельно допустимых уровней аэротехногенных нагрузок в таёжной зоне Среднего Урала и в предтундровых лесах на севере Средней Сибири. Дана оценка газоустойчивости основных лесообразующих пород и прогноз жизнеспособности древостоев в зонах аэротехногенного загрязнения.

Заключение

Одним из наиболее значимых проявлений общего процесса антропогенной трансформации лесов является повреждение лесных насаждений под воздействием аэротехногенного загрязнения. На современном этапе развития промышленного производства радикальное решение данной проблемы связано со значительными трудностями экономического и технологического характера, требует коренной модернизации устаревшего оборудования и внедрения безотходных технологий.

Исследования закономерностей трансформации бореальных лесов под воздействием аэротехногенного фактора в условиях двух природно-климатических зон показали, что физико-географические условия регионов играют значительную роль в специфике ответной реакции лесной среды на загрязнение. В более жёстких природно-климатических условиях Субарктики на севере Средней Сибири в районе Норильска масштабы и глубина дигрессии лесной растительности под воздействием аэротехногенного фактора значительно больше, чем в регионе Среднего Урала. Темпы дигрессии лесных насаждений в районе Норильска в 3-8 раз выше, чем на Среднем Урале.

Полученные материалы показывают, что часто газоустойчивость лесообразующей породы, не является решающим фактором “выживаемости” её древостоев в локальных очагах аэротехногенного загрязнения того или иного региона. Совокупность всех параметров, характеризующих устойчивость и формирующих экологическую пластичность лесообразующей породы, определяет в целом и стратегию выживания и распространения лесных насаждений в конкретных условиях произрастания. Весьма важную роль в сравнительной оценке и характеристике устойчивости лесообразующих пород к аэротехногенным выбросам играет их временной интервал.

В развитие ранее принятых научных положений дана классификация очагов поражения и определены параметры диагностики изменения состояния лесных насаждений с учётом природно-климатических условий регионов, а также локальных и региональных уровней загрязнения.

Исследованиями установлено, что в зонах действия крупных промузлов на Среднем Урале очаги поражения лесов уже сформировались. Здесь зона полной гибели древостоев в локальных очагах аэротехногенного загрязнения значительно меньше, чем в районе Норильска, они не превышают 0,5-3 км от источников выбросов (в районе Норильска до 80-120 км), а повреждённых в различной степени 20-30 км.

Установлена зависимость снижения прироста стволов в высоковозрастных сосновых древостоях от жизненного состояния деревьев. Предложены чёткие критерии и параметры оценки жизнеспособности древостоев, адаптированные для условий региона, а экономический ущерб оценивается ресурсным показателем – потерей прироста стволов по запасу. Этот показатель устанавливается с достаточной точностью, а потери других полезностей леса могут быть выражены в долях от ущерба по запасу.

В методическом плане для диагностики повреждений лесных насаждений в условиях аэротехногенного загрязнения предлагается использовать метод масштабированных приближений к объекту исследований (конкретизируя и последовательно меняя параметры по мере приближения к непосредственному объекту оценки) от более высокого уровня биологической интеграции к более низкому (ландшафт – экосистема – популяция – организм – ткани – клетки). Чем ниже уровень биологической интеграции, тем “тоньше” должны быть используемые методы оценки - от таксационных до физиолого-биохимических.

Для обоснования критических уровней загрязнения лесных насаждений необходимо базироваться на ретроспективном анализе экологической ситуации в конкретных очагах поражения и в регионе. При этом необходимо учитывать факторы текущего и накопленного воздействия. Ретроспективный анализ экологической ситуации и исследования динамики деградации предтундровых лесов в районе Норильска показали, что атмосферные выбросы здесь необходимо снизить до уровня, не превышающего уровень пятидесятых годов прошлого столетия, когда существенного воздействия не наблюдалось вплоть до конца шестидесятых годов. В большинстве очагов поражения лесов в регионе Среднего Ура-

ла уровень аэротехногенных выбросов не должен превышать уровня сороковых годов прошлого столетия.

Список основные публикации по теме диссертации

Менщиков С.Л., Терехов Г.Г., Луганский Н.А., Сродных Т.Б. Особенности химизма почв и анатомо-морфологического строения ассимиляционного аппарата сосны и березы в условиях магнетитового запыления // Экология, 1987. № 5. - С. 84-87.

Менщиков С.Л. Сродных Т.Б., Терехов Г.Г. Рост и состояние культур сосны и березы в зоне деятельности комбината «Магнетит» Леса Урала и хозяйство в них. Дсп. в ВНИИЦ лесресурс, 14.03.89 № 771-лх89, Свердловск. С. 46-56.

Менщиков С.Л., Махнев А.К., Власенко В.Э. Особенности аэротехногенного загрязнения лесотундровых биогеоценозов // Проблемы лесоведения и лесной экологии.- М., 1990. Ч. II.- С. 593-594.

Менщиков С.Л. Мониторинг загрязненных предтундровых лесов на юге Таймыра// Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. АН СССР Урал. отд., Свердловск, 1991. С. 15-24.

Менщиков С.Л., Василюк Л.В. Особенности накопления фитотоксичных элементов в биогеоценозах лесотундры// Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. АН СССР Урал. отд., Свердловск, 1991. С. 93-96.

Менщиков С.Л. Влияние аэротехногенного загрязнения на лесотундровые экосистемы // Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения.- Екатеринбург: Наука. Урал. отд, 1992.- С. 81-86.

Сродных Т.Б. Менщиков С.Л. Рост лесных культур в условиях загрязнения магнетитовой пылью// Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения. Сб. науч. тр. «Наука», Урал. отд. Екатеринбург, 1992. С. 87-92.

Махнёв А.К., Меншиков С.Л. Проблемы восстановления деградированных лесов в крупных промышленных центрах // Сб. науч. тр. УРГУ. Екатеринбург. С. 211-213.

Махнёв А.К., Меншиков С.Л. Проблемы мониторинга состояния и динамики лесных экосистем в промышленных районах Урала и Сибири // Проблемы региональной экологии. Сб. науч. ст. Институт экологии природных комплексов СО РАН. Изд-во «Красное знамя». Томск, 1994. С. 80-91.

Власенко В.Э., Меншиков С.Л., Махнев А.К. Состояние и устойчивость хвойных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения на Среднем Урале // Экология. 1995. №3. С. 193-196.

Меншиков С.Л., Власенко В.Э., Евстюгин А.С. Локальный мониторинг лесных экосистем в условиях разных типов загрязнения // Биологическая рекультивация нарушенных земель: УрО РАН. Матер. междунар. совещ. Екатеринбург, 1997. С. 184-192.

Меншиков С.Л., Власенко В.Э. Региональная шкала индексов повреждения сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения (для Свердловской области). «Лесоводство севера на рубеже столетий». Матер. междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург. 2000. С. 236-238.

Меншиков С.Л. Методические аспекты оценки ущерба лесов повреждённых промышленными выбросами на Среднем Урале // Леса Урала и хозяйство в них, Сб. науч. тр., 2001. Вып. 31. - С.243-251.

Митюшов Н.А., Меншиков С.Л., Сизов В.И. К вопросу экологической оценки пылегазовых выбросов при производстве периклазовых огнеупоров // Огнеупоры на рубеже веков (XX – XXI): Сб. науч. тр. Восточ. ин-т огнеупоров. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2001. С. 143-148.

Меншиков С.Л., Махнёв А.К., Власенко В.Э. Оценка состояния и динамика биоразнообразия растительности в лесах Урала // Природная и антропогенная динамика лесных экосистем. Материалы Французско-Российского научного семинара. АН Франции, УрО РАН. Екатеринбург, 2001. С. 63-64.

Власенко В.Э., Меншиков С.Л. К вопросу об изучении продуктивности сосновых лесов в условиях регионального промышленного загрязнения. Лесная таксация и лесоустройство. Междунар. науч.-практ. журнал, Красноярск, 2001. 1(30). С. 212-222.

Меншиков С.Л., Власенко В.Э., Андреев Г.В., Евстюгин А.С. Масштабы аэротехногенного загрязнения лесов на Среднем Урале // Социально – экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Материалы междунар. науч.-технич. конф. УГЛТА. Екатеринбург, 2001. С. 167-169.

Меншиков С.Л., Махнёв А.К. Динамика жизненного состояния лесных насаждений в условиях хронического загрязнения промышленными выбросами // Биологическая рекультивация нарушенных земель. УрО РАН. Екатеринбург, 2003. С. 323-331.

Меншиков С.Л., Барановский В.В., Нагимов З.Я., Новокрещенов В.М. Воздействие антропогенных факторов на сосновые насаждения в районе г. Каменска-Уральского. // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Сб. матер. междунар. науч.-техн. конф. Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2003. С. 262-264.