

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и
механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)

Д.В. Касимов, В.Д. Касимов

**Динамика состояния и адаптация лесных экосистем
при многолетнем загрязнении атмосферы
в музее-заповеднике Л.Н. Толстого «Ясная Поляна»**

Монография

Пушкино
2013

УДК 630.64+632.15

ББК 43.4

К28

Рецензенты:

В. И. Обыденников – зав. кафедрой лесоводства и подсочки леса Московского государственного университета леса, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАЕН.

В. И. Ерусалимский – вед. научный сотрудник лаборатории лесовосстановления и лесоразведения Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, доктор сельскохозяйственных наук.

Касимов Д. В., Касимов В. Д.

Динамика состояния и адаптация лесных экосистем при многолетнем загрязнении атмосферы в музее-заповеднике Л. Н. Толстого «Ясная Поляна» : монография / Д. В. Касимов, В. Д. Касимов. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2013. – 85 с.

ISBN 978 – 5 – 94219 – 206 – 8

В монографии проанализирована экологическая ситуация в музее-заповеднике «Ясная Поляна» и состояние мемориальных лесов за 1965–2010 гг., приведена качественная оценка реакции лесных экосистем на загрязнение атмосферы с использованием синергетического подхода, показано влияние ландшафтных особенностей на пространственное распределение (перенос) загрязнителей.

Монография издана к 90-летию музея-заповедника Л.Н. Толстого «Ясная Поляна» и предназначена для экологов, биологов, специалистов по охране природы, может быть использована в работе природоохранных органов, а также в программах по повышению уровня экологического образования.

ISBN 978 – 5 – 94219 – 206 – 8

© ВНИИЛМ, 2013

Содержание

<i>Предисловие</i>	4
1. Экологическая ситуация в музее-заповеднике «Ясная Поляна» и состояние лесных насаждений	9
1.1 Техногенное загрязнение природной среды	10
1.2 Оценка состояния лесных экосистем на основе лихеноиндикации	25
1.3 Компенсаторные реакции лесной растительности на действие стресс-факторов	28
1.4 Естественное возобновление насаждений дубово-ясенево- липовой формации	30
1.5 Эколого-лесоводственная оценка лесных насаждений.....	35
2. Поступление загрязнителей в атмосферу, их трансформация и пространственное распределение в ландшафтах	40
3. Качественная оценка реакции лесных экосистем на загрязнение атмосферы с использованием синергетического подхода.....	57
4. Определение ориентировочной предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) для лесных ландшафтов музея-заповедника «Ясная Поляна»	75
Заключение.....	88
Литература.....	92
Приложение 1	97
Приложение 2.....	98
Приложение 3.....	100
Приложение 4.....	101
Приложение 5.....	103
Приложение 6.....	104

Наука выполняет свою задачу не тем, что объясняет причины появления пятен на солнце, а тем, что выясняет законы нашей собственной жизни и последствия их нарушения.

Л. Н. Толстой (Круг чтения)

Предисловие

Музей-усадьба Л. Н. Толстого «Ясная Поляна» (Тульская область) Декретом ВЦИК от 10 июня 1921 г. был объявлен национальной собственностью государства и получил статус Государственного музея-заповедника. В настоящее время это один из крупнейших литературно-мемориальных музеев мира, национальное достояние России. В своей разносторонней деятельности Л. Н. Толстой большое внимание уделял лесам. Леса, высаженные писателем, в конце XIX в. преобразили облик «Ясной Поляны», обновив её ландшафты.

В 1960–1990-х гг. в Государственном природном и мемориальном музее-заповеднике Л. Н. Толстого «Ясная Поляна» сложилась сложная экологическая ситуация. При размещении производственных объектов была допущена ошибка в оценке экологических последствий развития промышленности, в результате появилась опасность загрязнения природно-культурных ландшафтов.

К воздействию промышленных выбросов Тульско-Новомосковского региона добавились выбросы Щекинского химического комбината «Азот», пуск которого состоялся в 1962–1963 гг. Комбинат был размещен в непосредственной близости (1,5–3 км) от музея-заповедника. Его деятельность привела к непредвиденным негативным последствиям, влияющим как на здоровье населения, так и на состояние лесной растительности и садово-парковых насаждений. Кроме того, деятельность комбината оказывает негативное воздействие на всю территорию музея-заповедника.

Для оценки создавшегося положения и разработки научных рекомендаций по сохранению природной среды и мемориальных лесов был привлечен ряд научных и проектных организаций с участием известных ученых и специалистов в области экологии, лесоведения, почвоведения: Всероссийского НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)¹, Московского государственного университета леса (МГУЛ), Института

¹ Решением междуправительственного Научно-технического Совета от 13 апреля 1978 г. по комплексным проблемам охраны окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов при Государственном комитете Совета Министров СССР по науке и технике головной организацией, осуществляющей единое методическое руководство и координацию исследований по проблеме леса, был определен ВНИИЛМ (в т.ч. по «Ясной Поляне»).

лесоведения РАН, Московского государственного университета (МГУ), Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, Института прикладной геофизики, Тимирязевской сельскохозяйственной академии, ВО «Леспроект», Союзгипролесхоза и др.

Исследования ВНИИЛМ по проблемам экологического нормирования, мониторинга и организация работ по охране природных комплексов включали следующие этапы:

- слежение (1965–1984 гг.) за санитарным состоянием лесов на сети из 15 постоянных пробных площадей, определение категорий состояния деревьев по шкале «Санитарных правил в лесах СССР» (1970);

- разработка нормативов ПДК-лес [6] и анализ (с 1984 г.) данных двух постов Гидрометеослужбы, расположенных на территории музея-заповедника;

- организация комплексной системы мониторинга (с 1990 г.) [28, 21], состоящего из трех основных частей:

- ✓ экологического мониторинга (характеристика климатических и погодных условий, степени загрязнения воздуха, осадков, почвы и растительности),

- ✓ лесного мониторинга (интенсивность и структура отпада, колебания прироста, возобновление насаждений, степень рекреационной дигрессии),

- ✓ лесопатологического мониторинга (оценка санитарного состояния лесов, надзор за распространением болезней и вредных насекомых);

- анализ изменений земель лесного фонда по материалам 5 ревизионных периодов лесоустройства 1960, 1972, 1983, 1990 и 1995 гг. и эколого-лесоводственная оценка состояния лесов музея-заповедника [14, 16];

- разработка мер по ведению хозяйства в мемориальных лесах [14, 21];

- анализ экспериментальных данных, полученных за длительный срок наблюдений, по оценке состояния экосистем и их адаптации к воздействию техногенного загрязнения [14–16, 21].

Исследования ВНИИЛМ с 1993 по 1998 г. финансировались федеральной целевой программой «Оздоровление экологической обстановки и охраны здоровья населения Тульской области» по разделу: «Обеспечение экологической безопасности культурно-исторических памятников России: музея-усадьбы Л. Н. Толстого «Ясная Поляна», музея-заповедника «Поленово», национально-исторического центра «Куликово поле».

В условиях музея-заповедника для одних и тех же лесных ландшафтов удалось собрать уникальную информацию одинаковой временной продолжительности. Эта информация включает данные о концентрациях загрязняющих веществ, данные учета санитарного и лесопатологического состояния лесных насаждений за 40 лет, динамику основных таксацион-

ных показателей за 5 ревизионных периодов (1960–1996 гг.), биологическую индикацию состояния насаждений (плодоношение, морфология крон деревьев, радиальный прирост, лишеноиндикация, естественное возобновление и др.).

Для оценки воздействия загрязнителей на лесные экосистемы в музее-заповеднике впервые был применен синергетический подход, позволяющий адекватно показать структурные изменения и механизм адаптации насаждений разного возраста и породного состава в условиях техногенного воздействия.

В монографии сделана попытка показать влияние ландшафтов на уровень загрязнения по результатам постановки полевого опыта и анализу данных 2-х стационарных постов Гидрометеослужбы на территории музея-заповедника.

Ряд вопросов по влиянию антропогенных факторов на состояние и устойчивость мемориальных лесных насаждений, организации комплексного мониторинга лесов и системе ведения лесного хозяйства в них освещены в коллективной монографии научных сотрудников ВНИИЛМ «Леса Ясной Поляны» (2006). В настоящей работе решались вопросы оценки динамики состояния и адаптации лесных экосистем к загрязнению среды, влияние ландшафтов на пространственное распространение токсикантов, определения ориентировочных ПДЭН для территории музея-заповедника. При этом использованы материалы диссертации Д.В. Касимова [10].

Предисловие, разделы 1 и 2 написаны к. с.-х. н. **В. Д. Касимовым**, разделы 3, 4 и заключение – к. б. н. **Д. В. Касимовым**.

Авторы благодарны сотрудникам музея-заповедника Л. Н. Толстого «Ясная Поляна» **Е. А. Ковальской** и **И. Ф. Костюковой** за предоставленную информацию по загрязнению атмосферного воздуха и состоянию лесных насаждений за 2001–2009 гг.

Монография может быть использована в системе экологического образования, а также в работе научных и природоохранных организаций.

Термины и определения

ПДК_{м.р-лес} – предельно допустимая максимально-разовая концентрация химического вещества в воздухе (30 мин), не оказывающая на растения прямого или косвенного вредного воздействия (мг/м^3).

ПДК_{сс-лес} – предельно допустимая среднесуточная (24 ч) концентрация химического вещества в воздухе, не оказывающая токсического воздействия на растения (мг/м^3).

ПДК_п – предельно допустимая концентрация химического вещества в пахотном слое почвы (мг/кг), которая не вызывает прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и самоочищающую способность почвы.

ПДЭН – предельно допустимая экологическая нагрузка, представляющая кратность превышения выбросов до такого уровня, при котором параметры экосистем не будут отличаться от фоновых значений на всем пространстве возле этого источника [5].

Z_c – коэффициент суммарного загрязнения почвы или снежного покрова различными загрязнителями.

Система – совокупность взаимодействия объектов, образующих определенную целостность, в которой в результате взаимодействия возникают новые интегративные свойства целого, отсутствующие у её объектов или частей [47].

Самоорганизация – процесс взаимодействия элементов, в результате которого происходит возникновение нового порядка или структуры в системе [47].

Энтропия – физическая величина, характеризующая тепловое состояние тела или системы тел. Энтропия характеризует ту часть полной энергии системы, которая не может быть использована для производства работы. В открытой системе энтропия не накапливается, а удаляется и рассеивается в окружающей среде [47].

Ландшафт – территория, характеризующаяся общностью геологического фундамента, однотипным рельефом, сочетанием гидротехнических условий, растительности и животных; к отдельному ландшафту часто относят разобщенные участки, сходные по природным особенностям (прежде всего, по растительности) [61].

Ландшафтная экология – выявление специфической роли и функции отдельного участка земли (ландшафта) в ландшафтной мозаике территории, сложившейся природной ситуации, в оценке стабилизирующей роли различных элементов природного комплекса [18].

Порядок – исходное понятие теории систем, означающее определенное положение элементов или их последовательность во времени [47].

Флуктуации – случайные отклонения системы от некоторого среднего положения [47].

Адаптация – приспособление функций и строения организмов к условиям существования.

Синергетика – фундаментальная теория изучения взаимодействия системы со средой в нелинейных, неравновесных (открытых) системах, т.е. в системах, которые обмениваются с окружающей средой веществом, энергией и информацией [47].

При анализе литературных источников в необходимых случаях для оценки величины ПДК использовались следующие формулы:

$$\text{---} \quad ,$$

$$\text{---} \quad ,$$

где:

- M – молекулярная масса вещества;
 ppm – наличие загрязнителей в объемных частях на 1 млн.

1. Экологическая ситуация в музее-заповеднике «Ясная Поляна» и состояние лесных насаждений

Раскрытие механизмов и причинных связей важнейших компонентов экосистем с антропогенным воздействием является сложной задачей.

Преобладающая масса данных по оценке техногенного воздействия на основные элементы экосистем получена в лабораторных условиях на организменном уровне. Характеристика биоценозов в целом и основных компонентов лесных сообществ освещается лишь небольшим рядом работ (Воробейчик и др. 1994; Хантемирова 1994; Дончева 1978; Крючков 1989; Степанов и др. 1992; Черненко и др. 1995; McClenahen 1978, *Forest Ecosystems in Industrial Regions* 1984; Tyier 1972, цит. по Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.). Существенный вклад в решение этой проблемы внесли работы В.С. Николаевского (1981; 2002), В.Ф. Цветкова (2003), А.А. Мартынюка (2006).

При получении зависимости типа «доза-эффект» для экосистемных параметров в качестве «эффекта» чаще выступают параметры отдельных структур сообщества, а не интегральные показатели.

В формировании представлений об устойчивости лесных экосистем различают несколько этапов [22].

К начальному этапу относится использование парных сравнений ценозов, причем к сообществу подходили как к сверхорганизму (физиологическое понятие «гомеостаз» становится универсальным и т.д.).

На втором этапе применяли одинаковую принадлежность к классификации (3 класса биологической устойчивости).

На третьем этапе использовали системный подход и имитационное моделирование, когда общее понятие устойчивости стали расчленять на множество частных, каждое из которых отражало определенную сторону процесса.

И на последнем четвертом этапе в основе анализа стали использовать количественные отношения, когда устойчивость стали понимать, как способность системы выдерживать внешнее воздействие или восстанавливаться после него.

Последние два этапа методологических приемов (3-й и 4-й) позволяют оценить динамику состояния, процесс адаптации и устойчивость лесных экосистем к внешнему воздействию.

Одна из первых работ в России по качественной оценке реакции лесных экосистем и механизма их адаптации к загрязнению атмосферы

ры промышленными выбросами была проведена во всемирно известном Государственном мемориальном и природном заповеднике музея-усадьбы Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» [13, 14, 15].

Территория музея-заповедника относится к Евроазиатской степной области, провинции южной части Русской равнины, округу Тульско-Пензенской лесостепи [19].

Музей-заповедник занимает территорию в 1312 га (412 га собственно музей-усадьба и 1900 га – охранный зона), из них леса занимают около 254 га. В течение всей жизни великий писатель занимался посадками леса (дуб, береза, ель, сосна) по оврагам, склонам и берегам рек Кочак и Воронки. Общая их площадь составила 179 га, т.е. около 50% земельных владений [51]. В лесном фонде преобладают средневозрастные, спелые и перестойные древостои, причем возраст варьирует в смешанных дубово-лиственных насаждениях в пределах 100-250 лет, в искусственных насаждениях березы – 70-135 лет, ели – 45-130 лет.

Покрытая лесом площадь занимает 231,77 га (56,3%) с преобладающими породами музея-заповедника: дубом (29 га), березой (117,4 га), липой (66,9 га). Доля хвойных, представленная культурами ели, не превышает 5%. Преобладающей частью насаждений (67,5%) являются естественные леса знаменитых Тульских засек, остальная часть лесных насаждений (32,5%) – Толстовские посадки с высоким уровнем водоохраных и почвозащитных свойств. За последние 40 лет значительно возросли газопоглолительные и фильтрационные функции лесов.

Участки естественных лесов, входящие в полосу Тульских засек, представляют собой биоценозы теневого широколиственного леса, подобных которым уже нет нигде в мире. Поэтому природные комплексы музея-заповедника являются уникальным наследством, которое должно быть сохранено будущим поколениям.

1.1. Техногенное загрязнение природной среды

В 1965-1975 гг. валовый объем промышленных выбросов Тульско-Щекинского региона составлял около 430-500 тыс. т в год (около 60% выбросов в атмосферу приходилось на сернистый газ, остальные 40% – на двуокись азота, аммиак, промышленную пыль и др.); в 1980-1990-х – до 250-300 тыс. т/год; 2000 г. – 210 тыс. т/год, 2002 – 168,9 тыс. т/год, 2004 – 143,3 тыс. т/год (Ежегодник состояния, 1982-1992, 1993, 2005). По выбросам в атмосферный воздух загрязняющих веществ Тульская область лидировала в Центральном регионе (до 400 кг

на человека в год), а город Тула вошел в число 60 наиболее загрязненных городов России [55].

Основное влияние на состояние атмосферы музея-заповедника оказывали предприятия: Щекинская ГРЭС, Первомайская ТЭЦ, Щекинское ПО «Азот», Щекинское ПО «Химволокно», завод «Кислотоупор» и Щекинский ДОК, Косогорский металлургический комбинат, НПО «Тулачермет».

В качестве основной характеристики загрязнения атмосферного воздуха рассмотрим динамику значений максимально-разовых концентраций 4 токсикантов (NH_3 , SO_2 , NO_2 , CH_2O) в пересчете на ПДК загрязняющих веществ для лесных насаждений музея-усадьбы «Ясная Поляна».

При слежении за динамическими событиями необходима их регистрация с повышенной частотой, иначе возможен пропуск залповых загрязнений, вызывающих острое повреждение растительности.

На территории музея-заповедника действуют два поста Гидрометеослужбы: №1 в пониженном месте рельефа на берегу «Большого пруда» и №2 на возвышенном месте в начале «Старого сада». На посту №1 пробы воздуха отбирают 6 раз в сутки, на посту №2 – 8 раз. Стационарные наблюдения проводятся за содержанием ряда токсикантов, в том числе сернистого газа, оксида и диоксида азота, аммиака, сероводорода, растворимых сульфатов, формальдегида, оксида углерода, метанола.

На реакцию древесных пород к техногенному воздействию влияет комплекс факторов:

- ежегодный объем и состав промышленных выбросов, тыс. т;
- фитотоксичность химических веществ;
- чувствительность хвойных и лиственных пород к наиболее распространенным токсикантам (диоксид серы, аммиак, окислы азота, хлор, соединения фтора, формальдегид);
- пространственно-временное распределение этих загрязнителей (расстояние до источника выбросов, распространение для разных условий ландшафтов);
- климатические условия (роза ветров, количество осадков, температура воздуха, продолжительность солнечного сияния (часов в год и др.);
- формы рельефа;
- биотические факторы.

Наибольшее влияние на состояние природной среды музея-заповедника оказала промышленная деятельность ОАО «Щекиноа-

зот». Эта компания входит в список 200 крупнейших в России по объемам производства; удельный вес экспорта которой по выпускаемой продукции составляет 70%.

Данное предприятие возникло на базе Щекинского газового завода, начало промышленной эксплуатации которого состоялось в 1955 г. В 1959 г. газовый завод был переименован в Щекинский химкомбинат. Производство новых видов продукции началось в 1961 г. (первый аммиак), в 1963 г. – формалин и карбамидные смолы, 1964 г. – ионообменные мембраны, 1966 г. – капролактамы и первая очередь метанола.

В 1970 г. было выделено новое предприятие «Химволокно».

В табл. 1 показана динамика техногенной нагрузки на леса. В период пусконаладочных работ (1961-1970 гг.) наблюдались многочисленные случаи залповых выбросов больших концентраций, превышающих ПДК-лес в сотни (NO_2) и десятки (NH_3) раз, что в сочетании с другими примесями нередко оказывалось летальным для растений. Сернистый газ часто имел 2-3 кратные превышения ПДК-лес.

За период интенсификации производства (1972-1985 гг.) наблюдались случаи превышения максимально-разовых концентраций двуокиси серы, окислов азота, аммиака в 10-20 раз по отношению к ПДК-лес (нарушения технологического режима).

После принятия постановления Правительства СССР на ЩПО «Азот» был закрыт ряд производств (цех капролактама и серной кислоты) и состояние атмосферы стало постепенно улучшаться. В результате проведения природоохранных мер превышения максимально-разовых концентраций составили по NO_2 – 3-7 раз, NH_3 – 1,5-4,6 раза, по SO_2 – 0.

Решением Правительства в 1986 г. музей-усадьба приобретает статус Государственного мемориального и природного заповедника; принимается решение по восстановлению оптимального баланса воздушной среды. Вокруг заповедника была выделена охранный зона и зона сохранения ландшафта.

Таблица 1. Динамика значений и превышений максимально-разовых ПДК-лес за период 1965-2009 гг.
[40, приложение 2]

Годы	Характеристика											
	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NH ₃ (0,1)				SO ₂ (0,3)			NO ₂ (0,04)			CH ₂ O (0,02)		
Пуско-наладочные работы (с 1961 г.)												
1965-1967	0,91-1,03	9,1-10,3	18,3-15,4	0,7-1,0	2,3-3,3	8,6-21,5	6,7-4,5	167,5-112,5	58-58,5	-	-	-
1970-1972	0,46-0,47	4,6-4,7	1,1,-12	0,30-0,57	1-1,9	36,1-85,2	0,75-1,32	18,75-33,0	13,1-28,5	-	-	-
Промышленная эксплуатация (увеличение объемов производства)												
1975-1977	3,87-8,18	38,7-81,8	3,2-28,0	1,28-5,35	4,3-10,5	11,8-20,0	0,39-1,34	9,75-33,5	4,0-6,1	-	-	-
1979-1981	1,90-2,63	19-26,3	15,0-50,0	1,25-3,15	4,2-10,5	72,0-91,0	0,26-0,58	6,5-14,5	1,0-4,0	-	-	-
Модернизация производства (постановление Правительства РФ)												
1986-1987	0,94-1,66	9,4-16,6	18-21	0,06-0,89	0,23-3,0	0	0,22-0,38	5,5-9,5	26-29	0,951	47,5	19
1991	0,46	4,6	64	0,116	0,4	0	0,26	6,5	51	0,047	2,35	25
1992	0,25	2,5	36	0,076	0,25	0	0,17	4,25	18	0,068	3,40	48
Выполнение федеральной целевой программы (ФЦП) по снижению промвыбросов												
1993	0,41	4,1	12	0,024	0,08	0	0,25	6,25	75	0,079	3,95	244
1994	0,30	3,0	5	0,100	0,33	0	0,20	5,0	25	0,073	3,65	80
1995	0,23	2,3	6	0,217	0,72	0	0,39	9,75	18	0,062	3,10	101
1996	0,16	1,6	4	0,020	0,07	0	0,48	12,0	33	0,062	3,10	131

Годы	Характеристика											
	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений	Максимально-разовая концентрация, мг/м ³	Кратность ПДК-лес	Число случаев превышений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1997	0,14	1,4	3	0,040	0,13	0	0,45	11,25	34	0,043	2,15	19
<i>Снижение уровня экологических требований (ликвидация Госкомприроды РФ), рост объемов производства</i>												
2001	0,28	2,8	11	0,014	0,7	0	0,37	9,3	219	0,091	4,5	268
2002	0,36	3,6	15	0,026	1,0	0	0,28	7,0	287	0,142	7,1	751
2003	0,16	1,6	14	0,081	4,0	0	0,22	5,5	350	0,166	8,3	278
2004	0,24	2,4	10	0,081	4,0	0	0,23	5,8	182	0,095	4,8	85
2005	0,54	5,4	34	0,023	1,0	0	0,83	20,8	394	0,141	7,1	186
2006	0,73	7,3	123	0,033	1,1	0	0,24	6,0	544	0,352	17,6	444
2007	0,47	4,7	85	0,197	8,0	0	0,77	19,3	541	0,387	19,4	641
2008	0,28	2,8	19	0,019	0,5	0	0,50	12,5	491	0,358	17,9	1113
2009	0,11	1,1	1	0,025	1,0	0	0,36	9,0	255	0,500	25,0	946

Примечание: *с 1965 г. по 1991 г. число случаев превышений ПДК-лес максимально-разовых определялось в %, с 1992 г. по 2009 г. – указывалось число случаев.

Проведение природоохранных мер и падение объемов производства с 1986 по 1993 гг. [55] положительно сказалось на состоянии окружающей природной среды и лесных насаждений. В 1987 г. еще наблюдались повышенные средние концентрации двуокиси азота (1,5 ПДК-лес), аммиака (2 ПДК-лес), формальдегида (5 ПДК-лес). Но с 1988 г. и в последующие годы загрязненность атмосферы промышленными выбросами снижается.

По данным лесоводственно-экологического мониторинга за 1990 г. [4], максимально-разовые и среднемесячные концентрации загрязнителей не имели экстремальных значений, а количество случаев превышений ПДК-лес токсикантов было равно 255 (аммиак, двуокись азота, формальдегид, сероводород).

В снежном покрове на территории музея-заповедника по сравнению с контролем (Крюковское лесничество) отмечалось двукратное превышение азотосодержащих соединений и их повышенное содержание (в 1,3-1,4 раза) для условий Приокско-Террасного заповедника. Из органических соединений повышено содержание формальдегида и фенола. Химический анализ почв показал, что они имеют слабокислую реакцию и достаточно обеспечены основными элементами почвенного питания. Сезонное развитие деревьев дуба, березы, липы, ели, вяза и клена, в основном, проходило без отклонений.

С 1993 г. в Тульской области выполнялась федеральная целевая программа (ФЦП) по оздоровлению экологической обстановки и охране здоровья населения Тульской области на период 1993-1998 гг. с продлением до 2005 г. Необходимость ее проведения была вызвана интенсивной эксплуатацией природных ресурсов, несоответствием природопользования природно-ресурсному потенциалу, что привело к ухудшению состояния природной среды, увеличению рисков нарушения здоровья населения [55].

Результаты наблюдений по 7 видам ингредиентов за загрязнением атмосферы показали, что за период 1993-1997 гг. наибольшее количество превышений максимально-разовых ПДК-лес по формальдегиду и двуокиси азота приходится на вегетационный период.

Наибольшее число случаев превышений формальдегида отмечено в 1993 г. (579) при максимальной концентрации 4 ПДК-лес и среднегодовой 3,3 ПДК-лес. Затем происходило некоторое снижение уровня загрязнения этим ингредиентом в последующие годы, но несущественно. Так, в 1996 г. средняя концентрация снова возросла до 3,3 ПДК-лес, в 1997 г. средняя концентрация составила 0,006 мг/м³ (2 ПДК-лес).

Количество дней без превышений среднесуточных ПДК-лес с 119 дней (1992 г.) снизилось до 30-70 дней (1993-1997 гг.) и возросло до 145 дней в 1997 г.

Значения среднесуточных концентраций за 1995-1997 гг. находились в пределах: 1,2-1,5 ПДК-лес по аммиаку; 1,4 ПДК-лес по сероводороду, 1,1-3,2 ПДК-лес по метанолу. По сернистому газу и оксиду азота превышений среднесуточных концентраций не наблюдалось, за исключением одного случая (1996 г. – 1,7 ПДК-лес).

По данным лаборатории ГГО им. А.И. Воейкова [21], загрязнению природной среды способствовал химический состав атмосферных осадков. Увеличение кислых и слабокислых осадков привело к увеличению общей минерализации в 2,5 раза (в отдельные месяцы). Периодически обнаруживались высокие концентрации хлорид-иона (свыше 6 мг/л), нитрат-иона, тяжелых металлов (кадмий, свинец, марганец).

В начале XXI века наблюдается значительное загрязнение природной среды музея-заповедника. Ухудшение состояния окружающей среды вызвано снижением экологических требований.

Начиная с 2001 г., максимальная концентрация по формальдегиду с 4,6 ПДК-лес увеличилась до 25 ПДК-лес при числе случаев превышения ПДК-лес максимально-разовой концентрации с 268 до 1113 в 2008 г. и 2499 – в 2010 г.

Наибольшая кратность превышений максимально-разовых концентраций по формальдегиду наблюдалось в музее-заповеднике в 2006-2009 гг. По двуокиси азота максимально-разовые концентрации превышали ПДК-лес с 9,3 до 20,8 раз в 2005 г. Некоторое снижение максимально-разовых концентраций было в 2002 -2004 г.г. (кратность превышений 5,5-7,0).

По сернистому газу превышений не было, по аммиаку 5-20-кратное превышение (2005-2008 г.г.) максимально-разовой ПДК-лес при числе случаев от 19 до 123 (2006 г.).

Анализируя данные постов №1 и №2, можно заключить, что за период 2001-2009 г.г. степень загрязнения атмосферы с 2005 г. существенно повысилась. В июне 2004 г. была образована объединенная химическая компания «Щекиноазот», куда вошли предприятие «Химволокно», Ефремовский химзавод и Первомайская ТЭЦ. Во втором пятилетии число случаев превышений максимально-разовых концентраций ПДК-лес по формальдегиду было выше в 5-6 раз, а значения максимально-разовых концентраций – в 3,1-9,6 раза.

В качестве примера рассмотрим (табл. 2) данные по характеристике загрязнения воздуха в Тульской области (в т.ч. по музею-заповеднику «Ясная Поляна»).

По данным Ежегодника состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2006 г. (Главная государственная обсерватория им. А.И.Воейкова, 2006), Тульская область характеризовалась следующими показателями за 2005 г. (сеть из 7 станций регулярных наблюдений в 3 городах):

Таблица 2. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в Тульской области за 2005 г.

Город	Уровень загрязнения	Вещества, для которых СИ>10	НП*	Выбросы от стационарных источников, тыс. т					Население, тыс. чел.	Плотность выбросов,	
				взвеш. вещества	SO ₂	NO ₂	CO	Итого		т/км ² в год	тонн на 1 чел.
Тула	Высокий	-	-	4,8	2,0	5,2	82,8	94,8	509,0	632,8	0,186
Новомосковск	Высокий	-	-	2,0	0,5	4,1	10,9	17,5	126,2	-	-
Ясная Поляна	Повышенный	Формальдегид, метанол	17 % случаев, метанол	4,3	0,1	1,9	1,2	7,5	1,4	324,7, включая охранную зону	0,268
Итого				11,1	2,6	11,2	94,9	119,8	-	-	-
%				9,2	2,5	9,3	79,0	100			

Примечание:

* СИ (наибольшая концентрация, деленная на ПДК) выше 10 ПДК для формальдегида и метанола (ПДК-лес) отмечена в Ясной Поляне.

* НП (наибольшая повторяемость превышения ПДК) – отмечена в Ясной Поляне для метанола (17 % случаев);

* среднесуточная концентрация формальдегида превышает 1 ПДК во всех городах, бензапирена – в Туле и Новомосковске.

* климатические условия рассеивания примесей сравнительно благоприятны, зона умеренного потенциального загрязнения атмосферы (ПЗА).

Экологами отмечается [7], что зона экологического воздействия г. Тулы распространяется на расстояние около 120 км (влияние промышленности и автотранспорта). Музей-заповедник «Ясная Поляна» находится от г. Тулы на расстоянии 20 км и испытывает влияние, как Тульской городской агломерации, так и непосредственное влияние промышленных предприятий г. Щекино.

Официальная статистика свидетельствует о том, что на 1 чел. в год в г. Туле выпало 186 кг загрязняющих веществ, а в дер. Ясная Поляна (население 1400 чел.) – 268 кг, т.е. больше в 1,4 раза с учетом плотности населения. По данным [55], в Тульской области выпадало в 80-е гг. до 400 кг в год на 1 человека. Надо полагать, что гигиенические ПДК (и тем более ПДК-лес) нарушены как в населенном пункте, так и на территории музея-заповедника.

Плотность выбросов (т/км^2 в год) в г. Тула составила 632,8; в Ясной Поляне с учетом охранной зоны – 324,7 т/км^2 . Если исходить из площади музея-усадьбы в 412 га, то плотность выбросов составит 57,9 т/км^2 или 579 кг/га .

Ежедневное поступление загрязнителей на территорию усадьбы составили, в среднем, 1,59 кг/га (без учета выбросов автотранспорта и поступления окислителей–формальдегида, озона).

Сложным является вопрос объективного сравнения степени загрязнения лесов на конкретном объекте от различных источников. Так, для музея-заповедника «Ясная Поляна» важно установить степень техногенного воздействия Тульской городской агломерации и г. Щекино при разработке нормативов допустимого воздействия химических загрязнителей на лесные насаждения, поскольку система нормирования, основанная на санитарно-гигиеническом подходе, не способствует повышению устойчивости лесов. Нужен более действенный экологический подход, основанный на отклике лесных экосистем на техногенные нагрузки. Необходимо установить, кто является основным «поставщиком» опасного объема токсикантов, изменяющих состояние и функционирование лесных насаждений в музее-заповеднике, и определить в соответствии с этим значения ПДВ.

Доктором с.-х. наук А.А. Мартынюком предложен следующий подход [25]: использовать суммарные показатели загрязнения Z_c с получением картосхем загрязнения выбросами снежного покрова, почв, лесных подстилок и хвои. Снеговой покров отличается однородным естественным составом и структурой на всей территории обследования, а лесная подстилка аккумулирует преобладающее количество выпадающих загрязнителей из атмосферы.

Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха этим ученым обоснован метод [25] определения уровня воздействия для каждого лесного участка через дозовую нагрузку фитотоксиканта, которая определяется как произведение концентрации на время продолжительности воздействия:

,

где: DN – дозовая нагрузка,
 C_m – максимальная (подфакельная) концентрация в точке измерений, мг/м^3 ;
 t – время действия токсиканта за определенный период, вычисленное через продолжительность ветров разных румбов, дующих от источника выбросов в точку измерений, ч.

Полученные показатели дозы воздействия, с учетом фактического состояния насаждений, могут быть использованы для прогнозирования состояния лесов в условиях локального загрязнения среды.

Основываясь на данном подходе, рассмотрим долю участия в загрязнении атмосферы музея-заповедника двух промышленных агломераций: г. Тулы и г. Щекино. На основании анализа ситуационной карты-схемы расположения предприятия ОАО «Щекиноазот», розы ветров, характерной для него (рис. 1), а также данных (см. приложение 5) по действующим фоновым концентрациям вредных веществ в атмосферном воздухе (ПНЗ №2 м.у. «Ясная Поляна») полагаем, что доза воздействия каждой из промышленных агломераций состоит из суммы 8 фоновых концентраций вредных веществ по каждому времени действия токсикантов за период, вычисленный через продолжительность ветров разных румбов, дующих от источника выбросов (ИВ) в точку измерений (в часах) (табл. 3).

Таблица 3. Сравнительная оценка уровня загрязнения воздуха музея-заповедника от источников выбросов Щекинского и Тульского промышленных районов (по нормативам ПДК-лес для музея-заповедника) за 2010 г.

Промышленные выбросы от стационарных источников	Среднемесячные дозы воздействия, мг/час в 1 м ³ /год								
	Названия фитотоксикантов								
	пыль	SO ₂	CO	NO ₂	NO	NH ₃	CH ₂ O	метанол	Итого
Объединенная промплощадка предприятий ОАО «Щекиноазот»	75,2	2,86	709,74	28,5	11,95	25,55	14,12	310,69	1178,61
	902,75	34,35	8516,88	341,99	143,43	306,63	169,46	3728,34	14143,776
Промышленные предприятия г. Тулы	43,58	1,51	332,9	17,27	7,36	15,96	10,48	121,41	550,04
	522,96	18,15	3995,3	207,20	88,27	191,54	125,75	1456,96	6606,13
Итого:	118,78	4,37	1042,6	45,77	19,31	41,51	24,6	432,10	1729,04
	1425,71	52,50	12509,18	549,19	213,7	498,17	295,21	5185,3	20749,91
Отношение дозовых нагрузок загрязняющих веществ по промышленным районам: г.Щекино/г.Тула	1,7	1,9	2,1	1,7	1,6	1,6	1,3	2,6	

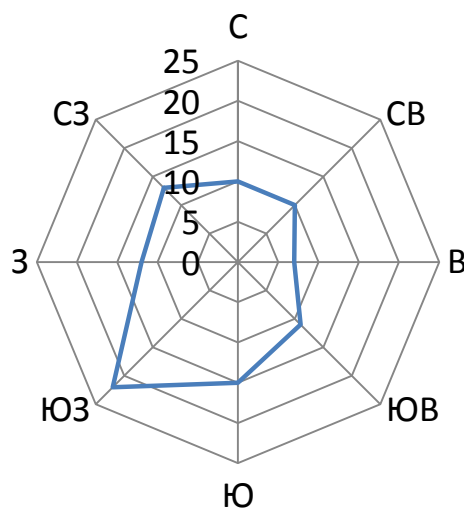


Рис. 1. Роза ветров расположения предприятия ОАО «Щекиноазот»

Сравнительная оценка по розе ветров уровня загрязнения от источников выбросов Щекинского и Тульского промышленных районов показывает, что для большинства фитотоксикантов уровень загрязнения выше на 60-70 % по Щекинскому промышленному району, а по окиси углерода и метанолу в 2,1-2,6 раза. В общем объеме выбросов (табл. 3) доля «Щекиноазот» составит 0,68, доля г. Тулы – 0,32.

При оценке загрязнения атмосферы музея-заповедника следует учитывать специфический характер загрязняющих веществ (аммиак, формальдегид, метанол, бензол, капролактамы и др.), заключающийся в их одновременной токсичности и крайней неустойчивости в природной среде. Поэтому они не всегда фигурируют в объемных показателях. Однако неустойчивость загрязнителей создает предпосылки для искажения реальной картины экологического состояния территории. К тому же для формальдегида показатель его образование в процессе фотохимических реакций в годы солнечной активности (см. раздел 2). Высокий уровень загрязнения атмосферы в 2005-2009 гг. объясняется высокими концентрациями формальдегида в сочетании с другими поллютантами. Следует учесть, что ОАО «Щекиноазот» планирует открыть производство фенолформальдегидных смол, увеличить объемы производства капролактама, метанола.

Для адекватной оценки реакции среды на загрязнение необходим комплексный экологический мониторинг всех природных сред музея-заповедника: атмосферного воздуха, поверхностных вод, почвенного и растительного покрова. На динамике состояния лесов будет сказываться как количество промышленных выбросов, так и погодноклиматические условия вегетационных сезонов, а также влияние вредных насекомых и болезней.

Необходимы инновационные решения для эффективного улавливания и обезвреживания выбросов или перепрофилирование некоторых производств. Для решения управленческих задач весьма эффективным средством является, например, создание автоматизированной системы контроля (АСК) в 1999 г. в г. Новомосковске [55].

Система позволяет решать задачи по получению оперативной информации в режиме реального времени по динамике изменений концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере города, получать аналитическую информацию, контролировать правильность установленных норм на предельно допустимые выбросы (ПДВ).

Автоматическая система контроля фиксирует содержание 5 загрязняющих веществ: SO_2 , NO_2 , NO , CO , NH_3 ; однако в этот перечень не вошли формальдегид, фенол, винилхлорид. Формируются характеристики загрязнения атмосферы на посту и по городу (за сутки, месяц, год); можно просматривать тренды концентраций за различный период времени.

Отсутствие постов Гидрометеослужбы на территории ОАО «Щекиноазот» и опора только на ведомственную лабораторию анализа воздуха в сочетании с разовыми обследованиями ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Тульской области» не могут в достаточной мере дать объективную оценку состояния природной среды в районе расположения предприятия. Следует учитывать также добавление выбросов от Щекинского ДОК, Первомайского ЖБИ, ОАО «Союзпроммонтаж», от автотранспорта, следующего по автодороге Москва-Белгород. В связи с этим продолжительная эксплуатация крупного объекта химической промышленности без достаточной регламентации объема промышленных выбросов в прошлые годы (1970-1980 гг.) и начала XXI века привела к изменению структуры лесных насаждений музея-заповедника «Ясная Поляна», ухудшению их санитарного состояния и частичной их гибели (еловые насаждения).

Необходима оперативная оценка состояния природной среды не только в санитарно-защитной зоне ОАО «Щекиноазот», но и расчет ПДВ на основе ПДК-лес по приоритетным загрязняющим веществам для территории музея-заповедника «Ясная Поляна».

Это утверждение можно подтвердить хотя бы следующим примером. Если проанализировать данные по посту №2 для фона (средних метеоусловий при скорости ветра «штиль» – 0-2 м/с) по критериям: класс опасности, ПДК-лес м.р. и ПДК м.р. санитарные, то получим следующие характеристики (табл. 4).

Таблица 4. Превышения максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ по двум критериям: ПДК-лес и ГН 2.1.6 1338-03

Фоновая концентрация**, мг/м ³	Класс опасности *	ПДК-лес м.р.	Превышения	ПДК м.р. санитарные	Превышения
Пыль – 0,49332	3	0,2	2,47	0,5	0,98
SO ₂ – 0,005827	3	0,31	0,02	0,5	0,012
CO – 1,52006	4	5,0	0,3	5,0	0,3
NO ₂ – 0,057912	2	0,04	1,45	0,085	0,68
NO – 0,025190	3	0,04	0,63	0,4	0,06
NH ₃ – 0,052975	4	0,1	0,5	0,2	0,26
CH ₂ O – 0,035165	2	0,02	17,5	0,035	1,0
CH ₄ O (метанол) – 0,377909	3	0,2	1,89	1,00	0,38
Бензапирен* – 2,22x10 ⁻³	1	-	-		5x10 ⁻⁶

Примечание: * – Гигиенические нормативы 2.1.6 1338-03.

** – Данные Тульского центра ГМС-2010 год.

Из приведенных выше данных при метеоусловии «штиль» превышения максимально-разовых ПДК-лес наблюдались для пыли в 2,47 раза, по NO₂ – в 1,52 раза, по метанолу – 1,89 раза и по формальдегиду в 17,5 раза, т.е. по четырем загрязнителям; при гигиенических ПДК м.р. превышений не наблюдалось. Разработка ПДВ на основе санитарно-гигиенических нормативов для сохранения мемориальных лесных насаждений неэффективна, т.к. по ряду опасных токсикантов не учитывались превышения ПДК-лес.

Оценка состояния загрязнения атмосферы на территории музея-заповедника «Ясная Поляна» должна проводиться на основе нормативов ПДК-лес: максимальная концентрация загрязняющих веществ (мг/м³), тяжелых металлов в мкг/м³, бенз(а)пирена в МГК/м³х10⁻³; средняя концентрация в мг/м³ и другие загрязнители в тех же значениях.

Для характеристики также используются: повторяемость концентраций ЗВ в воздухе выше ПДК (%), число случаев с концентрацией ЗВ выше 10 ПДК.

В данной работе предложены показатели – индекс нагрузки (для комплексной характеристики загрязнения воздуха основными вредными веществами) и предельно допустимая нагрузка для лесных экосистем (ПДЭН). Предельно допустимая экологическая нагрузка позволяет сопоставлять уровень техногенной нагрузки с состоянием лесных экосистем. Она определена на основе анализа устойчивости лесных экосистем при техногенном воздействии. Следует использовать и такой показатель как плотность выпадений загрязнителей на

единицу площади (км^2 или га) – отношение общей массы выбросов (M , тыс. т/год) к единице площади.

Уровень загрязнения других природных сред (атмосферных осадков, почвы)

Химический состав атмосферных осадков

По данным ГГО им. А.И.Воейкова за период 1992-1997 гг., произошло увеличение доли кислых ($\text{pH} < 5,6$) и слабокислых дождевых осадков с 18 % до 70 % от числа дождей.

Коэффициент суммарного загрязнения снегового покрова (Z_c), определяется по формуле:

где: $K_c = C_{\text{ф}}/C_{\text{к}}$, $C_{\text{ф}}$ – фактическая концентрация элементов в снеговой воде
 $C_{\text{к}}$ – концентрация элемента в снеговой воде на контроле,
 n – число изучаемых элементов загрязнения.

Z_c изменялся в пределах 4,3-17,1 (ионы серной, угольной и азотной кислоты, аммония, хлора, Са, Mg, Na, K). Значения pH снеговых вод колебалось от 6,5 до 6,95 (нейтральная реакция).

Оценка ВНИИЛМ в 1985-1989 гг. обследуемой территории (Щекинский химкомбинат «Азот»-музей-заповедник «Ясная Поляна»-Косогорский металлургический комбинат по суммарному показателю загрязнения снеговой воды показала, что по загрязненности территория музея-заповедника занимает промежуточное положение ($Z_c = 2,25$) между подфакельными значениями Косогорского металлургического комбината ($Z_c = 1,4$) и Щекинским химкомбинатом «Азот» ($Z_c = 3,38$). Таким образом, Щекинский химкомбинат внес наибольший вклад в загрязнение природной среды музея-заповедника.

Примерно в тот же период (1985-1988 гг.) изучалось содержание органических соединений (формальдегид, фенол, бензол, метанол, капролактамы) в снеговой воде. При этом установлено повышенное (в 10 раз) содержание формальдегида (0,103 мг/л) по сравнению с контролем. Содержание фенола, метанола, бензола и капролактама также превышало контроль (0,069; 0,024; 0,010; 0,063 мг/л), но в меньшей степени (1,5 – 2,5 раза).

Химический состав почвы

Лесорастительные свойства почв обследованных участков (данные 2001 г., ВНИИЛМ) имеют параметры, характерные для серых лесных почв:

- слабая и средняя степень кислотности;

- достаточно высокое содержание гумуса (3,8-6,6 %);
- достаточный уровень насыщенности основаниями (38-91 %);
- гидролитическая кислотность несколько выше среднего уровня (4-6 мг/экв);
- средний и повышенный уровень содержания подвижных форм фосфора и калия;
- величина суммы поглощенных оснований (4-24 мг/экв/100 г) около среднего уровня (10-15 мг/экв/100 г).

Загрязнение почвы тяжелыми металлами

По данным мониторинга (1987-1991 гг.), суммарный показатель загрязнения почвы Z_c медью (2 класс опасности), кобальтом (2 класс опасности), цинком (1 класс опасности) и никелем (2 класс опасности) на 95% участков имел величину, равную 8-16 (допустимое загрязнение), а 5% участков характеризовались умеренно опасным уровнем загрязнения ($Z_c = 16-32$).

Полученные в 2001 г. результаты подтвердили выводы исследований предыдущих лет. Несмотря на достаточную стабильность агрономических показателей лесных почв, наличие тяжелых металлов может стать причиной, вызывающей нарушение роста и состояния древесных пород.

Разработка национальных стандартов качества атмосферы

Большую роль в охране чистоты воздуха сыграла разработка «Временных нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, оказывающих вредное воздействие на лесные насаждения в районе музея-усадьбы «Ясная Поляна» (1984), получивших официальный статус первыми в стране.

ПДК рассчитаны для всех хвойных и лиственных пород по максимальным значениям, принятым для основных хвойных пород (ель, сосна) ввиду их большей чувствительности. По аналогии с санитарно-гигиеническими требованиями, они регламентировали допустимое воздействие по среднесуточной и максимально-разовой концентрациям примеси в атмосферном воздухе. Перечень вредных веществ, включенных в состав этих нормативов, составлял 13 наименований, характерных для данного промышленного региона. Эти нормативы позволили оперативно реагировать на создающуюся экологическую обстановку.

В 1985-1990 гг. ВНИИЛМ (А.А. Мартынюк, Ю.Б. Боронин) совместно с соисполнителем (СИФИБР) разработал значения нормативов по главным фитотоксикантам применительно для хвойных пород (ель, сосна) в условиях Братского региона Иркутской области и особо

охраняемых лесных территорий. В 1994 г. эти нормативы были утверждены Рослесхозом и Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ. В дальнейшем ВНИИЛМ были предложены поправочные коэффициенты к нормативам ПДК-лес на 15-30 % в связи с более токсичным влиянием смеси газов, чем отдельных загрязнителей. Указанным перечнем и ограничивается список нормативных документов, с помощью которых возможно определение экологического ущерба и правовое его обоснование (проведение ОВОС и мониторинга).

Существовал и иной подход к разработке ПДК (Николаевский, 1979; Николаевский, Першина, 1981), учитывающий чувствительность к газам 8 видов древесных и травянистых растений. Максимально-разовые величины ПДК найдены из сводных данных за 3 года по минимальным концентрациям газа, еще не вызывающим нарушения фотосинтеза (более чем на 10 %) у любого вида растительности за любой срок определения. По мнению разработчиков, таким подходом будут учитываться разные элементы экосистем и чистота биосферы. Но при биосферных ПДК для соблюдения чистоты атмосферы требуется сокращение промышленных выбросов в 100 и более раз, что нереально. За рубежом получила распространение практика нормирования путем осреднения наблюдаемых концентраций за вегетационный период или год (страны ЕЭС, США), что достаточно затруднительно для больших лесных территорий при регулярном слежении за уровнем загрязнения.

В связи с этим целесообразнее учитывать чувствительность не организма и его функций, а биогеоценоза или экосистемы в целом.

1.2. Оценка состояния лесных экосистем на основе лишеноиндикации

Наблюдения за состоянием эпифитного лишайникового покрова (внеярусной растительности) на территории музея-заповедника были проведены ВНИИЛМ в 1992 г. [39]. Различная чувствительность отдельных видов лишайников позволяет определить зоны с разной степенью загрязнения воздуха. Устанавливалась зависимость между различными характеристиками лишайникового покрова (числом видов, присутствием или покрытием конкретных видов, общим проективным покрытием лишайников) и параметрами, характеризующими уровень регионального или локального загрязнения. Наличие или отсутствие изменений в их развитии отражает характер воздействия за-

грязнителя на экосистемы, т.е. показывает, является ли его действие еще безвредным или уже вызывает изменения.

Анализ распространения эпифитных лишайников на территории музея-заповедника позволяет отметить их небольшое присутствие. Наличие лишайников в значительной мере определялось положением лесных участков внутри лесного массива или на границе с полем, при прямом действии промышленных выбросов. Так, для территорий южной и юго-западной части заповедника, обращенных к Щекинскому химкомбинату («Источек», «Елочки под Грумантом»), характерно почти полное отсутствие эпифитных лишайников и образование «лишайниковой пустыни».

В тех местах, где они обнаружены, трудно говорить об их проективном покрытии, так как их наличие носит точечный характер; слоевище, как правило, слабо развитое, малой площади и не поднимается по стволу дерева более 70 см (табл. 5). Основные сборы лишайников приурочены к продуваемым участкам, обращенным к полянам, реке, пашне, находящимся в центральной части усадьбы.

Видовой состав лишайников, проективное покрытие, высота поднятия по стволу свидетельствуют о значительном нарушении экосистем.

Даже частичное восстановление лишайникового покрова в лесных насаждениях, обращенных к химкомбинату, будет указывать на улучшение состояния воздушной среды.

Приведенный ниже список эпифитных лишайников по всем известным классификациям (Трасс Х.Х. 1985; Горшков В.В., 1991) отражает виды, наиболее устойчивые к действию атмосферного загрязнения:

Parmelia sulcata;
Parmelia saxatilis;
Physcia stellaris;
Physcia tenella;
Physcia dubia;
Physcia ascendos;
Physcia dimidiata;
Lepraria aeruginosa;
Parmeliopsis pallescens;
Cladonia fimbriata;
Cladonia pityrea;
Cladonia macilenta.

Таблица 5. Наличие эпифитного лишайникового покрова на территории музея-усадьбы «Ясная Поляна»

Местонахождение пробных площадей на участках	Порода и высота расположения лишайников, см	Категория состояния деревьев, баллы	Род и вид лишайника	рН коры и лишайника
1. Центральная усадьба, парк «Клины»	Липа 180 лет, h=50 Дуб 250 лет	Ослабленное, 1,8-2,0 Ослабленное, 1,8-2,0	<i>Cladonia macilenta</i> (первичное слоевище) <i>Cladonia pityrea</i>	4,8/5,0
2. Аллея Красного сада	Липа, h=30	Нормальное 1,3	<i>Physcia stellaris</i> , <i>Physcia dubia</i>	4,3/4,95
3. «Чепыж»	Вяз, h=90	Нормальное 1,2	<i>Physcia tenella</i> , <i>Parmelia saxatillis</i>	4,05/4,95
4. Опушка «Чепыж»	Ива, h=50	Ослабленное 2,5	<i>Physcia dubia</i> , <i>Physcia ascendos</i> , <i>Physcia dimidiata</i>	4,3/4,45
5. «Большая Поляна»	Вяз, h=70; Береза, h=20, h=160 Дуб, h=70	Нормальное 1,3 Ослабленное 2,2 Ослабленное 1,8	<i>Parmelia sulcata</i> , <i>Cladonia fimbriata</i> , <i>Physcia stellaris</i> , <i>Cladonia fimbriata</i>	4,6/4,95
6. «Старый заказ»	Вяз, h=50 Ясень, h=40	Ослабленное 1,6 Ослабленное 1,6	<i>Lepraria aeruginosa</i> , <i>Cladonia macilenta</i> (первичное слоевище)	-
7. «Поддонный верх»	Ясень, h=70	Ослабленное 1,7	<i>Lepraria aeruginosa</i>	4,3/4,45

В отсутствие конкуренции со стороны эпифитных лишайников на стволах деревьев дуба, липы, ясеня, березы и других лиственных пород широкое распространение получили водоросли:

- трентеполия, образующая красно-бурые потеки значительной площади на коре деревьев (дуб);
- плеврококк, окрашивающий кору березы, осины, вяза в зеленый цвет.

Эти водоросли получили широкое распространение в экологически нарушенных местообитаниях и являются одними из первых свидетелей ослабления древостоя.

В условиях загрязнения окружающей среды важно понять действие основных механизмов, обуславливающих угнетенность и гибель растений, а также участвующих в адаптации к экстремальным факторам вообще. В музее-заповеднике «Ясная Поляна», прежде всего, рассмотрим хроническое загрязнение промышленными выбросами и внезапное (шоковое) воздействие пороговых концентраций вредных веществ.

1.3. Компенсаторные реакции лесной растительности на действие стресс-факторов

Согласно современным представлениям [59], адаптационный процесс к действиям стресс-факторов состоит из двух функционально различных этапов:

- стресс-реакции неспецифического характера, во время которой растения теряют тургор, идет остановка роста и основных биосинтезов; в клетках мобилизуются (активизируются) различные защитные реакции (окислительные ферменты, новообразование защитных шоковых белков и пептидов). Эта система обеспечивает лишь кратковременное выживание организмов в условиях действия стрессоров (загазованность, тяжелые металлы, засоление, перегрев, мороз)
- кратковременная адаптация;
- стадия резистентности (специализированная адаптация) заключается в связывании загрязнителей (SO_2 , ТМ) в инертные формы (фитохеланиты и др.), т.е. в улучшении до определенного уровня метаболизма серы и азота, избегании токсического действия тяжелых металлов и, вероятно, заражения различными патогенами, в изменении строения корневой системы.

На втором этапе включаются долговременные механизмы адаптации, ответственные за повышение устойчивости к данному конкретному фактору (общая устойчивость).

Так, к ним относятся:

- ксероморфные признаки (утолщение кутикулы, изменение размеров и числа устьиц и др.), обеспечивающих резистентность к атмосферному загрязнению, засухе, морозу;
- непроницаемость мембран поглощающих корней для солей и тяжелых металлов;
- отвод избытка солей (компартаментация) в клетках (вакуоль, клеточная стенка), осевых органах (кора, ксилемные сосуды);
- аккумуляция в цитоплазме клеток и тканей осмопротекторов (пролин, сахара и др.);
- транзитная аккумуляция стресс-гормонов (этилен, АБК, полиамины и др.).

По данным В.С. Николаевского (1998), для условий музея-заповедника «Ясная Поляна» наиболее надежными являются следующие параметры биоиндикации:

- анатомические (число устьиц на 1 мм² и одновременно уменьшение их размеров);
- биометрические (сырой или сухой вес листьев или хвои годичных отрезков боковых побегов; сумма площадей листьев годичного побега);
- биохимические (эффект «пероксидаза» и «аскорбиновая кислота»).

Нарушение метаболизма (1987 г.) отмечено при изучении соотношения N/P (ниже по сравнению с контролем для хвои ели – 88,6 % и для листьев березы – 83,9%) и Ca/K (для хвои ели – 76,7 %, для листьев березы – 70 %). Содержание белкового и небелкового азота в органах ассимиляции древесных пород увеличилось в 1,6-5 раз при интенсивном загрязнении воздуха.

Нарушение жизнеспособности древесных пород устанавливали на основании следующих параметров [36]:

- увеличение активности окислительно-восстановительного фермента – пероксидазы по сравнению с контролем: для дуба в 2,8-3,2 раза, для липы – в 2,2-2,3 раза, для березы – в 1,5-2 раза;
- снижение содержания аскорбиновой кислоты (в % от контроля): для дуба – 69,0-99,6, для липы – 58,7-90,6; для березы – 88,6-92,1;
- увеличение проницаемости клеточных мембран (в % от контроля): для дуба – 182,9-116,7; для липы 161,0-241,7; для березы 107,7-201,2.

В течение вегетации у всех видов древесных пород наблюдалось 3-4 совпадающих по срокам «пиков» наблюдаемых параметров, которые вызваны повышением концентрации газов в воздухе.

Из анатомо-морфологических показателей учитывались ксероморфность, утолщение кутикулы, изменение числа устьиц листьев, прирост годичных боковых побегов; из фенологических – сбрасывание листьев (освобождение от загрязнителей с опадом) в летний период.

Исследованиями установлено [42], что в районах сильного техногенного загрязнения обычно наблюдается снижение радиального прироста при увеличении доли поздней древесины в годичных слоях. В зоне техногенной нагрузки значительно сокращается период камбиальной активности, при этом в зоне воздействия доля поздних трахеид в годичном кольце примерно в 1,5 раза больше по сравнению с контролем.

Компенсаторное формирование поздней древесины на воздействие стресс-фактора проявилось следующим образом. В еловых насаждениях музея-заповедника при уменьшении ширины годичного слоя процент поздней древесины незначительно увеличился, но толщина оболочек клеток поздней древесины была ниже контрольной на 22%, и такой процесс формирования годичного кольца был характерен в данных условиях. По-видимому, деятельность камбиального слоя клеток была подавлена в значительной степени.

Проведенные эколого-физиологические исследования показали, что под влиянием техногенного загрязнения происходило нарушение процессов метаболизма, водного режима и газообмена у древесных пород, снижение морозоустойчивости, сокращение вегетационного периода.

Все эти изменения снизили жизнеспособность и способствовали деградации лесных экосистем. Большинство методов биоиндикации (анатомо-морфологические, биометрические, биохимические) позволяют регистрировать загрязнение воздуха довольно высокого уровня (в 3-5 и более раз превышающего нормативы ПДК). Для оценки состояния экосистем применимы также популяционные биоценотические методы биоиндикации. В связи с этим рассмотрим естественное возобновление изучаемых лесных насаждений.

1.4. Естественное возобновление насаждений дубово-ясеневолиповой формации

Важное значение при изучении устойчивости лесных насаждений имеет информация о процессе возобновления. Обычно отмечается сни-

жение уровня плодоношения и всхожести семян в условиях загрязнения среды, а также снижение общей успешности возобновления [5].

Для музея-заповедника «Ясная Поляна» важно определение успешности возобновления лесов дубово-ясенево-липовой формации. Эти леса занимают наиболее возвышенные водораздельные пространства и приурочены к богатым почвенным условиям. Дуб растет по II классу бонитета и отличается большой долговечностью (до 300 лет). Наибольшее распространение имеют пролесниковые и зеленчуковые типы леса.

Исследования возобновления в фоновых условиях [62] показало, что нормальный ход восстановления дуба в Тульских засеках нарушен (Крапивенское лесничество, Крапивенский лесхоз-техникум). За период с 1984 по 1996 гг. не было обильного плодоношения дуба, хотя раньше дуб плодоносил через 5–6 лет.

Эти негативные явления в еще большей степени характерны и для состояния мемориальных дубовых насаждений музея-заповедника. У деревьев дуба I-ого яруса ежегодно отмечается от 10 до 30 % ожогов листьев, их измельчение и дехромация, отмирание ростовых почек, сокращение объема крон, в том числе и вторичных, некротизация коры молодых ветвей и их усыхание, поражение дереворазрушающими грибами. Все это ведет к снижению плодоношения, а порой и к его отсутствию. Появляющийся самосев дуба подавляется обильной травянистой растительностью, хорошо развитым подлеском и возобновлением сопутствующих древесных пород (липа, клен остролистный, ясень). Придержкой по оценке качества самосева и подроста дуба являлась классификация С.С. Пятницкого (1993).

Лимитирующим фактором для молодого поколения дуба является свет. Пространственная структура популяции дуба представлена разновозрастными группами, размер и размещение которых заданы хозяйственными мероприятиями. Все поколения дуба, близкие к возрасту спелости, занимают незначительную площадь. Вмешательство человека для создания оптимальных световых условий должно быть строго дифференцированным, с индивидуальным подходом к каждому выделу.

В основу сохранения популяции дуба был положен природный механизм самоподдержания лесов, связанный с гибелью отдельных старых деревьев и образованием на их месте просветов («окон»), которые увеличивают доступ света под полог насаждений и обеспечивают развитие молодого поколения, способного занять место в верхнем ярусе древостоя [14].

В этих целях в местах распада древостоя («окна», прогалины и редины) при отсутствии самосева дуба создаются так называемые подпологовые культуры. Неудачи с созданием подпологовых культур дуба часто связаны с недостаточным световым режимом для каждого этапа онтогенеза дерева: ювенильные растения входят в травяно-кустарничковый ярус, имматурные растения занимают промежуточное положение между ювенильными и взрослыми растениями, виргинильные деревья имеют почти полностью сформированные черты взрослого дерева, но еще не приступили к семеношению. У них хорошо развиты ствол, крона и максимальный прирост в высоту за весь онтогенез [61].

Подпологовые культуры имеют ряд преимуществ: сокращают время на лесовосстановление, предупреждают нежелательную смену пород, повышают устойчивость лесных насаждений.

К недостаткам относятся: неудовлетворительная освещенность (особенно при несвоевременном уходе), повреждаемость культур при уборке деревьев материнского полога, временное ухудшение роста при внезапном освещении. Но хозяйственными мерами можно уменьшить негативное влияние некоторых факторов.

В музее-заповеднике имелся определенный опыт (1977-1988 гг.) создания подпологовых культур дуба посадкой саженцев и посевом желудей (участки «Чепыж», «Арковский верх», «Старый заказ», «Дубы у купанья», «Афониная роща», «Осинник»). Но лесоустройством не было сделано оценки эффективности этой работы и необходимых лесоводственных рекомендаций. В.В. Поповым (1960) отмечалось, что еще лесоустройством 1884 г. в Тульских засеках для улучшения состояния дубрав рекомендовались подпологовые культуры дуба. Но положительных результатов эта мера не дала из-за недостаточного лесоводственного ухода. О трудностях воспроизводства дубрав не только под пологом леса, но и на вырубках говорит более чем 100-летний опыт русских лесоводов: Ф.К. Арнольда, В.Д. Огиевского, А.А. Хитрово, А.П. Молчанова, К.Б. Лосицкого и др.

Опыт создания и выращивания подпологовых культур дуба в мемориальных лесных насаждениях обобщен ВНИИЛМ (Рекомендации по ведению лесного хозяйства в насаждениях..., 2001). Доминирующее положение дуба может быть обеспечено путем планирования «центров осветления», представляющих собой «окна», имеющие в перспективе возможности для расширения за счет удаления либо сопутствующих и второстепенных пород из второго яруса, либо сильно ослабленных деревьев первого яруса (некротно-раковые и гнилевые

болезни, механические повреждения стволов и корневых лап). Так, на участке «Чепыж» 60% деревьев дуба имеют стволовые гнили с высокой степенью пораженности. Кроме того, ослабленные деревья ясеня поражаются болезнью – эндоксилиновым раком, когда с разных сторон ствола образуются раны, охватывающие 2/3 окружности ствола (преимущественно у комля).

Выборочным санитарным рубкам следует придать характер группово-выборочных (или рубок обеспечения ФАР – фотосинтетически активной радиации – солнечные лучи в области спектра 400-700 нм) с постепенным расширением окон в целях улучшения светового режима подпологовых культур.

По образному выражению проф. Н.С. Нестерова (Очерки по лесоведению, 1960) «отношение древесных пород к свету – основа, краеугольный камень лесоведения».

Массовый обмер деревьев на пробных площадях, анализ показателей развития крон деревьев, высоты, текущего и среднего прироста в высоту в окнах с различной освещенностью позволили выявить [14] основные тенденции роста подпологовых культур (приложение 1) до 30 –летнего возраста (до окончания виргинильной возрастной стадии).

Из анализа таблицы следует, что желательно иметь площадь окон более 500 м². В небольших окнах, близких по размеру к естественным (100-300 м²), условия освещенности неудовлетворительны для роста дуба и поэтому создание культур здесь нецелесообразно, если в ближайшие 3-5 лет не планируется расширение окна.

При площади окон более 500 м² и при отношении диаметра окна к высоте древостоя, равной 0,8 и более (освещенность около 40% от полной), средний прирост в высоту составляет 20-29 см. Такая интенсивность роста близка к интенсивности роста деревьев верхнего полога, причем сохраняется до 40-45 % перспективных деревьев.

Оптимальной является площадь окна около 1000 м² при отношении диаметра окна к средней высоте древостоя, равном 1 и более (освещенность около 60% от полной). В таких условиях усыхающие и сухостойные экземпляры составляют всего лишь 2,1-5,5%.

Только при регулярном и тщательном уходе до стадии молодого генеративного состояния дуба (40-50 лет) можно обеспечить экологическую среду, близкую к оптимальной (т.е. 40-60% полного освещения), и постепенный его выход в первый ярус, создавая ступенчатую, разновозрастную структуру насаждений с продуктивностью не ниже II-III классов бонитета и сохранением лесной среды.

Для оценки степени освещенности растений под пологом леса на основе изучения хода естественного возобновления в мемориальных дубовых насаждениях и роста подпологовых культур, а также обобщения ряда публикаций (В.В. Попов, 1949; В.А. Алексеев, 1963 и др.) разработана 5-бальная шкала оценки светового режима при формировании подпологовых культур (1 балл – световые условия под пологом леса до 5-10 % освещенности открытого места и до 5 баллов – световые условия больших полей или вырубок после сплошных санрубок – 90-100 % освещенность открытого места) [46].

В условиях достаточной освещенности контрольным показателем является средний прирост в высоту, равный 20 см. На участках с меньшей освещенностью рост дуба в высоту угнетен, и выход в верхний ярус является проблематичным.

В музее-заповеднике достаточный уровень освещенности подпологовых культур дуба отмечался в некоторых окнах участка «Чепыж» (рис. 2) и на участке «Дубы у купанья» (условия редины). К негативным факторам при создании подпологовых культур дуба относятся также их заболевание мучнистой росой с повреждением молодых побегов и листьев, вызывающим дефолиацию крон.



Рис. 2. Подпологовые культуры дуба на участке «Чепыж»

Проблема ведения хозяйства в дубравах – одна из наиболее острых. За последние 30 лет площадь дубрав сократилась почти на 30% в зоне широколиственных лесов и лесостепной зоне [9]. Причиной такого явления служат: аномальные погодные условия, закономерные

природно-климатические изменения, межвидовые взаимоотношения, влияние насекомых, болезней и антропогенных факторов [61].

Основным путем противодействия негативным факторам среды является лесохозяйственная деятельность, поскольку дуб можно отнести к категории «уязвимых видов», нуждающихся в длительном и своевременном лесоводственном уходе при высоком агротехническом фоне. Такое отношение имеет особую значимость при сохранении мемориальных насаждений дуба в музее-заповеднике при техногенном воздействии.

Недостаточный уровень агротехники при создании культур в окнах «Чепыжа» (1975-1977 гг.), при котором высаживались 4-летние саженцы дуба с коротко обрезанной корневой системой, без предварительной подготовки почвы и послепосадочного полива, привел их к гибели. Научными сотрудниками ВНИИЛМ (осень 1979 г.) применялся садовый способ посадки 8- и 10-летних саженцев с комом почвы, с обработкой кома раствором гетероауксина, внесением компоста в посадочные места и обеспечением полива. Приживаемость опытных культур составила 100%, а в производственных посадках с применением такого же посадочного материала, только 46%. На третий год после посадки максимальный прирост был в культурах с посадкой 8-летних саженцев – 68 см (контроль – производственные культуры – 48 см).

Дубки на контроле отставали в сроках прохождения весенних фенологических фаз развития. В дальнейшем, проведение осветления культур дало удовлетворительные результаты и показало целесообразность их создания.

1.5. Эколого-лесоводственная оценка лесных насаждений

Преобладающими породами музея-заповедника является береза, дуб и липа. Ольха, ясень, клен, ольха черная, ива встречаются чаще всего в качестве примеси, доля хвойных (культуры ели) не превышает 5 % от покрытой лесом площади. В целом, за последние 30 лет проявляется устойчивая тенденция по сокращению площади дубовых и березовых насаждений при одновременном росте площадей липняков. Большинство насаждений отличается высокой производительностью (I-I^a классы бонитета), несколько ниже этот показатель у дубовых насаждений (I-II классы бонитета).

Достаточно показательной является величина полноты древостоев, что в условиях антропогенного воздействия служит важным критерием жизнеспособности насаждения. Снижение средней полноты дубовых и березовых насаждений (0,52 и 0,55) говорит о снижении ими экологической устойчивости в результате стрессовых ситуаций [21]. В то же время средняя полнота липняков в 1995 г. составила 0,64.

В возрастной структуре дуба и березы отсутствуют молодняки. В составе дубовых насаждений (1995 г.) только 3,2 % площади занимали молодняки, созданные посадкой. Постепенно происходит накопление спелых и перестойных насаждений. Отсутствие молодняков в возрастном спектре дубрав и березняков практически исключает сохранение позиций дуба и березы в составе лесов музея-заповедника в перспективе. Это может отрицательно сказаться на сохранности этих мемориальных насаждений.

Рассмотрим динамику (табл. 6) санитарного состояния дубрав, березняков и ельников на стационарных пробных площадях (средний балл по периодам наблюдений), с 1978 по 2011 гг. – данные В.Г. Стороженко [21], с 2003 по 2010 гг. – данные И.Ф. Костюковой (приложение 3).

Таблица 6. Динамика санитарного состояния мемориальных лесов по данным 6 ППП с 1978 по 2010 гг.

Местоположение по постоянной пробной площади	Год создания л/к или возраст насаждений	Периоды наблюдений, годы						
		1978 – 1985	1986 – 1990	1991 – 1995	1996 – 2000	2001 – 2005	2006 – 2010	среднее
Березовые древостои								
Старая Абрамовская посадка 3,2х3,2 м	1874 – 1876 гг.	2,8	2,5	2,4	2,4	2,6	3,2	2,7
Молодая Абрамовская посадка 3х3 м	1949 – 1950 гг.	2,4	1,7	1,7	1,7	2,0	2,1	1,9
Дубовые древостои								
Чепыж 3Д2Лп2Кл1Вз, полнота 0,5	200-250 лет	3,4	2,7	2,9	2,7	2,5	2,3	2,8
Источек 4Яс3Д2Лп1Кл, полнота 0,7	Рубка дубового насаждения в 1932 г.	3,7	2,7	2,7	2,3	2,1	-	2,7
Еловые древостои								
Елочки под Грумантом, 2х2 м, 7ЕЗС, полнота 0,5	1898 – 1906 гг.	2,8	2,3	2,2	2,1	2,2	2,3	2,3 (учет ели)
Елочки за Чепыжом, 2х2 м, полнота 0,9	Реставрированы в 1965 г. после рубки спелого насаждения	1,6	1,5	1,4	1,3	1,9	2,5	2,0

Из приведенных данных можно отметить следующие тенденции за 30-летний период мониторинговых наблюдений.

В период интенсификации производства (до 1986 г.) спелые и перестойные насаждения дуба и березы находились в сильно ослабленном состоянии (средний балл 2,8–3,4). Отнесение средневозраст-

ного насаждения дуба «Источек» к категории усыхающих (балл 3,7) связано, видимо, с недостаточным уровнем рубок ухода и накоплением старого сухостоя. Остальные средневозрастные насаждения березы и ели были ослаблены (балл 1,6–2,4).

В последующем, проведение природоохранных мер (1986–1990 гг.) способствовало повышению жизнеспособности насаждений до категории «ослабленные» (баллы 1,7–2,5), кроме дубовых насаждений (балл 2,7) и реставрированных культур ели в 1965 г. (балл 1,5, т.е. здоровое насаждение). До 2000 г. состояние насаждений стабилизировалось.

После 2001 г. и к настоящему времени жизнеспособность лесных насаждений стала снижаться, особенно на участке «Старая Абрамовская посадка».

Насаждение ели на участке «Елочки под Грумантом (взрослые)» находилось в ослабленном состоянии; в последние 3 года средний балл состояния наблюдался (приложение 2) в пределах 2,63–2,75 (высокий возраст посадки, наличие гнилей и других дефектов); в 2011 г. проведена выборочная санитарная рубка 24 деревьев, заселенных короедом-типографом.

Участок средневозрастных культур ели «Елочки за Чепыжом» характеризовался до 2001 г. относительно устойчивым состоянием (меры ухода и борьбы с корневой губкой) – средний балл состояния 1,3–1,6 (здоровое насаждение). С 2008 г. из категории ослабленного этот древостой ели перешел в категорию «сильно ослабленный» (средний балл 2,5). Процесс дифференциации деревьев и рост числа усохших деревьев ухудшает лесопатологическую ситуацию (корневая губка и др.).

Показателем адаптационных возможностей является изменение радиального прироста у деревьев хвойных пород. У чувствительных к загрязнению природной среды древесных пород (сосна, ель) отмечалось характерное возрастание амплитуды колебаний значений радиального прироста. После пуска в эксплуатацию Щекинского химкомбината «Азот» вариации прироста у сосны возросли (76–82%), на контроле величина коэффициента вариации составляла 44–50%; у ели амплитуда колебаний коэффициентов вариации наблюдалась в пределах: 36–39% на контроле и до 58–64% на территории заповедника. Одновременно у этих пород снижается и величина радиального прироста под влиянием промышленных выбросов.

Период наибольшей вариабельности радиального прироста сопровождался гибелью деревьев сосны и ели на части площадей 85-

летних культур и сильным ослаблением оставшейся части древостоя, вызванным воздействием промышленных выбросов.

Влияние возраста и техногенной нагрузки на санитарное состояние насаждений доказано применением дисперсионного анализа. Установлено, что основным фактором, влияющим на санитарное состояние всех трех изучаемых пород (дуб, береза, ель) является техногенное воздействие. Влияние возраста доказано лишь для ели; в остальных случаях оно имеет тенденцию к проявлению за счет взаимодействия с техногенным фактором.

Наблюдаемое в последние годы (с 2007 г.) довольно резкое увеличение выбросов формальдегида и двуокиси азота, обусловленное как производственными процессами, так и фотохимическими реакциями в атмосфере, создает предпосылки для ухудшения экологической ситуации (см. раздел 2).

В связи с этим вряд ли есть основания ожидать улучшения санитарного состояния лесов «Ясной Поляны».

В условиях музея-заповедника леса выполняют значительную газопоглотительную функцию. Взаимодействия между атмосферными примесями и лесными экосистемами достаточно полно освещены в работе У.Х. Смита [52]. На основании экспериментальных работ исследователь сделал следующие обобщения:

- скорости поглощения газообразных примесей растениями возрастают с увеличением их растворимости: растворимые и активные HF , SO_2 , NO_2 , O_3 легко сорбируются; NO и CO плохо растворимые, медленно или вообще не абсорбируются растительностью;
- при увлажнении поверхности растений скорость поглощения примесей может возрасть в 10 раз; при этом вся поверхность растений – листья, побеги, ветки, стебли – становится поглотителем;
- при остром дефиците влаги, ограничивающем открытие устьиц, тормозится усвоение газовых примесей;
- двуокиси серы и азота поглощаются листьями в темноте в процессе дыхания, но скорость поглощения значительно ниже, чем на свету.

Экстраполяция выводов экспериментальных работ на естественные условия должна быть осторожной и взвешенной, поскольку в контролируемых условиях использовались высокие концентрации газов, а в качестве объектов – сеянцы. Поступление атмосферных примесей в лесную экосистему может иметь либо эффект удобрения при невысоких концентрациях, либо подавлять фотосинтез и рост растений. Загрязнение воздуха может стать дополнительным фактором, по-

тенциально способствующим появлению предрасположенности растения к заболеванию.

В насаждениях музея-заповедника эффективными поглотителями разнообразных пылевых частиц и тяжелых металлов являются еловые насаждения, а среди лиственных пород – деревья с шероховатыми листьями (вяз и лещина) и листьями сложной конфигурации с большим периметром (ясень).

В исследованиях О.В. Чернышенко (МГУЛ, 2000) [58] по поглотительной способности вредных газов лесными насаждениями делается акцент на следующие факторы, влияющие на интенсивность этого процесса:

- поглотительная способность насаждений зависит от состава пород, полноты, бонитета, возраста, ассимиляционной способности крон деревьев, длительности вегетации;
- динамика накопления загрязнителей зависит от климатических характеристик вегетационного периода;
- в условиях сильного загрязнения атмосферного воздуха поглотительная способность древесных пород равна 0;
- при этом увеличивается роль почвы, имеющей достаточно высокую влажность и рыхлое строение;
- скорость поглощения газа (SO_2) наиболее высока у почвы, затем по мере её снижения идет лиственное, затем хвойное насаждение;
- большинство экспертов считает, что удельная роль в поглощении SO_2 из воздуха составляет для растительности 16,6-21,4%, для почвы – 78,5-83,4%.

Высока гидрологическая роль лесных насаждений музея-заповедника (4-5 баллов по классификации И.В. Тюрина, 1949). Не менее значима и почвозащитная роль лесов. Облесение основных элементов эрозионного процесса – ложбин, лощин, оврагов с крутизной склонов до 20° – уменьшило опасность эрозии почв благодаря равномерному распределению снега, снижению промерзания почвы и поглощению поверхностного стока.

Созданные Л.Н. Толстым посадки леса имеют не только историческое и природоохранное значение, но и характеризуются высокими эстетическими свойствами благодаря сочетанию (участками или группами деревьев) различных древесных пород: дуба, сосны, березы и ели. Лесные и луговые ландшафты, как в прошлом, так и в настоящем отличаются богатой цветовой гаммой, комфортным микроклиматом, удобной дорожно-тропиночной сетью.

2. Поступление загрязнителей в атмосферу, их трансформация и пространственное распределение в ландшафтах

Степень воздействия газообразных соединений и твердых частиц на окружающую среду во многом определяется их поведением в атмосфере, начиная с момента их поступления в атмосферу и заканчивая осаждением на подстилающую поверхность земли. Для оценки воздействия на экосистемы необходима дополнительная информация о пространственном распределении поллютантов, путях их переноса, орографических и метеорологических условиях региона.

В этом отношении рассмотрим долговременное техногенное влияние на лесные насаждения музея-заповедника Л.Н.Толстого «Ясная Поляна». Метеоусловия территории относятся ко II климатическому поясу, подрайон «В» (СНиП 23-01-99).

На территорию музея-заповедника воздействуют загрязняющие вещества от трех промышленных зон: Щекинской, Тульской и Новомосковской. До 70% загрязнителей поступает с ветрами южного и юго-западного направлений от предприятий Щекинской промышленной зоны (1,5-3 км). Остальная масса выбросов (до 30%) приходит с ветрами северного и северо-восточного направлений от Тульской промышленной зоны (15 км): Косогорский металлургический завод, «Тулачермет» и др., «Новомосковская акционерная компания» (НАК) «Азот», выбросы автотранспорта от Симферопольского шоссе.

Характерным для ветрового режима территории является преобладание юго-западных и западных ветров (35%). Рельеф территории представляет собой волнистую равнину, расчлененную овражно-балочной сетью и речными долинами. Крутизна склонов достигает 20°. Перепады высот достигают 55,3 м (максимальная отметка – 250,3 м, минимальная – 195 м). В зависимости от местоположения, скорость ветра в 13 час. дня выше в низинах и долинах по сравнению с ночной в 3-3,5 раза, на ровных и возвышенных местах – в 2,5 раза, вблизи водоемов – до 1-1,5 раз.

Количество осадков 520-600 мм в год. Продолжительность солнечного сияния за год – от 1800 до 2100 часов. В среднем, число дней с туманами – 31 (максимум в октябре-марте). Абсолютный минимум – 42°C, абсолютный максимум температуры +38°C, средняя температура июля +30°C, продолжительность вегетационного периода – 138 дней (t более 10 °C). Климат – умеренно-континентальный.

Следует назвать следующие вредные атмосферные примеси, встречающиеся в окружающей среде музея-заповедника (классификация по У.Х. Смигу, 1985):

I. Аэрозоли

А. Первичные (привносимые в атмосферу)

1. Неорганические

а) взвешенные твердые вещества (пыль, зола, сажа и др. вещества от сгорания топлива)

б) хлориды

в) фториды

г) микроэлементы

Б. Вторичные (синтезируются в атмосфере)

1. Неорганические

а) сульфаты

б) нитраты

2. Органические

а) углеводороды

II. Газообразные примеси

А. Первичные

1. Неорганические

а) окиси углерода, серы, азота

б) галогены, хлориды, фториды

в) другие, аммиак, сероводород

2. Органические

а) углеводороды

Б. Вторичные

1. Неорганические

а) озон

2. Органические

а) альдегиды (формальдегид и др.)

По убыванию токсичности действия на растения газы располагаются в следующий ряд: $O_3 > HF > SO_2 > Cl_2 > NO_x > NH_3 > H_2S$ [61]. Учитывая, что в условиях музея-заповедника озон не входит в число основных определяемых загрязнителей, на первое место можно поставить формальдегид как сильный окислитель.

В объединенной компании «Щекиноазот» (с 2004 г. включены предприятие «Химволокно» и Первомайская ТЭЦ) суммарные выбросы загрязняющих веществ составляют в т/год: NO_2 – 1654,6; NO – 235,0; NH_3 – 83,8; CO – 5607,7; сажа – 229,6; угольная зола – 365,4; сульфат аммония – 32,9; циклогексан – 114,3; капролактамы – 96,9; формальдегид – 1,51. В составе выбросов присутствуют также предельные углеводороды, бензол, толуол, трихлорэтилен, газообразные фториды, метанол, взвешенные вещества и др. Суммарный выброс равен 12 342,49 т/год. Объем выпускаемой продукции тыс. т/год: аммиак – 80, капролактамы – 51, метанол – 60, уротропин – 14,5; сульфат аммония – 157 и товары бытовой химии.

Рассмотрим характеристику выпадений загрязняющих веществ, поступающих на лесные насаждения музея-заповедника. Известно,

что при сжигании твердого топлива, выплавке металлов или производстве минеральных удобрений образуется диоксид серы. В каплях воды или на поверхности субмелчайших частиц (0,03 мкм) SO_2 окисляется в атмосфере до H_2SO_4 , при этом образующийся аэрозоль более вреден для организмов, чем сама серная кислота. Этому способствуют тяжелые металлы (Cu, Zn, Fe, Mn), действуя в качестве катализаторов [45].

В последнее время учеными установлено, что и при низких значениях pH, когда в некаталитических условиях реакция окисления SO_2 практически не происходит, присутствие некоторых металлов (Fe, Mn, Cu) приводит к возрастанию скорости реакции на несколько порядков. Этот факт имеет огромное значение, поскольку жидкофазное окисление SO_2 является основным механизмом в биогеохимическом цикле серы в окружающей среде и в процессе увеличения кислотности атмосферы [45].

Двуокись серы превращается в шлейфах эмиссий в сульфаты, разносимые на большие расстояния – порядка 100-500 км. Утверждается [45], что при выпадении серы в виде сульфат-ионов (SO_4^{2-}) 18 % выпадений поступило в леса в твердой фазе, а основная часть (82%) – растворенной в дождевой воде. Из этого общего поступления 64% выносилось поверхностным стоком.

В зоне влияния Щекинского химкомбината «Азот» в атмосферу поступают оксиды азота (NO , NO_2), аммиак (NH_3), формальдегид (CH_2O), которые применяются в качестве исходных веществ при производстве химической продукции.

Все окислы азота – сильные окислители и очень токсичны.

В местностях с большим поступлением двуокиси азота последняя оказывает непосредственное влияние на растительность. Но отмечается [45] еще более важное и сильное влияние на растительность окислов азота, заключающееся в их способности образовывать опасные фитотоксичные окислители типа озона и нитратов. При изучении круговорота азота установлено, что окись азота окисляется до двуокиси азота или через фотолиз превращается в молекулярный азот, а двуокись азота удаляется, в основном, осадками в форме азотной кислоты [45].

Воздействие двуокиси азота, двуокиси серы и озона распространяется на значительные территории (нередко десятки тысяч кв. км). Изучение данных систематических измерений содержания веществ в фоновых районах ЕТС позволяет сделать вывод о наличии суточной и сезонной изменчивости концентраций этих газов в приземном слое атмосферы. Как правило, концентрация двуокиси серы, азота и озона

достигает своих максимальных значений в дневное время суток. Это связано с увеличением интенсивности вертикального обмена воздушных масс в нижнем слое атмосферы (увеличение концентрации двуокиси серы и озона) и усилением потока окислов азота с подстилающей поверхности [31].

В зависимости от метеоусловий, концентрация озона, двуокиси азота и серы в дневное время суток может в 10-100 раз превосходить значения концентраций этих соединений, регистрируемых ночью и ранним утром.

При сезонных изменениях оказывается, что в зимнее время года содержание двуокиси серы и азота в приземном слое воздуха выше, чем летом, что связано с увеличением объема выбросов продуктов сгорания топлива. Максимальные концентрации озона регистрировались в теплое время года, что обусловлено не только процессами обмена воздушных масс, но и влиянием фотохимического фактора.

Другим распространенным загрязнителем атмосферы является аммиак (NH_3). Он хорошо растворим в воде: при 0°C один объем воды поглощает 1200 объемов аммиака, при 20° – около 700 объемов. Соединение легко вступает в реакции. С водой образует гидроокись аммония (NH_4OH).

Фактически в любой среде аммиак обычно присутствует в форме $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, а не в виде NH_3 . Однако при высоких концентрациях газообразный аммиак поглощается эффективно.

За последние годы в число основных загрязнителей музея-заповедника вошло органическое соединение формальдегид (CH_2O). Представляет собой бесцветный газ с резким запахом, с плотностью паров 1,03 (несколько тяжелее воздуха), хорошо растворим в воде. Ядовит для растений (ПДК-лес максимально-разовая – $0,02 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная – $0,003 \text{ мг/м}^3$).

Формальдегид не накапливается в тканях растений и животных. Большая часть формальдегида разрушается в воздухе в течение дня, образуя муравьиную кислоту и окись углерода. Загрязняет водоемы. По санитарно-токсикологическим показателям его содержание в воде должно быть не более $0,05 \text{ мг/л}$. Обладает эффектом суммации с SO_2 и NO_2 . Сумма их концентраций при расчете не должна превышать единицы:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3} \leq 1,$$

где: C – фактическая концентрация в воздухе к ПДК макс. разовой, мг/м^3 .

Формальдегид опасен для человека, поражает дыхательные пути, кожные покровы, почки, печень, канцерогенен. Вызывает свертывание белковых веществ. Гигиенический норматив (для человека): максимально-разовая концентрация – $0,035 \text{ мг/м}^3$; среднесуточная – $0,003 \text{ мг/м}^3$.

Важно отметить, что в целом по России во многих городах наблюдаются высокие концентрации формальдегида.

По статистическим данным (материалы Ежегодников состояния загрязнения воздуха и выбросов вредных веществ в атмосферу городов и промышленных центров за 2001-2010 гг.), на территории России формальдегид от промышленных предприятий поступает в объеме всего около 1,5 тыс. т/год. Но анализ экологической ситуации экспертами (www.mgo.rssi.ru) показал, что за последние 10 лет концентрация формальдегида превышает среднесуточную ПДК почти в 3 раза и равна 8-9 мкг/м^3 . Из 141 города, где определяется формальдегид, такая концентрация наблюдается в 120 городах (ранее в 94 городах). Этот феномен объясняется образованием формальдегида в результате фотохимических реакций (с метанолом, окислами азота и другими катализаторами) при солнечной погоде.

Такое положение неслучайно. В связи с ликвидацией самостоятельного экологического органа (Госкомэкологии РФ) в 2000 г. снизились экологические требования, сократилось финансирование мер по охране окружающей среды, повысились выбросы промпредприятий в атмосферу [20].

Вторичным продуктом фотохимических реакций является появление приземного озона, который опасен для человека и растений. Наблюдения ведутся лишь в 2 городах: Санкт-Петербурге и Новосибирске.

Фотохимические реакции усиливаются при высокой интенсивности света. Они существенно зависят от погодных условий и могут быть более длительными при солнечной погоде и менее длительными – при пасмурной и облачной.

В большинстве городов максимальное значение концентраций формальдегида отмечается в теплую часть года (май-август). Летние максимумы находятся в пределах $11\text{--}40 \text{ мкг/м}^3$, в зимнее время – $1\text{--}10 \text{ мкг/м}^3$. Такие изменения наблюдаются практически ежегодно.

В городскую атмосферу вбрасываются различные углеводороды от промышленных объектов (химических, энергетических, машиностроительных и др.) и автотранспорта, способствующие усилению реакций. Высокие концентрации двуокиси азота свидетельствуют о

протекании фотохимических реакций. Обычно, как считают эксперты, зимний максимум связан с промышленными выбросами формальдегида. Результаты наблюдений показывают, что формальдегид существенно загрязняет атмосферу (за последние 10 лет средняя концентрация увеличилась на 12,5%). Распад формальдегида в атмосфере связан с фотодиссоциацией. Это один из основных путей стока H_2CO из атмосферы.

Молекулярный распад происходит по реакции, в результате которой образуется оксид углерода и водород: $\text{HCHO} + h\nu \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$.

В результате исследований установлено изменение концентрации формальдегида в зависимости от географической широты: чем южнее, тем концентрация выше. Ясная Поляна находится на 54° северной широты. Так, эта зависимость для условий 2001 г. (условия интенсивной солнечной радиации) выражалась уравнением

. Для Ясной Поляны $R^2=0,35$.

Таким образом, можно полагать, что за счет естественных фотохимических реакций в Ясной Поляне концентрация формальдегида равна, в среднем, 19 мкг/м^3 (20,8%). Остальная масса формальдегида образована мощными промышленными выбросами, поступающими от химкомбината «Щекиноазот» и предприятий Тульского региона. Углеводороды, поступающие из промышленных источников (расширение производства, слабая очистка выбросов) и автотранспорта (неполное сгорание углеводородов в двигателях), являются исходными продуктами, которые в процессе фотохимических реакций способствуют образованию окислителей-поллютантов.

По данным ГУ Тульской ЦГМС, в 2001 г. максимально-разовая концентрация формальдегида (ПДК растительности) составила $0,091 \text{ мг/м}^3$ (91 мкг/м^3). Следовательно, доля промышленных выбросов в общем объеме загрязнения формальдегидом составила 79,2%. Это соотношение может измениться с ростом солнечной активности.

Относительно опасности фотохимических загрязнителей (формальдегид, озон и др.) не существует единого мнения из-за различия в мощности источников выброса, климата, вида и возраста древесных пород. Обширная площадь лесов находится под воздействием этих загрязнителей, несмотря на то, что массовая гибель лесов не отмечена (У.Х. Смит, 1985). При повышенных концентрациях окислителей подавляется фотосинтез и репродуктивность и тем самым снижается устойчивость и продуктивность растений на значительной территории.

Негативное влияние фотохимических окислителей на лесные экосистемы наблюдается на обширной территории, а не только вбли-

зи точечных источников выбросов. Поэтому реализация природоохранных мер должна проводиться в региональном масштабе (предприятия городов Тулы, Новомосковска, Щекино) при соблюдении нормативов ПДК-лес и ПДЭН на Щекинском химкомбинате «Азот» (ввиду его близости к заповедной зоне).

Во «Временных нормативах...», разработанных для насаждений музея-заповедника «Ясная Поляна», отсутствуют данные по величине ПДК для озона. Проф. В.С. Николаевским разработаны [37] нормативы допустимого загрязнения воздуха для зеленых насаждений г. Москвы, в т.ч. и озона. Методология расчета дает общие, а не региональные нормативы ПДК загрязнителей. Для учета специфичных погодноклиматических и эдафических условий регионов нормативы ПДК дифференцированы по концентрации (мин., средн., макс.) и временному интервалу действия (максимально-разовые, среднесуточные, среднегодовые). Так как последствия нарушений у растений связывались с показателями естественного биогеохимического фона на Земле, автор считает данные нормативы универсальными для всей наземной растительности. Но для правильного выбора норматива ПДК загрязнителя (мин., средн., макс.) необходима дополнительная оценка с учетом факторов их возможного влияния на чувствительность растений. Это дает возможность объективно оценить местные экологические условия и правильно выбрать норматив ПДК для расчета ПДВ предприятий.

Ниже приводятся нормативы допустимого загрязнения воздуха для озона и углеводородов. Углеводороды, поступающие из антропогенных источников (промышленность и автотранспорт) функционируют как основные предшественники окислителей-поллютантов на крупных городских территориях, оказывая очень существенное влияние на окружающие лесные экосистемы [52].

Загрязнитель	Величина	ПДК, мкг/м ³		
		макс. разовые	среднесуточные	среднегодовые
Озон	мин.	350	170	35
	средн.	470	240	50
	макс.	600	300	60
Углеводороды	мин.	500	100	50
	средн.	650	140	70
	макс.	800	160	80

Учитывая погодноклиматический режим периода вегетации с достаточным высоким уровнем солнечного сияния, наличия газочувствительных хвойных насаждений, высокий уровень загрязнения воз-

духа (Тульско-Новомосковско-Щекинская агломерации), в том числе повышенными концентрациями фотохимических окислителей, целесообразно принять минимальные значения ПДК этих загрязнителей, тем более, что они даны в чистом виде, а не в смеси с другими газами.

Симптомами повреждения озоном являются: у голосеменных – красно-коричневый дистальный некроз (верхушечный ожог) хвои, прекращение ее роста; у покрытосеменных – крапинки на верхней поверхности листьев [52] (не путать с повреждением хлором!).

Экологическая ситуация в музее-заповеднике вызывала опасение, особенно за период 2005-2010 гг. Если в 2005 г. по статистике Росгидромета (Ежегодники состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России, 2006, 2008, данные ГУ Тульский ЦГМС за 2010 г.) уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивался как «повышенный», в 2007 г. как «высокий», то в 2010 г. – как «очень высокий».

Анализ отобранных проб воздуха показал (приложение 4), что из 10 загрязнителей 8 имеют превышения по максимально-разовым концентрациям (2 775 случаев), выше 5 ПДК (332 случая), выше 10 ПДК (59 случаев). Наиболее сильным загрязняющим веществом является формальдегид (2-й класс опасности) с числом однократного превышения (2147 случаев или 42,2%), с 5-кратным превышением (310 случаев или 6%), с 10 кратным превышением (42 случая или 0,8%). Следует указать следующий факт: среднегодовые концентрации формальдегида превышают 1 ПДК во всех пунктах регулярных наблюдений (Тула, Новомосковск, Ясная Поляна). Наибольшая концентрация ($СИ > 10$) формальдегида в пересчете на ПДК-лес систематически наблюдается в Ясной Поляне; наибольшая повторяемость превышения ПДК по формальдегиду составляет в Ясной Поляне – 30,1-49%, в Туле – 8-40,1%. В 2010 г. число случаев с превышением максимально-разовых ПДК-лес в Ясной Поляне было в 9,5 раз выше, чем в г. Туле (учет по гигиеническому нормативу ПДК). Несмотря на то, что гигиенический норматив в 1,75 раза является менее жестким, загрязнение окружающей среды в заповеднике выше, чем в промышленном городе.

Для лесной местности атмосферные нагрузки традиционно оцениваются для открытых территорий или, в лучшем случае, над пологом леса. Но эта усредненная оценка не характеризует конкретный ландшафт и закономерности распространения выпадений.

Представляют интерес экспериментальные данные, полученные в 1972 г. при проведении модельного опыта специализированной группой Центрального лесоустроительного предприятия Всесоюзного объединения «Леспроект» [16] по циркуляции газовых токсикантов в зависимости от пересеченного рельефа и характера подстилающей поверхности (лес, поляна, луг), а также изменения их концентрации.

Пути проникновения токсикантов в леса заповедника определялись путем задымления территории, а также учетом случаев превышения ПДК-лес по трем компонентам (SO_2 , NO_2 , NH_3) в наблюдаемых точках. Учитывались направления ветра и возможные места застоя токсикантов, поскольку их перенос обусловлен циркуляцией локальных ветров, обтекающих элементы рельефа. Точки отбора проб были стационарными, пробы воздуха отбирались аспирационным методом в течение августа, сентября и октября 1972 (лето было засушливым); анализ проводился Тульской СЭС. Результаты исследований показаны в табл. 7.

Таблица 7. Модельный опыт по определению значений максимально-разовых концентраций загрязнителей в зависимости от рельефа и подстилающей поверхности

Точки отбора проб	Высота над уровнем моря, м	Токсиканты					
		SO_2		NH_3		NO_2	
		макс. разовые конц. мг/м^3	значения превышений	макс. разовые конц. мг/м^3	значения превышений	макс. разовые конц. мг/м^3	значения превышений
1. Лесной участок «Чепыж» полнота 0,6; 6ДЗЛп1Б; 200-250 лет	220	2,9	9,7	1,8	18	0,37	9,3
2. Участок «Прудиче» низина, покос	190	0,3	1,0	1,4	14	0,129	3,2
3. Старая Абрамовская посадка, 10Б, 100 лет, полнота 0,5	185	1,09	3,6	1,7	17	0,094	2,4
4. Афонина роща, 5БЗЛп2Д, 130 лет у вершины оврага	220	2,9	9,7	1,8	18	0,085	2,1
5. Арковский верх 7Лп2Б1Д, полнота 0,6, центр лесного массива, 125 лет	220	1,39	4,6	0,28	2,8	0,124	3,1
6. Поляна (без леса), участок «Бисов покос»	215	2,92	9,7	0,24	2,4	0,268	6,7
7. Южная опушка лесов, 5Д2Яс3Лп, полнота 0,7 перед плотной стеной леса, 55 лет	225	0,73	2,4	0,28	2,8	0,350	8,8
8. Плоцкий верх, начало большого оврага; л/к 5ДЗБ1Лп1Кл, 0,4; 115 лет	212,5	0,36	1,2	1,40	14	0,121	3,0

Анализируя результаты этих исследований, создается следующая картина проникновения вредных примесей в леса музея-заповедника.

При направлении ветра с румбом ЮВ (в направлении от химкомбината) в обстановке устойчивого состояния атмосферы, когда факел вредных примесей распространялся горизонтально, он проходил над садами и частично через них, через участок леса «Чепыж», а затем концентрировался в понижениях, в т.ч. на полянах «Чепыжа» и в еловых культурах.

При направлении ветров румбом Ю и ЮЗ газовые потоки при встрече с плотной стеной леса частично поднимались вверх на некоторую высоту и двигались дальше над лесом на значительную глубину; другая часть, отталкиваясь от стены леса на расстояние 10-20 м, в дальнейшем опять приближалась к ней и обтекала лесную опушку по склонам и рекам Кочаку и Безымянной и дальше по пойме р. Воронки.

При этом наличие своеобразных «коридоров» в виде дороги, ручья или просто редкое размещение деревьев в малополнотных насаждениях способствовало проникновению газовых потоков в эти «щели». Во всех этих «щелях» отмечался сухостой, в т.ч. дуба.

Водоемы и небольшие поляны среди спелого леса являлись зонами накопления газа. Примером тому служит участок «Бисов покос», который закрыт со всех сторон лесом. Тоже наблюдалось и на полянах в «Арковском верху». Таким образом, различный тип подстилающей поверхности оказывает влияние на скорость турбулентных потоков.

При северном и северо-восточном направлении ветра по долине р. Воронки часть газовых потоков от Косогорского металлургического и Ново-Тульского металлургического заводов двигалась до устья р. Ясенки и по ней до оврага к «Плоцкому верху». Другая их часть шла по логу к участку «Осинник» и далее к «Старой Абрамовской посадке».

При западном и северо-западном направлении ветра выбросы поступали при движении автомашин по автодороге Москва-Симферополь.

Установлено, что плотное смыкание крон первого яруса приводит к застойным газовым накоплениям, а молодняки, поляны и прогалыны по отношению к сформировавшимся насаждениям можно рассматривать как зоны торможения воздушных потоков, в которых возникают очаги более высоких концентраций вредных примесей по сравнению с другими участками.

По сравнению с Временными нормативами ПДК-лес [6], наибольшее превышение безопасного уровня загрязнения было в точках отбора проб № 1, 4, 6, 7. При этом разница в превышениях максимально-разовых концентраций по зонам накопления газов была 9-10-кратной по SO_2 и NO_2 и 17-18-кратной по NH_3 . Более высокие дозы

максимально-разовых ПДК-лес приурочены к более высоким, покрытым лесом участкам, за исключением участка «Арковский верх», расположенного в центре лесного массива и закрытого со стороны источников выбросов. По степени превышения уровня ПДК-лес м.р. токсиканты можно ранжировать следующим образом (по мере снижения их уровня): $\text{NH}_3 > \text{SO}_2 > \text{NO}_2$.

Естественно, что на содержание химических веществ в атмосфере оказывают влияние их физико-химические свойства (химическое строение, молекулярная масса, плотность, растворимость в воде, энергия разрыва связей и др.). Примечателен тот факт, что ранжирование токсикантов по степени их растворимости в воде (г/л) [1] совпадает с рядом токсикантов, ранжированных по степени превышения ПДК-лес м.р.

Этот ряд выглядит следующим образом: NH_3 (526 г/л) > SO_2 (115 г/л) > NO_2 (0,184 г/л) и NO (0,059 г/л). Очевидно, что более влажная среда способствует растворимости загрязнителей и увеличению их концентрации в соответствии с их свойствами.

Изучение роли влажности воздуха в газоустойчивости растений [35] показало, что этот фактор влияет на скорость поступления газов в лист (клетку) и его поврежденность, поскольку определяет степень раскрытия (апертуру) устьиц растений, фотохимическую активность хлоропластов, увеличивает повреждаемость листьев с повышением концентрации газов. Подавление фотохимической активности растений сернистым газом сильнее выражено при оптимальной для фотосинтеза влажности воздуха (90%).

По мнению В.С. Николаевского [35], экологические условия (температура и влажность воздуха) не изменяют газоустойчивость видов, а лишь изменяют физиологическую активность одинаково или почти одинаково и параллельно у разных по устойчивости видов, а в связи с этим и скорость поглощения вредных газов и повреждаемость ассимиляционных органов. Поэтому газоустойчивость видов растений является стабильным наследуемым свойством.

Автор считает вполне оправданным введение нового понятия для оценки газоустойчивости видов и устойчивости к экстремальным условиям вообще – толерантности (терпимости). Этот показатель объединяет двойственную оценку устойчивости в один обобщенный показатель, одновременно характеризуя устойчивость как наследственный адаптивный признак вида.

Кроме экспериментальных данных, обращают на себя внимание данные (табл. 8) стационарных постов №1 и №2 Гидрометеослужбы по загрязнению атмосферы за период наблюдений 1992 – 2009 гг.

Таблица 8. Число случаев превышения максимально-разовых концентраций токсикантов в зависимости от рельефа местности [40]

Годы наблюдений	Пост.№1 на берегу Большого пруда (в понижении, 195 м над уровнем моря)	Пост.№2 в Старом саду (возвышенность, 220 м над уровнем моря)	Разность, (Пост №2-Пост№1)
	Число случаев превышений максимально-разовых концентраций		
1992	109	166	57
1993	331	442	111
1994	111	274	163
1995	129	244	115
1996	127	471	344
1997	57	170	113
2001	225	273	48
2002	496	561	65
2003	286	365	79
2004	89	196	107
2005	306	513	207
2006	675	453	-222
2007	862	410	-452
2008	1009	618	-391
2009	551	652	101
Среднее	358	365	7

До 2005 г. общее число случаев превышений было больше на посту № 2 по сравнению с постом № 1. Однако с 2006 по 2008 гг. случаев превышений было больше на посту №1 в 1,5-2,0 раза. Возможно, что этому факту можно найти объяснение сложившимися погодными условиями и значительным превышением ПДК-лес по формальдегиду, имеющему специфические физико-химические свойства (плотность паров, растворимость в воде). Таким образом, рельеф оказывает существенное влияние на величину максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ, оказывающих наибольшее негативное влияние на лесные экосистемы.

Влияние рельефа сказывается и на загрязнении снегового покрова: наибольшая часть выпадений загрязнителей приурочена к центральной части заповедника, к более повышенному ландшафту.

Процесс самоочищения атмосферы происходит путем сухого или мокрого осаждения. В широком смысле слова под сухим осажде-

нием понимают перенос загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность в отсутствие атмосферных осадков. Мокрое осаждение осуществляется с помощью двух механизмов:

- внутриоблачного вымывания, основанного на конденсации водяного пара на аэрозольных частицах;
- подоблачного вымывания, основанного на захвате аэрозольных частиц падающими каплями дождя и снежинками.

Перенос примесей из атмосферы на поверхность почвы или растительности выражается через скорость потока (поглощения) примеси и рассчитывается с учетом ее массы, удаленной с данной площади в единицу времени [52].

Изучение химического состава природных осадков важно по следующим причинам:

- состав осадков, способствующих самоочищению загрязненной атмосферы, может использоваться как диагностический показатель при мониторинге окружающей среды;
- участвуя в биотическом круговороте веществ, осадки определяют жизнеспособность лесных насаждений, формируют химический состав почвенных растворов и поверхностных вод.

Для характеристики кислотности дождевых осадков рассмотрим данные измерений ГГО им.А.И. Воейкова [21] за 1992-1997 гг. (табл. 9).

Таблица 9. Характеристика кислотности дождевых осадков на территории музея-заповедника

Годы	Количество дождей и количество проб, %							pH	
	Всего	в том числе							
		кис- лых	слабо- кислых	щелоч- ных	слабо- щелочных	нейтраль- ных	не опре- делен pH*	min	max
1992	119	2	20	1	5	45	45	4,32	8,59
	100	1,7	16,8	0,8	4,2	38,7	37,8		
1993	137	6	33	0	1	52	45	3,85	7,98
	100	4,4	24,1	0	0,7	38,0	32,8		
1994	130	12	56	0	3	27	32	4,17	7,76
	100	9,2	43,1	0	2,3	20,8	24,6		
1995	146	15	51	0	2	24	54	4,28	7,75
	100	10,3	34,9	0	1,4	16,4	37,0		
1996	132	7	57	0	1	24	43	4,22	7,65
	100	53	43,2	0	0,8	18,2	32,6		
1997	115	14	67	0	3	6	35	4,21	8,42
	100	12,2	58,3	0	2,6	5,2	30,4		

Примечание: * Осадки интенсивностью менее 2мм, величина pH не определялась.

Из таблицы видно, что за период наблюдений произошло увеличение количества кислых ($\text{pH} < 5,6$) и слабокислых дождевых осадков, при этом наиболее кислые осадки имели реакцию 3,85. Так, если в начале 1990-х годов доля кислых и слабокислых осадков составляла 18% от числа дождей, то к концу десятилетия возросла до 70 %.

Рассмотрим за тот же период (1992-1997 гг.) данные загрязнения снегового покрова на территории музея-заповедника (табл. 10). К сожалению, отсутствуют данные по кислотности и химическому составу свежевыпавшего снега, поэтому используем усредненные ежегодные данные. Значения pH снеговых вод колебались в небольших пределах: от 6,51-6,93 (контроль – 6,75), что свидетельствует о нейтральной реакции. Превышение концентраций над фоновыми значениями отмечено по содержанию ионов серной и азотной кислот, фторидов, тяжелых металлов (цинк, свинец), макроэлементов (магний и кальций).

Значения pH атмосферных осадков значительно разнятся в связи с тем, что в дождевых осадках двуокиси азота и двуокиси серы растворяется больше, чем это происходит при выпадении снега. Это способствует образованию кислотных дождей.

Снеговой покров играет роль естественного «планшета», содержащего захваченные из атмосферы вещества при выпадении снега и накопленные в процессе «сухого» осаждения на поверхность.

В снеговой воде содержатся минеральные вещества (сухой остаток). Твердый осадок состоит из окислов железа, алюминия, кальция и кремния (составная часть золы, поступающая от ТЭЦ).

Тяжелые металлы (ТМ) в выбросах промышленных предприятий Тульско-Щекинского региона содержатся либо в виде оксидов, либо в форме различных солей (хлоридов, сульфатов, сульфидов, карбонатов и т.д.). Тяжелые металлы существуют в атмосфере как в аэрозольном, так и парообразном состоянии, которое зависит от природы элемента, источника выброса и удаленности от него. Для летучих элементов (Zn, Pb, Cd, Cu) доля тяжелых металлов в парообразном состоянии выше по сравнению с нелетучими (Co, Ni). Непосредственно после выброса в атмосферу основная часть ТМ находится в нерастворимом в воде состоянии. По мере удаления от источника доля ТМ в растворимых формах увеличивается за счет выпадения крупнодисперсных частиц и химических реакций, протекающих в атмосфере.

Таблица 10. Загрязнение снеговой воды за 1992-1997 гг. (данные ВНИИЛМ [40])

№ п/п	Порода, участок	Показатели									
		Концентрация, мг/литр									
		pH	NH ₄	NO ₃	SO ₄	Zn	Pb	CO	фториды раств.	Сухой остаток	Коэффициент сум. загр. Zс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Дуб 200-250 лет (Чепыж)	6,51	0,101	0,381	1,083	0,094	0,020	0,003	0,062	30	1,82
2.	Дуб 140 лет (Плоцкий верх)	6,47	0,119	0,331	1,029	0,127	0,036	0,003	0,098	26	3,70
3.	Большая поляна	6,65	0,514	0,247	0,682	0,094	0,074	0,003	0,043	38	4,53
4.	Береза 125 лет (Старая Абрамовская посадка)	6,73	0,234	0,202	1,031	0,044	0,083	0,002	0,050	-	3,04
5.	Дуб 55 лет (Источек)	6,75	0,532	0,328	0,759	0,143	0,023	0,002	0,105	38	4,36
6.	Липа 130 лет (Старый заказ)	6,59	0,572	0,315	0,747	0,054	-	0,003	-	-	0,97
7.	Дуб 160 лет (Арковский верх)	6,52	0,245	0,423	1,000	0,063	0,023	0,003	0,068	16	1,39
8.	Дуб 190 лет (Дубовый клин)	6,80	0,546	0,800	1,459	0,075	-	0,003	-	-	3,59
9.	Ель 100 лет (Елочки у колодцев)	6,74	0,790	0,222	0,509	0,044	0,021	0,002	0,060	32	1,20
10.	Старый сад	6,95	0,094	0,354	0,588	0,113	0,011	0,003	0,054	12	0,30
11.	Теплица (парк «Клины»)	6,93	0,303	0,256	0,590	0,059	0,155	0,005	-	12	7,04
12.	Контроль	6,90	0,451	0,268	1,343	0,056	0,020	0,003	0,043	24	-

Доля растворимых форм ТМ в атмосферных осадках выше по сравнению с аэрозолями. Поступающие в почву химические вещества переходят из твердой фазы в жидкую. Далее свободные ТМ вступают в почвенном растворе во взаимодействие с органическими и неорганическими компонентами почвенного поглощающего комплекса.

Уровень загрязнения почвы, определяемый коэффициентом суммарного загрязнения (Z_c), является результатом многолетнего техногенного воздействия на экосистему. В почвах лесных насаждений музея-заповедника обнаружены наиболее летучие тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd). По данным 1991-2001 гг., ПДК в почве были превышены на всех 11 опытных участках по содержанию меди (2 класс опасности) и цинка (1 класс опасности), а по свинцу (1 класс опасности) – на участках, прилегающих к автодороге Москва-Симферополь, по фторидам – на 60% участков.

В целом, можно отметить, что наибольшая степень загрязнения лесных насаждений музея-заповедника наблюдается на ландшафтах с повышенным рельефом и по розе ветров со стороны Щекинского химкомбината «Азот» и в центральной части территории музея-заповедника. Этот факт нашел свое отражение в экологическом зонировании территории музея-заповедника (выделение двух экологических зон) (рис. 3): зона повышенного осаждения загрязнителей и угрожаемой степени ослабления лесов – 78% площади и зона с меньшим уровнем осаждения и умеренной степени ослабления лесов – 22% площади. Комплексный экологический мониторинг организован с учетом пространственной неоднородности в распространении загрязнителей и их изменения во времени (места отбора проб и их периодичность) [21, 28].

В данном случае можно говорить об устойчивости ландшафтов, поскольку существует связь элементов ландшафта (рельеф, гидрологическая ситуация, почвенный покров, растительность) со степенью загрязненности природной среды (атмосферы, дождевых осадков и снега, почвы и растительности).

В этом отношении исследователями (это и наша точка зрения) вводится понятие «ландшафтная экология» [18]. Однако пока ландшафтный анализ не стал полноправной составляющей процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Ландшафты как реальность не присутствуют (или упоминаются сугубо формально) в важнейших законах России, в том числе и в Федеральном Законе об охране окружающей среды [18].

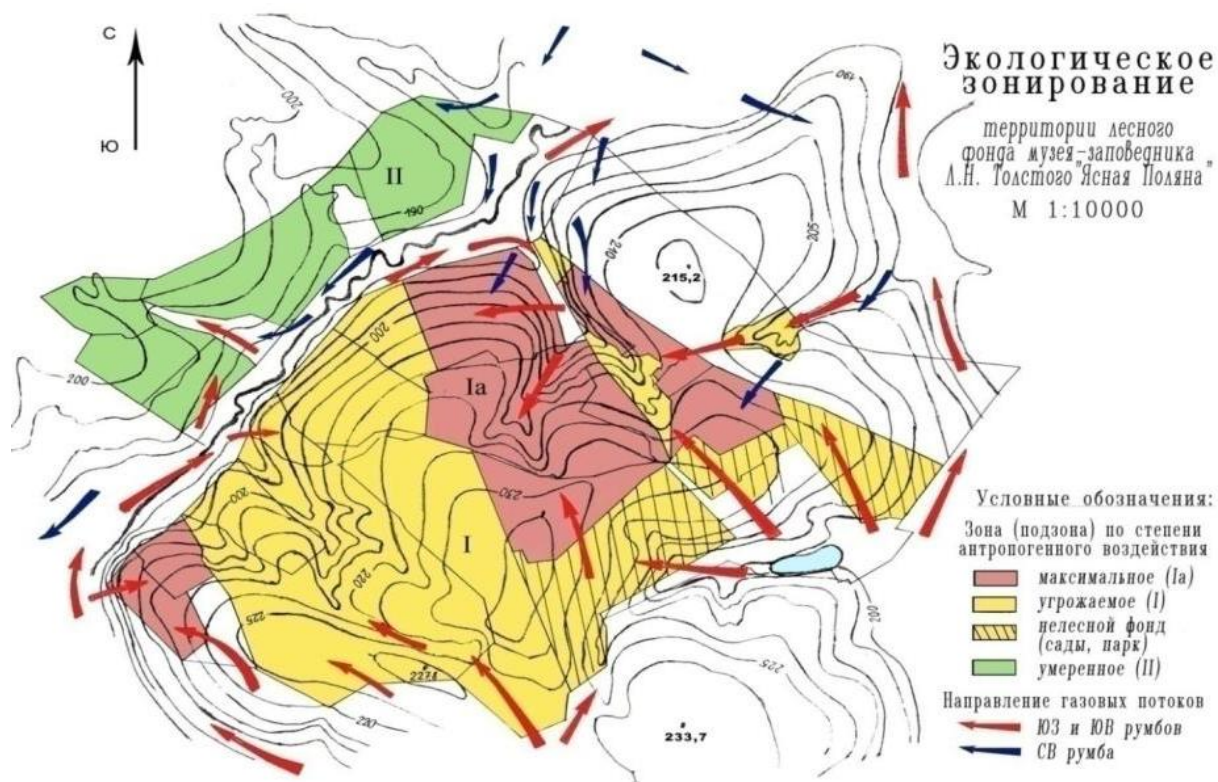


Рис. 3. Экологическое зонирование территории музея-заповедника Л.Н. Толстого «Ясная Поляна» на ландшафтной основе (М: 1:10000)

В большинстве СНиП и СанПиН также нет упоминания о ландшафтах, хотя они непосредственно определяют порядок процедур освоения территории и природопользования.

В научной литературе оценку состояния лесов при промышленном загрязнении часто оценивают по градиенту расстояния от источников выбросов (например, для сосновых лесов). Это в целом, справедливо при однородном составе растительности с выделением зон различной степени поражения лесов. Однако на изучаемой территории встречаются участки с различными лесорастительными условиями.

В этих условиях для анализа состояния насаждений следует использовать ландшафты. К отдельному ландшафту часто относятся множество разобщенных участков, сходных по своим природным особенностям, и прежде всего, по характеру растительного покрова.

В монографии [25] доктор сельскохозяйственных наук А.А. Мартынюк предлагает для детального анализа состояния насаждений проводить оценку по лесотаксационным выделам, отказавшись от зонирования, что позволит существенно уточнить размеры повреждения лесов выбросами.

3. Качественная оценка реакции лесных экосистем на загрязнение атмосферы с использованием синергетического подхода

В насаждениях музея-заповедника различной возрастной структуры и состава жизненное состояние древостоев оценивалось баллами по шкале «Санитарных правил» (1970, 1992). Полученные за ряд лет экспертные оценки адекватно отражают действительность [5], поскольку при этом обобщаются многие разнонаправленные процессы и точнее выявляются такие инструментально трудно определяемые признаки, как «степень поражения» и др. При визуальной оценке жизненного состояния деревьев, в основном, принималась во внимание степень дефолиации крон. В оценку состояния деревьев не включалось повреждение крон дуба листогрызущими насекомыми, поскольку листва восстанавливалась после объедания к моменту проведения наблюдений (конец июля-август). В связи с этим представляет интерес мнение экспертов Проекта Европейского союза по защите лесов от атмосферного загрязнения (Forest condition..., 1998) [63], обобщивших оценки 124 тыс. модельных деревьев. Согласно их данным, точность оценки состояния деревьев по степени дефолиации крон достигает $\pm 10\%$ (до 80% деревьев) и $\pm 5\%$ (до 30% деревьев). Точность визуальной оценки допускает сравнение насаждений по степени ослабления. В нашем исследовании для оценки состояния было проведено до 20 тыс. замеров учетных деревьев с их нумерацией [28]. Были использованы данные ВНИИЛМ (Маслов) и Института лесоведения РАН (Стороженко).

В методической работе (Бутусов, Степанов, 1999) [2], посвященной определению интегральных индексов техногенной деградации лесов, показана связь отдельных биогеоценотических (БГЦ) параметров с суммарным загрязнением. Из 9 БГЦ-параметров наиболее значимым, с наибольшим весовым коэффициентом, является жизненное состояние древесного яруса (в баллах). К значимым, но с меньшим удельным весом, относятся еще два параметра: общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса и масса подстилки. Остальные биогеоценотические параметры могут не учитываться при расчете интегральных показателей сохранности лесных экосистем. Этим исследованием еще раз подтверждается обоснованность оценки степени загрязнения при помощи такого биогеоценотического параметра как жизненное состояние древесного яруса в баллах.

Оценка динамики состояния лесных экосистем под влиянием антропогенных факторов является достаточно сложной задачей.

Решая эту проблему, большинство исследований строилось либо по традиционному типу парных сравнений (опыт-контроль) и в этом случае прослеживается лишь общий тренд изменений, либо путем выбора в качестве интегральной нагрузки величины расстояния до источника эмиссий, что чаще всего проводилось для чистых хвойных насаждений.

Эти методы не позволяют оценивать степень техногенного воздействия для условий «Ясной Поляны» с её относительно небольшой территорией, пересеченным рельефом, разнообразными по происхождению и мемориальному облику лесными насаждениями, находящимися в непосредственной близости к источникам промышленных выбросов.

Изучение степени нарушенности историко-природных лесных ландшафтов было проведено на стационарных полигонах на основе многолетнего мониторинга [14, 21]:

- за состоянием лесов, когда в качестве диагностического критерия реакции древостоев взяты доля живых деревьев (деревья 1, 2 и 3 категорий состояния) и доля деревьев без признаков ослабления (деревья 1 категории состояния);
- за состоянием атмосферного воздуха на опорных пунктах Гидрометеослужбы, когда в качестве меры загрязнения взяты превышения максимально-разовых ПДК-лес для основных токсикантов;
- за погодными условиями в течение периода наблюдений;
- за динамикой численности вредных насекомых и фитозаболеваний.

Уровень загрязнения оценивался при помощи индекса нагрузки, который рассчитывался по трём основным загрязнителям (SO_2 , NH_3 , NO_2) по формуле:

где: I_n – индекс нагрузки,

K – количество изучаемых загрязнителей,

C_i – максимально-разовая концентрация i -го вещества,

ПДК-лес C_i – предельно-допустимая максимально-разовая концентрация по i -му веществу.

Правомерность использования этих веществ путем объединения в одном интегральном индексе подтверждается тем, что они обладают эффектом суммации (Предельно допустимые концентрации..., 1984).

Анализируя перспективность оценок степени повреждения лесных насаждений промышленными выбросами, А.В. Салиев и С.Е. Ямбург (1994) отмечают, что такой метод как кратность превышений норм ПДК пока не исследовался.

При расчете величины этого относительного показателя учитывались повышенные максимально-разовые концентрации по NH_3 , SO_2 , NO_2 за вегетационный период (апрель-октябрь), т.к. именно в это время наблюдается наибольшее число случаев превышения ПДК-лес (67-72 % от общего числа наблюдений на постах №1 и № 2) [40]. Используются данные химических анализов около 32 тыс. проб воздуха за период 1965-1997 гг. (маршрутные замеры и данные постов №1 и 2 Гидрометеослужбы).

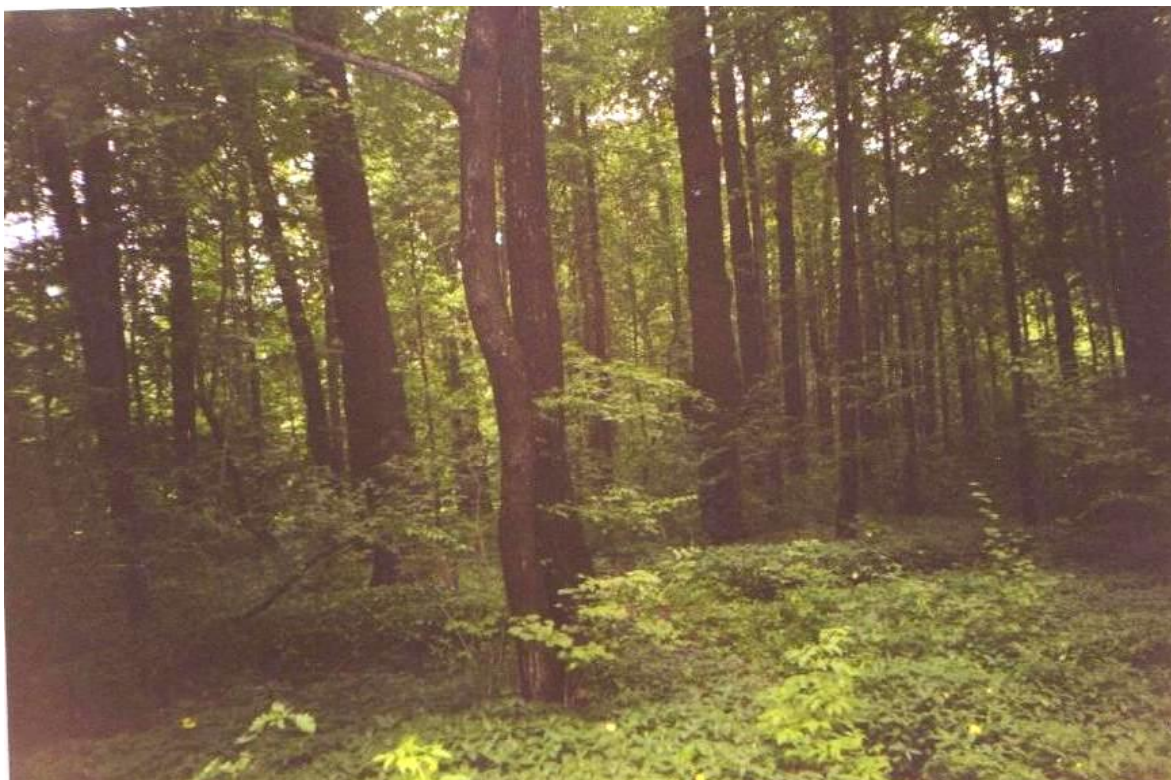
Таким образом, уровень техногенных нагрузок характеризуется усредненной величиной кратности превышений максимально-разовых ПДК-лес в период активной жизнедеятельности растений.

Помимо токсичных эмиссий, на степень устойчивости древесных пород влияли также, в определенной мере, и экстремальные погодные условия, связанные с дефицитом осадков и жаркой погодой (1972, 1979 и 1981 гг.), а также с холодной зимой 1978-1979 гг. Поздние весенние заморозки в мае месяце, снижающие жизнедеятельность молодых растений ели и дуба, отмечались в 1990, 1993, 1995-1997 гг. Грибные заболевания и вредители не носили характера очагового поражения, а являлись лишь сопутствующим фактором воздействия.

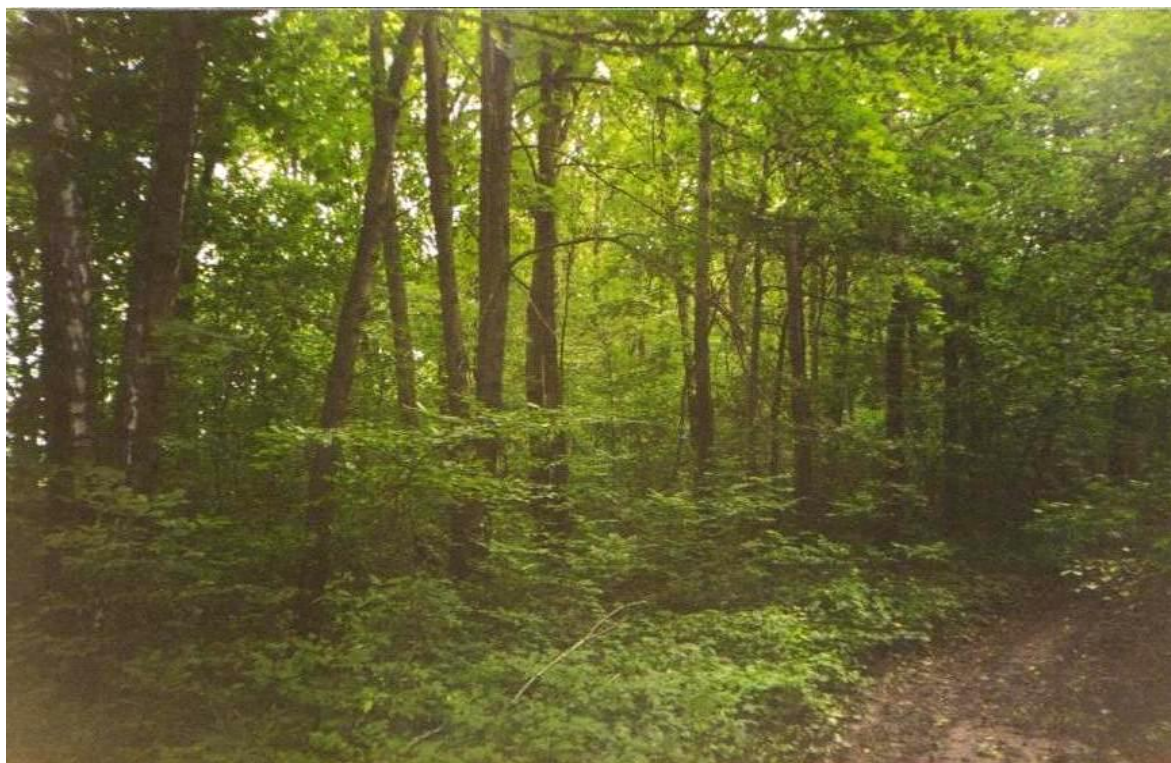
Воздействие техногенной нагрузки на состояние лесных экосистем рассматривалось для насаждений дуба (рис. 4 и 5), а также березы и ели, лесоводственно-таксационная характеристика которых приведена в табл. 11.

В музее-заповеднике достаточно много спелых и перестойных насаждений, которые составляют 54,1 % от покрытой лесом площади. Поэтому изучалось влияние на санитарное состояние насаждений двух факторов: возраста и индекса техногенной нагрузки.

Для оценки достоверности влияния и взаимодействия этих факторов на лесные насаждения проводился двухфакторный дисперсионный анализ, который показал, что основным фактором является техногенное воздействие.



*Рис. 4. Дубово-ясеневое-липовое насаждение 200-250 лет
(участок «Чепыж», квартал 21)*



*Рис. 5. Дубово-ясеневое насаждение 55 лет
(участок «Источек», квартал 28)*

Таблица 11. Лесоводственно-таксационная характеристика опытных участков (лесоустройство 1995-1996 гг.)

Название участка	Квартал, выдел, площадь (га)	Состав	Порода	Возраст, лет	Средние		Бонитет	ТУМ, тип леса, полнота	Подрост, подлесок	Запас м ³ /га	Средний балл состояния
					Н, м	Д, см					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Чепыж	Кв.21, выдел 5, 4,7 га	6Д (200-250) 2Д (120) 3Лп1Б+Кл,Ос С 1979-80 гг. создание подпологовых культур дуба черешчатого	Д Д Яс Лп Б	220 120 110 90 100	31 24 26 27 28	74 26 44 36 44	I	Д ₂ дубняк яс.-снят. 0,5	Кло, Лп, Яс,Ил,Д (10-30 лет), благонадеж., 3 тыс. шт./га	230	2,7
Источек	Кв. 28, выдел 3, 4,3 га	5Дн 2Яс 3Лп+Кл,О,Б,Ос (участок засечного леса, ест. возобновление после рубки 1943 г.)	Дн Яс Лп	55 55 50	23 23 20	24 24 22	I	Д ₃ дубняк яс.-снят. 0,7	Яс,Лп,Кл (15-20 лет) Благонадеж. 5 тыс. шт./га	230	2,5
Старая Абрамовская посадка	Кв.13, выдел 1, 14,5 га	Л/К 1874-1876 гг., 10Б, ед. Лп,Д,Е (60-90 лет)	Б	125	30	40	I	Д ₂ дубняк яс.-снят. 0,5	Кл,Лп,Яс, Д (10-30 лет) 3 тыс. шт./га; лещина, бузина	230	2,4
Молодая Абрамовская посадка (послевоенная 1949-50 гг.)	Кв 12, выдел 1, 6 га	Л/К 10Б (созданы вместо расстроенных мемориальных насаждений)	Б	50	24	26	Ia	Д ₂ дубняк яс.-снят. 0,8	Черемуха Д,Лп,Яс,Кл,Б Благонадеж., 3 тыс. шт./га жимолость, рябина, черемуха	240	1,6
Елочки под Грумантом	Кв.7, выдел 3, 0,9 га	Л/К 1898-1906 гг. (95-100 лет) 7ЕЗС, ед. Д,Б,Лп,Ил	Е С	95 95	28 30	40 44	I	С ₃ Е. л.нд. 0,5	Е,Лп,Кл,Лп,Д (15-25 лет) благонадеж., редкий	340	2,3
Елочки за Чепыжом	Кв. 20, выдел 1, 1, 4 га	Л/К 1963 г. 10Е, ед. Б,Лп,Кл о. (созданы вместо погибших посадок 1889-1897 гг.)	Е	33	18	18	Ia	С ₂ Е.дуб. 0,9	Ед. лещина, бузина	310	1,4

Качественный анализ экспериментальных данных по состоянию лесных экосистем можно проводить с использованием различных подходов. В экологическом нормировании считается наиболее целесообразным выбор логистического уравнения для анализа дозовых кривых [5] по следующим причинам:

а) большинство экспериментальных данных имеет вид S-образной кривой;

б) логистическое уравнение устанавливает пределы устойчивости экосистем к внешним воздействиям, что дает возможность определять ПДЭН;

в) логистическая кривая имеет несколько критических точек, определяющих порог в дозовой зависимости.

Общий вид логистической кривой приведен на рис. 6.

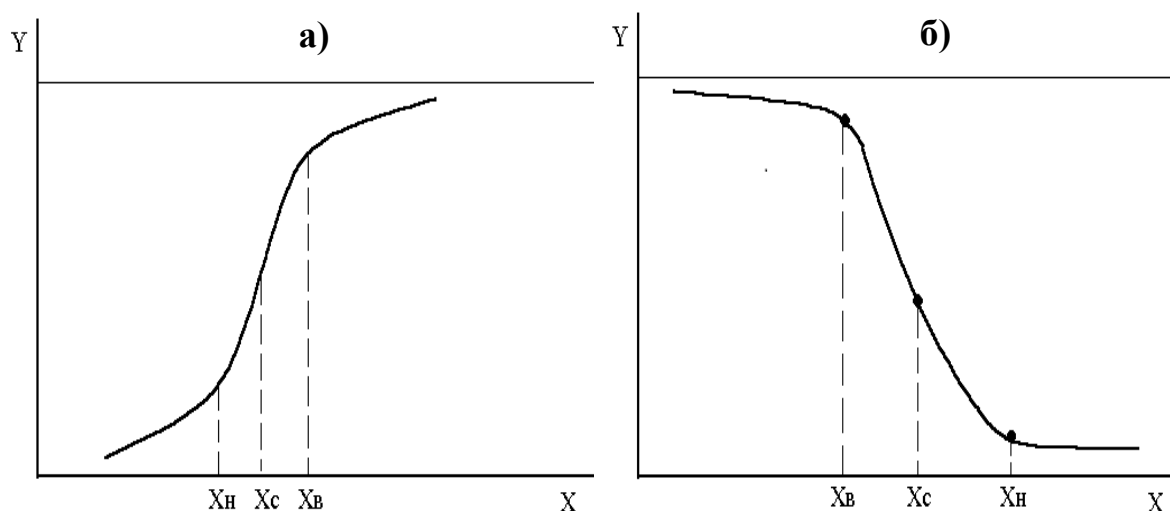


Рис. 6. Кривая: а) логистического роста;
б) логистического спада ($X_в$, $X_с$, $X_н$ – критические точки)

Наряду с этим традиционным методом можно использовать новый способ обработки экспериментальных данных на основе синергетического подхода (Пригожин, 1979 [44]; Хакен, 1988 [57]). Его приложение к конкретным проблемам рассмотрено в ряде работ (Короткина, Попова, 1999[17]); Короткина, Кузнецова, 2000). В нашей работе для оценки состояния лесных экосистем этот метод был предложен проф. М.Р. Короткиной. Согласно синергетическому подходу, любая экосистема имеет множество состояний равновесия с окружающей средой. Для перехода из состояния n в $(n+1)$ необходимым условием является вывод системы в неустойчивое состояние из устойчивого. В неустойчивом состоянии происходят внутренние процессы, приводящие к разрушению внутренних связей и освобождению других – ме-

ханизм адаптации систем к изменению внешних условий. Новизна синергетического подхода схематично представлена на рис. 7.

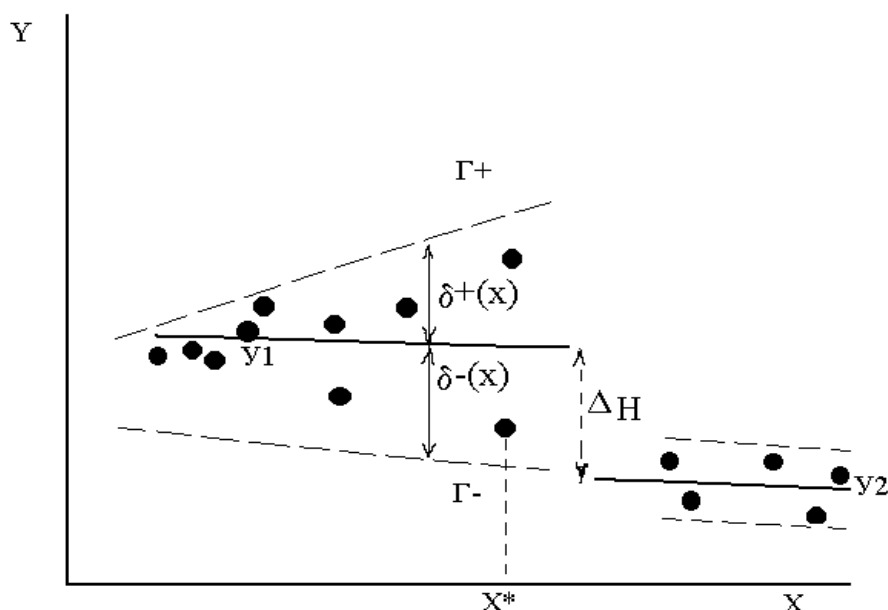


Рис. 7. Качественное «поведение» экосистемы

Основные положения рассматриваемого метода изложены в публикациях [13, 14, 15] и сводятся к следующему:

а) экспериментальные данные заключаем в границы Γ^+ (верхняя) и Γ^- (нижняя);

б) выделяем «условное» среднее Y_1 (без статистической обработки, т.к. малая выборка), которое находится внутри области экспериментальных данных;

в) в окрестности условного среднего вводим флуктуационный фон, который описывается двумя функциями $\delta^+(x)$ и $\delta^-(x)$, где x – индекс нагрузки. Наличие «разбухающей» амплитуды во флуктуационном фоне или разрыв «условного» среднего – признаки возникновения неустойчивого состояния в экосистеме;

г) для флуктуационного фона проводится качественная оценка. При определенном «критическом» значении индекса нагрузки X^* поведение экосистемы перестраивается: а) скачком изменяется условное среднее: $\Delta H = Y_2(X^{*+}) - Y_1(X^{*-})$;

д) скачок ΔC возникает за счет «разбухания» флуктуационного фона и вычисляется по формуле: $\Delta C = Y_2(X^*_2) - Y_1(X^*_1)$.

Качественное «поведение» экосистемы можно рассматривать как колебательный процесс. В виде гипотезы процесс её эволюции можно представить в следующем виде:

а) в интервале $0 - x^*$ система находится в устойчивом состоянии;
б) при x^* система под действием уровня загрязнения путем флуктуационного выброса (неустойчивое состояние) переходит в новое устойчивое состояние. Это выражается уменьшением доли живых деревьев.

Кривая логистического спада недостаточно хорошо описывает изучаемый процесс и не дает приемлемых результатов по следующим причинам:

а) не учитывает флуктуационный фон;
б) нахождение критических точек кривой как точек перегиба путем анализа второй производной дает завышенный результат ($X_c > X^*$), что не совпадает с экспериментальными данными;
в) логистическое уравнение не описывает возможность возникновения нового устойчивого состояния.

В начальной стадии система развивается стабильно до состояния флуктуационного выброса, вызванного возрастанием индекса нагрузки. В окрестности X^* происходит сброс флуктуационного фона и экосистема переходит из начального устойчивого состояния А в новое стабильное состояние В, реагируя резким уменьшением доли живых деревьев. Это характеризуется величиной скачка $\Delta H = Y_1(X^*) - Y_2(X^*)$.

В качестве эмпирической гипотезы один из механизмов такого перехода можно принять в виде катастроф типа «складка» (Джеффферс, 1981).

Синергетический подход предполагает возможность составления краткосрочного и долгосрочного прогноза адаптации экосистем к изменению экологической обстановки. Суть прогноза:

а) существует ряд значений X^* , X^{**} , X^{***} и т.д., при которых в экосистеме будут происходить качественные изменения и переход в новое устойчивое состояние;

б) существует ряд сбросов ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 и т.д., при которых скачком изменяются «условные» средние, что является одним из признаков возникновения неустойчивого состояния в экосистеме. Для составления дальнейшего прогноза адаптации экосистемы при возрастании уровня загрязнения необходимы дополнительные исследования.

Таким образом, при определении критических нагрузок на лесные экосистемы и дальнейшей разработке экологических нормативов целесообразно использование различных методических подходов. Синергетический подход позволяет наглядно и адекватно описывать процесс адаптации экосистем.

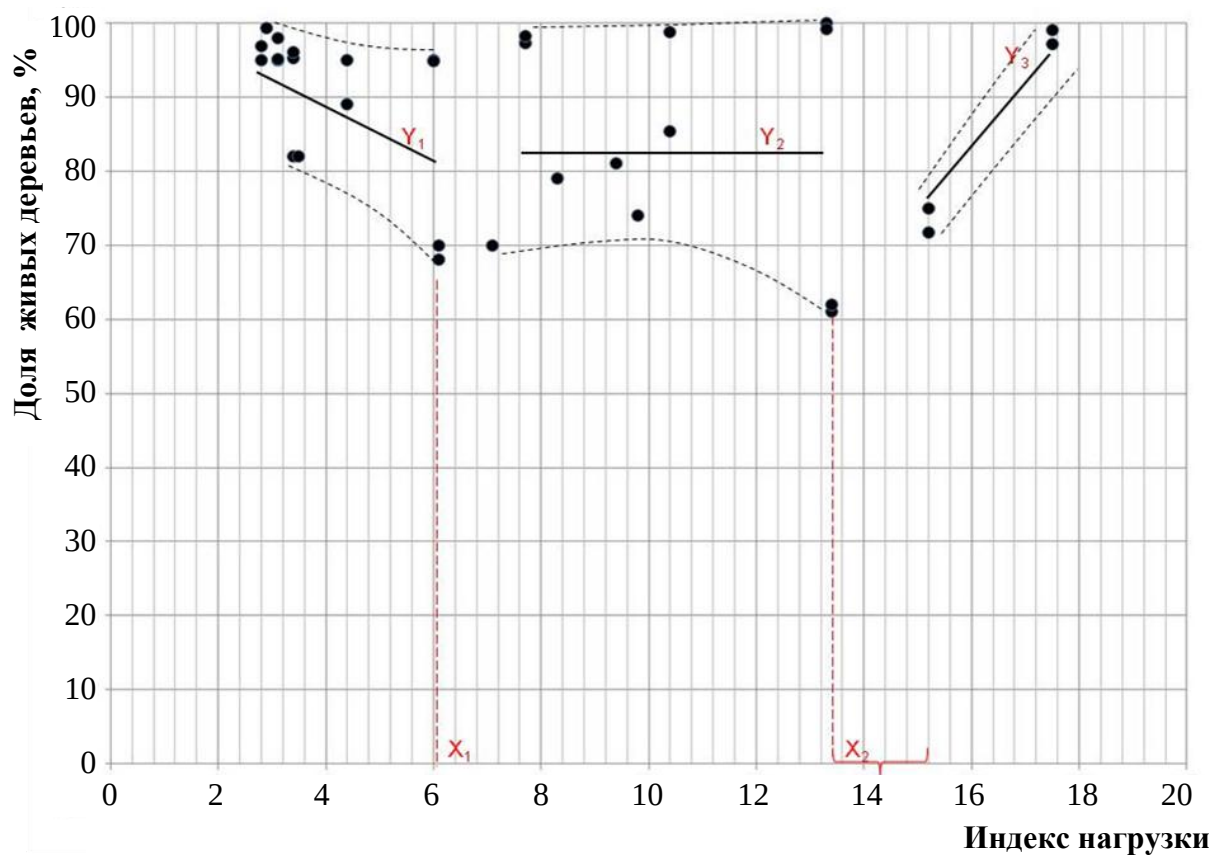
На основе данных перечетов на постоянных пробных площадях было проанализировано изменение доли живых деревьев в насаждениях дуба, березы и ели в градиенте индекса нагрузки (зависимость «доза-эффект»). Анализ этой зависимости (рис. 8 а-е) показал следующее.

Наиболее высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха в музее-заповеднике наблюдался в период 1965-1985 гг. (значения индекса нагрузки составляют 13-18) и в период 2001-2011 гг. (значения индекса нагрузки 6,1-9,8).

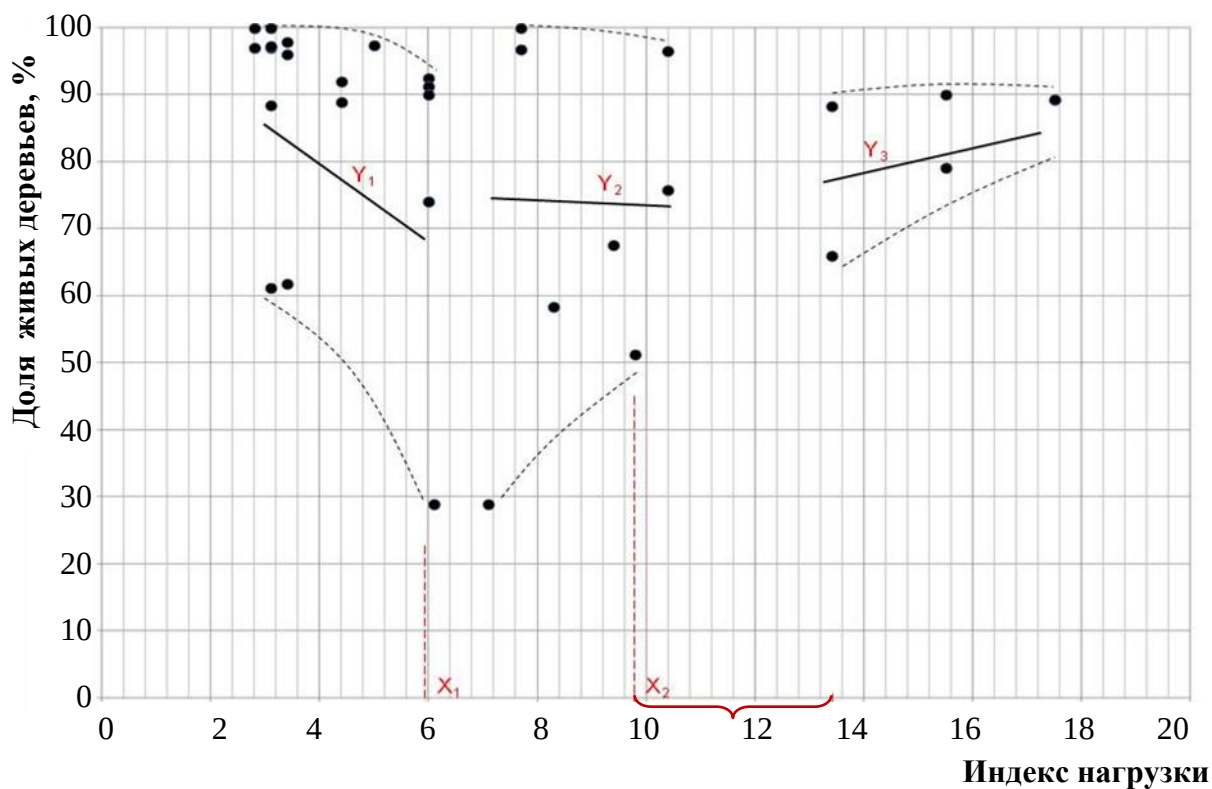
В Молодой Абрамовской посадке (рис. 8а) условное среднее Y_1 характеризуется относительно высокой долей живых деревьев при невысоком уровне загрязнения. При возрастании уровня загрязнения происходит увеличение колебания доли живых деревьев (возникновение неустойчивого состояния). Несмотря на то, что при переходе в новое устойчивое состояние Y_2 не происходит скачкообразного изменения условного среднего или сброса флуктуационного фона, считаем необходимым в данном случае этот переход выделить, так как в рассматриваемых насаждениях другого возраста и породного состава он выражен более явно. Максимальная амплитуда флуктуационного фона наблюдается при величине индекса нагрузки, равной 6,0. Дальнейшее увеличение уровня загрязнения до 12,8-14,0 приводит к сбросу флуктуационного фона и переходу экосистемы в новое устойчивое состояние Y_3 . Дальнейшее возрастание доли живых деревьев на этом этапе при увеличении техногенной нагрузки нуждается в пояснении. Очевидно, здесь имеет место определенная «инерционность» отклика лесных экосистем на очень высокие значения загрязнения, когда значительные превышения ПДК уже зафиксированы, но ответная реакция растительности (снижение доли живых деревьев) визуально еще не улавливается. Кроме того, высокая доля живых деревьев связана с проведением выборочных санитарных рубок в 1989 г. на площади 12,55 га с выборкой 56 м^3 ($4,48 \text{ м}^3/\text{га}$).

В Старой Абрамовской посадке (рис. 8б) максимальная амплитуда флуктуационного фона также отмечается при значении индекса нагрузки, равной 6,0. В интервале значений 10,0-13,0 экосистема из неустойчивого состояния путем сброса флуктуационного фона переходит в новое устойчивое состояние. Сравнительно высокую долю живых деревьев в условном среднем Y_3 отчасти можно объяснить регенеративной способностью деревьев березы образовывать вторичные кроны, обеспечивая определенный уровень устойчивости. Относительно высокая доля живых деревьев в интервале нагрузки 13-18 объясняется проведением в 1981-1987 гг. выборочных санитарных рубок с интенсивностью 6-20 $\text{м}^3/\text{га}$.

Березовые насаждения:

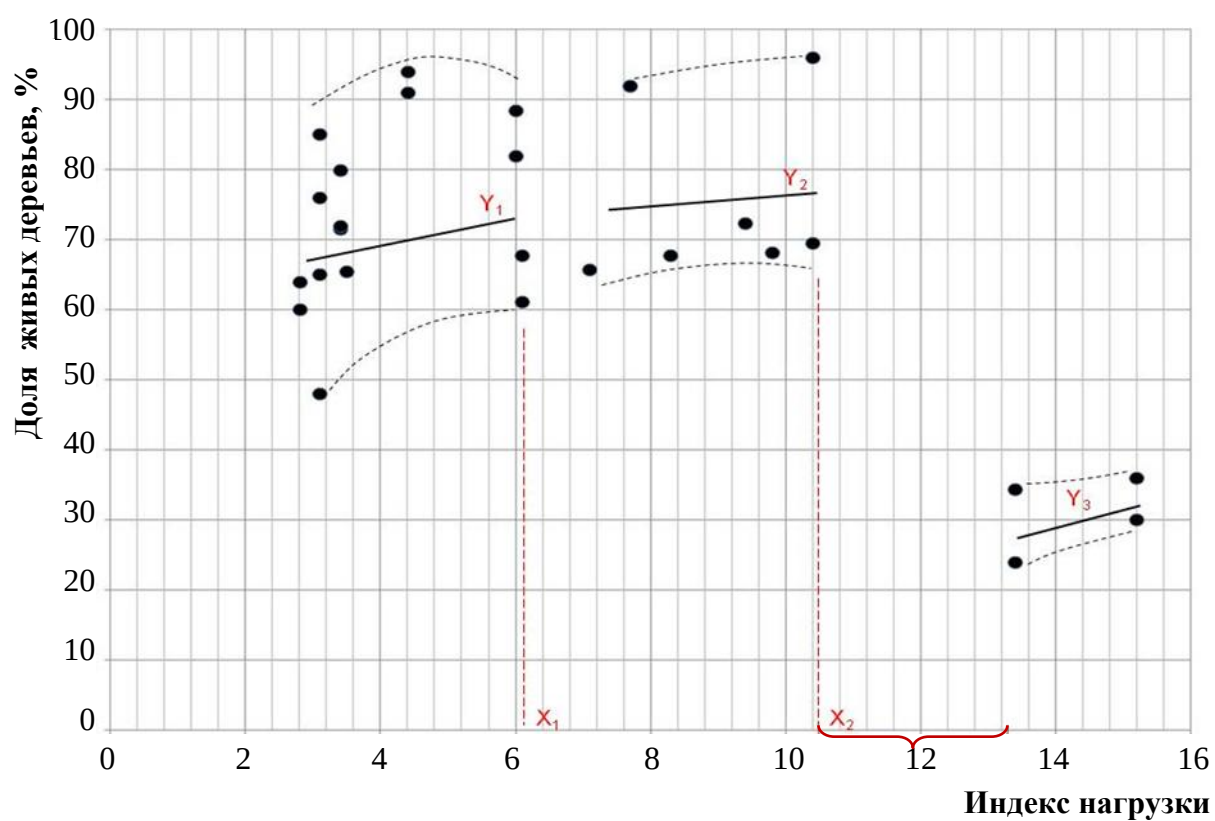


а) Молодая Абрамовская посадка

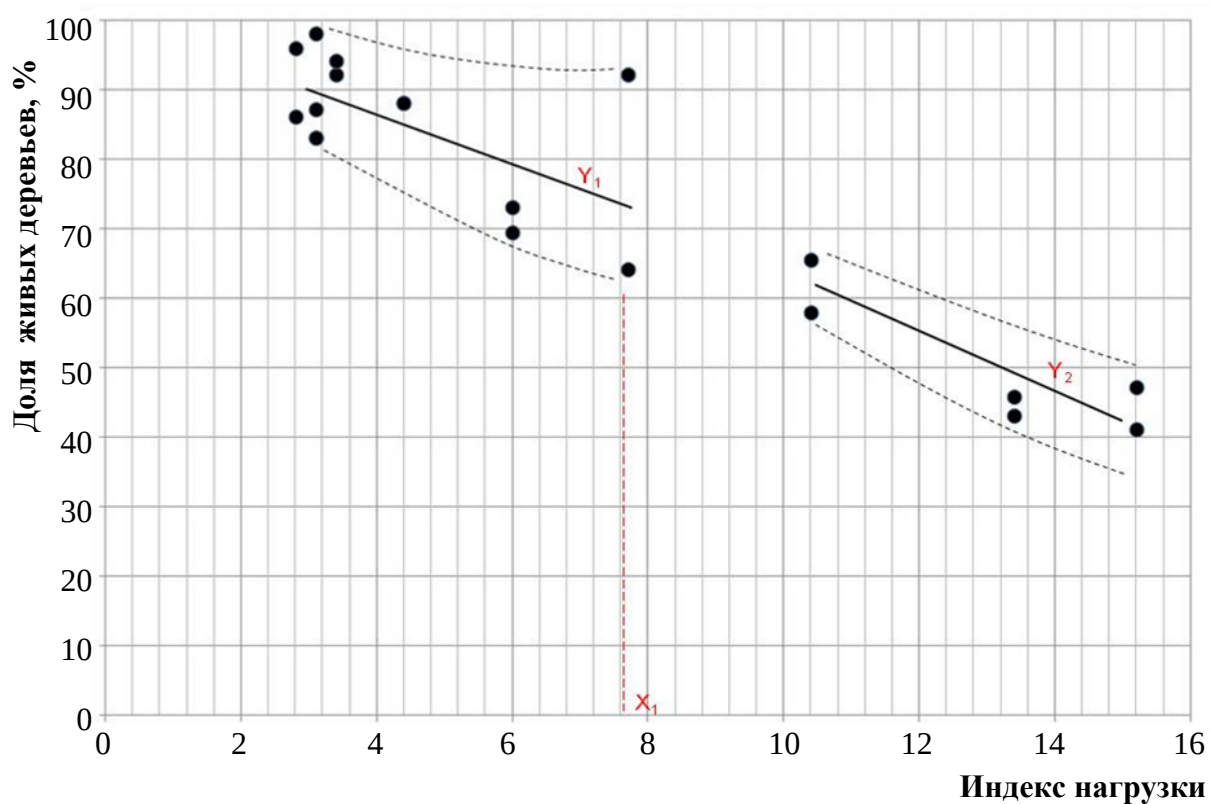


б) Старая Абрамовская посадка

Дубовые насаждения:

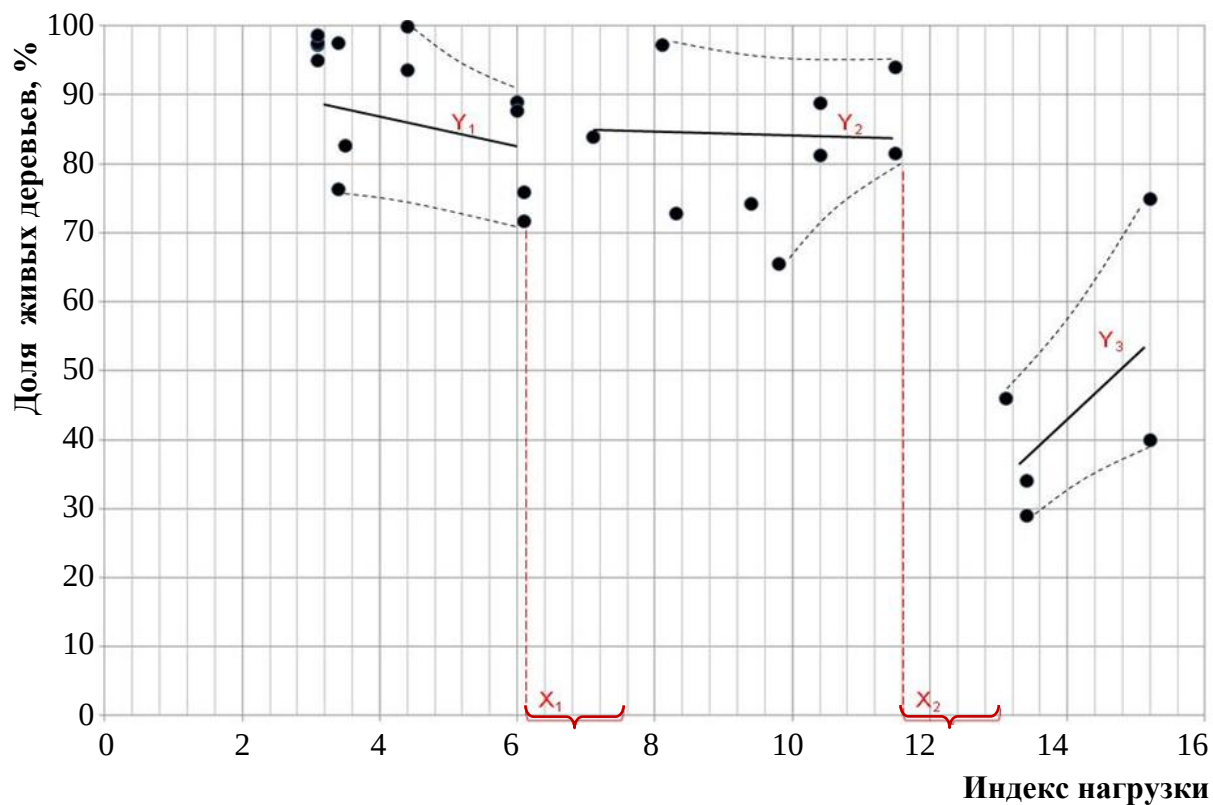


в) Чепыж

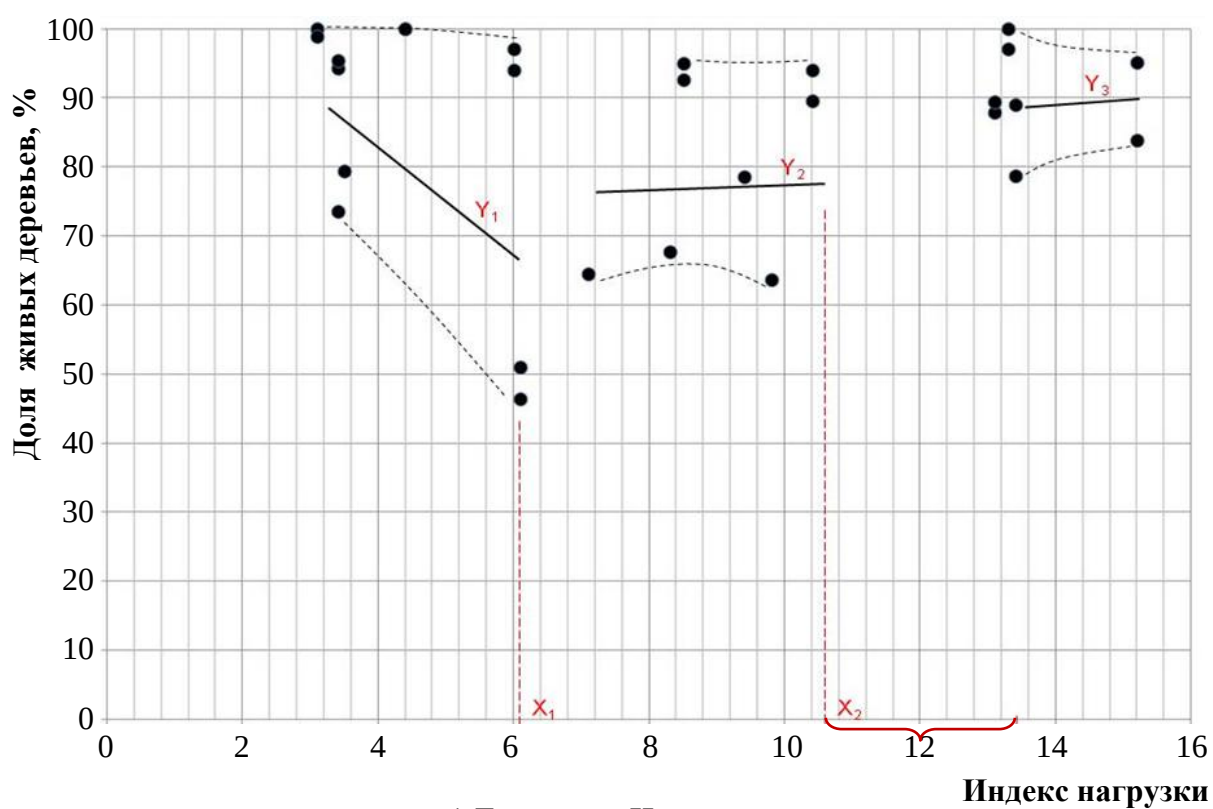


г) Источек

Еловые насаждения:



д) Елочки под Грумантом



е) Елочки за Чепыжом

Рис. 8 а-е) Изменение доли живых деревьев в лесных насаждениях за период 1965-2010 гг.

В насаждении дуба с участием липы и ясеня (участок «Чепыж», 200-250 лет) интервал значений индекса нагрузки 6,0-7,0 также связан с возникновением неустойчивого состояния в экосистеме (рис. 8в). Дальнейшее возрастание индекса нагрузки приводит к резким структурным изменениям, разрушению внутренних связей и сбросу условного среднего Y_2 в интервале 10,5-13,5. Новое устойчивое состояние Y_3 характеризуется существенным уменьшением доли живых деревьев.

В насаждении дуба (рис. 8г) возникновение неустойчивого состояния в экосистеме связано с возрастанием флуктуационного фона, его максимальной амплитудой в интервале значений 7,7-8,0. Переход в новое устойчивое состояние Y_2 сопровождается сбросом флуктуационного фона и плавным уменьшением доли живых деревьев. Такое «плавное» сокращение доли живых деревьев связано с проведением интенсивной выборочной санитарной рубки в 1988 г. на площади 7,7 га объемом 107 м^3 ($13,9 \text{ м}^3/\text{га}$).

В еловом насаждении (рис. 8д) (участок «Елочки под Грумантом», возраст 113 лет) интервал значений индекса нагрузки 6,0-7,0 связан с возникновением неустойчивого состояния в лесной экосистеме. Резкие структурные изменения, сопровождающиеся скачкообразным уменьшением доли живых деревьев, происходят в интервале индекса нагрузки 11,5-13,5. Возрастание доли живых деревьев (условное среднее Y_3) объясняется уборкой сухостоя и повышением прироста оставшейся части древостоя.

В еловом насаждении (рис. 8е, участок «Елочки за Чепыжом», возраст 45 лет) переход в новое устойчивое состояние путем флуктуационного сброса наблюдается в интервалах индекса загрязнения 6,0-6,2 и 10,3-13,3. Высокий процент живых деревьев (условные средние Y_2 и Y_3) объясняется проведением восстановительных работ в насаждении и дополнением лесных культур ели.

Можно сделать предварительный вывод: молодые насаждения быстрее адаптируются к изменению экологических условий, реагируя плавным снижением доли живых деревьев. Насаждения высокого возраста дольше противостоят воздействию неблагоприятных факторов, но в определенном интервале индекса нагрузки происходит резкое скачкообразное уменьшение доли живых деревьев.

Таким образом, данный метод в лесоведении позволяет оценить состояние лесных насаждений, испытывающих многолетнее воздействие атмосферного загрязнения. С его помощью показан механизм адаптации насаждений разного возраста и их структурные изменения

при изменении экологических условий (Реферативный журнал ВИНИТИ, 04. Биология, №6, 2003).

Можно полагать, что в настоящее время величина (или диапазон) значений индекса нагрузки, приводящая к возникновению неустойчивого состояния в лесных экосистемах, изменению внутренних связей и структуры и переходу в новое устойчивое состояние, имеет тенденцию к снижению. Это связано с увеличением возраста насаждений, накопленным воздействием загрязнения прошлых лет, меньшей устойчивостью монокультур по сравнению со смешанными насаждениями.

В конце раздела рассмотрим научное наследие по решению проблемы взаимосвязей живых организмов со средой, т.е. экологического направления в биологии.

Еще 100 лет назад В.В.Докучаев сформировал основной закон природы следующим образом: «В мире царствует, к счастью, не один закон великого Дарвина, закон борьбы за существование, но действует другой, противоположный – закон любви, содружества, сопомощи, особенно ярко проявляющийся в существовании наших зон, как почвенных, так и естественно исторических» (1989, с. 19; Т. VI, с. 409; цит. по Е.С.Мигунова, Г.Б. Гладун, 2010). Ведущая роль содружества и взаимопомощи в природе была определена на основе огромного материала по формированию природных зон и ландшафтов, в которых все факторы (климат, почвы, воды, растения, животные) тесно сопряжены и находятся в гармонии. Однако это его важнейшее положение осталось невоспринятым.

С течением времени эти идеи стали находить признание. В трудах отечественных лесоводов (Г.Ф. Морозов; В.Н. Сукачев; Н.С. Нестеров и др.) указывалось, что в лесу наблюдается масса примеров многообразных взаимодействий между разными видами и особями при совместном произрастании, сотрудничество видов в условиях наиболее полного потребления ресурсов среды.

Согласно современным представлениям, лесные биогеоценозы рассматриваются как открытые системы разного уровня организации, изменяющиеся в пространстве и времени.

При этом выделяются две основные стратегии развития жизни [30]: первая – массовое размножение для колонизации территории, максимально полное сохранение потомства и биоразнообразия; вторая – отмирание лишнего (перепроизведенного) потомства в процессе естественного отбора и адаптации видов к условиям произрастания. Возникшая в XX веке наука – хронология, изучающая особенности

хода жизненных процессов во времени (биоритмы), позволяет судить о наличии у растительных организмов стратегий регулирования ритмов метаболизма во времени [3]. Автором исследования выделены две стратегии жизненного состояния деревьев, сопряженные с фазами биоритма роста:

А – стратегия (*activus*) отличается фазой высокой скорости $d_{1,3}$ и более интенсивным ростом в высоту, в повышенной устойчивости к стресс-факторам, более активной колонизации территории произрастания, повышенной частотой семеношения;

Р – стратегия (*passivus*) – фаза низкой скорости роста $d_{1,3}$, менее активного физиологического состояния (защита от некоторых абиотических факторов), фаза отдыха с целью продолжения жизни (анти-энтропийная роль).

Хронобиологический принцип в лесоводстве заключается в том, чтобы не только отмечать изменяемость метаболизма (активность ключевых ферментов), но и роста вегетативных органов, защиту от стресс-факторов, консортивные связи, конкурентные отношения с другими растениями. Фазы биоритма роста могут чередоваться, что следует учитывать в лесохозяйственной деятельности.

Г.Ф. Морозов в своем «Учении о лесе», показал [32] взаимодействие древесных пород друг с другом, которое создает внутреннюю реальную среду, конкретную для любого лесного сообщества (чистого или смешанного, простого или сложного, одновозрастного или разновозрастного, разного породного состава). На эту реальную среду отвечают наши растения, как существа пластические, приспособлением к ней. При ее изменении, изменяется жизненная обстановка и растения отвечают соответствующим образом: суховершинностью, тем или иным заболеванием, иногда даже внезапной смертью; однако во многих случаях такие растения, постепенно приспосабливаясь к новой среде, поправляются и обретают устойчивость. Таким образом, можно утверждать, что в лесу происходят разносторонние процессы. Наряду с конкурирующим порядком проявляются и воздействия защитного характера. Отсюда ученый дает вывод, что «во всей совокупности лесной обстановки не только элементы влияют на целое, но и целое – на составляющее его элементы. Свойства и особенности внутренней среды того или иного лесного сообщества определяются его составом, т.е. свойствами составляющих его элементов, но ведь и обратно – эти самые древесные растения, образуя, создавая особую среду, попадают во власть последней, испытывая и в своем внешнем, и внутреннем строении, и в своих физиологических отправлениях

влияния этой среды. Мы видим, что и целое зависит от своих частей, и части зависят от целого.

В этой оценке биологических особенностей внутренней среды леса можно усмотреть предвидение той научной парадигмы современности, которая носит название – самоорганизация экосистем.

Стратегия растительного мира по колонизации территории предопределяет регулирование численности особей по мере их роста, естественный отпад ослабленных экземпляров, а не в результате «ожесточенной» борьбы за существование. На этот момент обратил внимание И.К. Пачоский, заявив, что в основе растительного сообщества заложен принцип, имеющий в виду выгоду целого, а не составляющих его элементов (1921, цит. по Е.С. Мигунова, Г.Б. Гладун, 2010).

Многоплановость показателей, полученных в экспериментах и характеризующих устойчивость лесной растительности к техногенному воздействию, включает в себя показатели лишеноиндикации, биоиндикации (анатомические, биометрические), биохимические, фенологические, биоценотические (биоразнообразие, успешность естественного возобновления, характер роста и величина отпада). Получение этих показателей осуществляется с помощью методов классических наук – физиологии, биохимии, биологии, биофизики и т.д., причем устанавливается чувствительность организма и его функции к загрязнителям. В ряде случаев реакция организмов бывает неспецифичной на воздействие внешних факторов.

Для определения благополучия экосистемы нужны интегральные показатели. Характерной особенностью всех экосистем является тесная взаимосвязь и взаимодействие между организмами и окружающей средой. Именно этим качеством любая экосистема, представляющая собой надорганизменный уровень организации живого в природе, отличается от отдельного организма и способна приобретать новые, системные свойства, отсутствующие у отдельных организмов. В результате, целостные свойства системы будут качественно отличаться от свойств составляющих ее элементов и не сводиться к их сумме (явление самоорганизации).

В настоящее время все большее распространение в науке получает синергетика – междисциплинарное (интегративное) направление исследований, которое изучает механизмы возникновения новых состояний, структур и форм в процессе самоорганизации, а не сохранения и поддержания старых форм [38].

Синергетика объясняет процесс самоорганизации систем с позиций термодинамики неравновесных процессов взамен термостатики

(равновесных состояний) [43]. В таких моделях используются нелинейные математические уравнения, которые адекватны для описания открытых систем.

Механизм самоорганизации систем, проливающий новый свет на взаимодействие живой природы с неживой, объясняется следующими положениями [40]:

1. Для этого система (неорганическая, социальная, биологическая) должна быть открытой и обмениваться с окружающей средой энергией и веществом, в социальных и биологических еще и информацией (в биологических системах – генетической информацией);

2. Открытая система должна находиться далеко от точки термодинамического равновесия. Если система находится в точке равновесия, то она обладает максимальной энтропией (изменением порядка в системе) и потому неспособна к какой-либо организации, т.е. это будет положение полной самодезорганизации;

3. Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение и усиление порядка через флуктуации или случайные отклонения параметров системы от некоторого среднего положения. Эти отклонения возрастают благодаря усилению неравновесности, приводят к «расшатыванию» прежнего порядка и возникновению нового порядка.

4. Возникновение самоорганизации опирается на положительную обратную связь, согласно которой появляющиеся изменения накапливаются и усиливаются, что приводит, в конце концов, к возникновению нового порядка и структуры.

5. Процессы самоорганизации, переходы к структурным изменениям связаны с необратимыми изменениями, приводят к разрушению старых и возникновению новых структур.

6. Самоорганизация может начаться при наличии достаточного количества взаимодействующих между собой элементов и, следовательно, в системах с некоторыми критическими размерами. В противном случае в системе не будет кооперативного (коллективного) поведения элементов системы.

При антропогенной нагрузке жизненный потенциал растений снижается (см. раздел 1, 2, 3), кроме недостатка ресурсов, еще и воздействием токсикантов, рекреации и других негативных факторов. Поэтому в этих условиях более устойчивы те лесные экосистемы, которые состоят из более пластичных особей (деревья активной стратегии), лучше приспособляющихся к изменениям среды, из лиственных пород по сравнению с хвойными или из многоярусных (сложных) на-

саждений, где экологические ниши занимаются устойчивыми к неблагоприятным условиям видами.

В этих более жестких условиях самоорганизация экосистемы проявляется до определенных пределов и более сложными оказываются факторы, влияющие на этот процесс. После превышений предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) происходит снижение устойчивости растений к стресс-факторам, нарушение консортивных (лат. *Consortium* – участие) связей между организмами и со средой. Поэтому эффект от синергического взаимодействия будет недостаточным для проявления коллективного поведения элементов экосистемы. В конечном счете, необратимые изменения приведут к появлению новой структуры.

4. Определение ориентировочной предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) для лесных ландшафтов музея-заповедника «Ясная Поляна»

В экологическом нормировании необходимо различать понятия «норма» и «норматив» [5]. Норма отражает реальное состояние объекта, а норматив является отражением объективной нормы, которое может быть и неполным. В качестве критериев оптимального состояния организма используются его приспособленность (адекватность реагирования) к условиям среды, жизнеспособность, плодовитость и т.д. Они применяются в практике токсикологических экспериментов и гигиенического нормирования.

Сложнее обстоит дело с экосистемами. На организменном уровне абсолютным показателем крайней патологии является гибель организмов. Но уже на уровне популяции гибель отдельной особи не является таким показателем. Практически всегда критический переход ведет не к полному разрушению экосистемы, а к перестройке и возможность восстановления прежнего состояния не исключается [5] (рис. 9).



Рис. 9. Блок-схема воздействия атмосферного загрязнения на лесные экосистемы

Проблема экологического нормирования связана с поиском нормы состояния природной экосистемы, нормы воздействия на нее и ответной реакции экосистемы на внешнее воздействие [60].

Центральный методологический вопрос экологического нормирования – о норме экосистем и критериях нормальности.

Считается, что основным объектом при разработке нормативов является биогеоценоз (экосистема в пределах элементарного водосборного бассейна) [5] – наиболее характерный пространственный масштаб восприятия природы человеком. Предельные нагрузки находят путем выделения критических точек на кривой «доза-эффект», построенной для основных и коррелятивных переменных, закономерно изменяющихся в градиенте загрязнения. Под критической точкой понимается начало наиболее стремительного изменения параметра.

ПДЭН (предельно допустимая экологическая нагрузка) – минимальная из предельных нагрузок по набору параметров.

Нормативы должны дифференцироваться по регионам (ботанико-географическим зонам), типам экосистем, типам производств и режимам природопользования.

Норматив ПДЭН определяет кратность снижения выбросов данного источника до такого уровня, при котором параметры экосистем не будут отличаться от фоновых значений на всем пространстве возле этого источника. Следовательно, должны быть учтены все особенности пространственно-временного поступления и распределения поллютантов в экосистеме.

В нашем исследовании на основе экспериментального материала дан анализ влияния уровня загрязнения на устойчивость экосистем с использованием синергетического подхода. Таким образом, был установлен диапазон значений индекса нагрузки (уровня загрязнения), при котором происходит структурная перестройка основных элементов системы.

Большая мемориальная и средообразующая значимость лесов музея-заповедника вызывает необходимость установления экологического норматива, достижимого на данном этапе развития производства, сочетая краткосрочные интересы промышленности и долгосрочные экологические интересы общества.

В данном случае, контролем качества среды принимается критерий предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) для экосистемы локального уровня (ландшафт музея-заповедника).

В этом отношении разрабатываемые ПДЭН отличаются от принятых в Европе предельно допустимых (критических) нагрузок тех-

ногенных соединений (серы и азота), определяемых расчетным путем в пределах так называемого «европейского квадрата» размером 150x150 км [24]. Такие расчеты слишком усредняют показатели и не являются адекватными для конкретных лесных насаждений.

Интегральную экологическую нагрузку (ПДЭН) выражаем через индекс нагрузки (I_n), представляющий собой сумму кратности превышений максимально-разовых ПДК-лес для трех распространенных загрязнителей до 1986 г. (SO_2 , NO_2 и NH_3), а в последующем (CH_2O , NO_2 и NH_3), на основе анализа зависимостей доза-эффект на уровне экосистем.

Системным признаком разработки ПДЭН принят принцип «слабого звена», когда нагрузка, допустимая для самого уязвимого элемента системы, принимается как заведомо допустимая для системы в целом [5]. «Слабым звеном» в лесных экосистемах музея-заповедника явились насаждения дуба и ели, расположенные в центральной (повышенной) части территории, парк «Клины» и сады, также находящиеся в зоне максимального техногенного воздействия (зона 1). В этой зоне наблюдается повышенная интенсивность выпадения загрязнителей по сравнению с другими ландшафтами. Результирующим показателем состояния и функционирования лесной экосистемы с учетом древесной породы и возраста является интервал значений индекса нагрузки для дуба, равный 4-5, когда начинается «разбухание» флуктуационного фона (разброс значений изучаемого параметра – доли живых деревьев). Это означает возникновение неустойчивого состояния в экосистеме. ПДЭН должна соответствовать такому уровню нагрузки, который фиксирует устойчивость экосистемы на границе с возможным изменением ее внутренней структуры или деградации. В данном случае следует предусмотреть определенный «запас прочности», чтобы экосистемы сохраняли прежнюю структуру и могли включать механизм саморегуляции.

Указанный нами интервал значений ($I_n=4-5$) может служить отправным пунктом для разработки ПДЭН. Расчет ориентировочной ПДЭН проведен с учетом следующих факторов:

- умеренного уровня загрязнения, при котором в экосистеме не произойдет нарушения структуры и функций (возрастание амплитуды флуктуационного фона не достигает экстремальных значений);
- повышенной токсичности смеси газов, что не учитывается современными нормативами для растительности; следует вводить понижающий коэффициент в пределах 15-30%. В нашем случае принимаем коэффициент, равный 30%, т.к. в число основных загрязнителей

входит до 1986 г. двуокись серы (2-й класс опасности), а после – формальдегид (2-й класс опасности). Тогда $I_n=2,8-3,5$;

– пересеченности рельефа, что отражается вводом понижающего коэффициента, равного 15-16%.

В результате учета этих факторов индекс нагрузки составит величину $I_n=2,5-3,0$, которую принимаем в качестве предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН).

Рассмотрим динамику индекса нагрузки относительно предельно допустимой экологической нагрузки ПДЭН за период 1965-2010 гг. (рис. 10).

Здесь можно выделить три периода.

Первый период – высоких техногенных нагрузок (1965-1985 гг.)

Период пуско-наладочных работ на Щекинском химкомбинате «Азот» (1965-1972 гг.) в первые четыре года характерен достаточно высоким уровнем превышения индекса нагрузки (в 4,9-5,5 раза) по сравнению с ПДЭН; в последующие три года индекс нагрузки составлял около 1,1-1,8 ПДЭН (выделение предприятия «Химволокно»).

Интенсификация промышленной деятельности химкомбината с 1975 по 1985 гг. вызвала резкое увеличение индекса техногенной нагрузки с 6,0 до 22,3.

За 20-летнее функционирование Щекинского комбината ПДЭН была превышена в 5-7 раз, что привело к ослаблению лесных насаждений и частичному их распаду.

Второй период – оздоровление экологической ситуации (1986-2004 гг.)

В результате проведения природоохранных мер (решение Совета Министров СССР по предотвращению загрязнения воздушного бассейна) и осуществления в Тульской области федеральной целевой программы по оздоровлению экологической ситуации индекс техногенной нагрузки составил, в среднем 3,2-4,0 (1,1-1,3 ПДЭН), что снизило экологическую напряженность и улучшило состояние лесных насаждений.

Третий период – негативное воздействие на окружающую среду (2005-2010 гг.)

В этот период наблюдается увеличение объема промышленных выбросов, причем индекс техногенной нагрузки находился в пределах 6,1-9,8 (2,0-3,3 ПДЭН).

Второй пик увеличения объема промышленных выбросов характеризуется повторяемостью максимально-разовых концентраций двуокиси азота и формальдегида до 500-2000 раз в год, с 20-45 кратным превышением ПДК-лес. В последние 5 лет (2005-2010 гг.) превышение ПДЭН составило 2-3,3 раза.

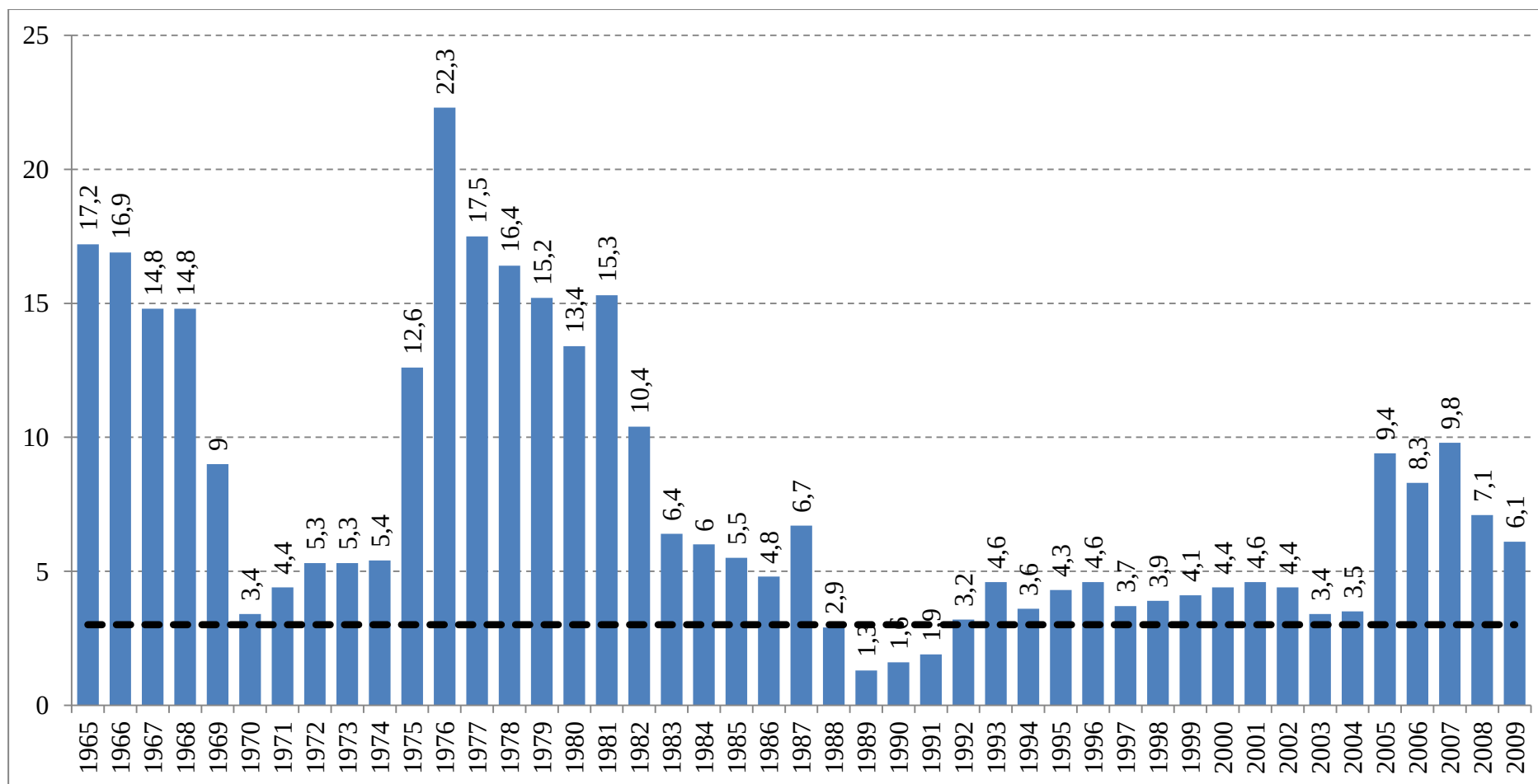


Рис. 10. Динамика индекса нагрузки и предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН – показана штриховой линией) за период 1965-2009 гг.

В результате можно констатировать нарастающее негативное воздействие на природную среду. Уровень загрязнения атмосферного воздуха от категории «повышенный уровень» (2005 г.) и «высокий уровень» (2010 г.) (Ежегодники загрязнения...2006, 2008) изменился до категории загрязнения «очень высокий уровень» (ГУ «Тульский ЦГМС», 2010, приложение 4). Такое ухудшение экологической обстановки нарушает природоохранное законодательство и статус Государственного мемориального и природного заповедника «Музей-усадьба Л.Н. Толстого «Ясная Поляна», подлежащего особой охране (пункт 3, статья 4 федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. №7-ФЗ).

Для оценки жизнеспособности и адаптационных возможностей лесных насаждений используются показатели, характеризующие структуру лесных экосистем. Применительно к различным периодам интенсивности загрязнения атмосферы рассмотрим показатель жизненного потенциала (L , %), и соответствующую ему категорию состояния древостоя. Долговременное наблюдение за состоянием лесных экосистем позволяет применить интегральный показатель – относительное жизненное состояние древостоя (L_n). Его определение основано на применении Санитарных правил в лесах (1970, 1992) с балльной оценкой состояния деревьев (и древостоев) от 1 до 6 баллов [60].

Здоровые насаждения имеют индекс от 1,0 до 1,5; ослабленные – 1,6–2,5; сильно ослабленные – 2,6–3,5, усыхающие – 3,6–4,5, сухостой – 4,6 и выше.

Для исследовательских целей оценивается жизненность деревьев, что придает классификации качественное (смысловое) значение.

Жизненное состояние здоровых деревьев приравнивается к 100%, ослабленные особи утрачивают примерно 1/3 жизненного потенциала (70% «здоровья»), сильно ослабленные – 2/3 (40% «здоровья»), а отмирающие деревья имеют 5% возможного «здоровья».

При показателе от 100 до 80% жизненное состояние древостоя считается здоровым от 79 до 50% – ослабленным, при 49–20% – сильно ослабленным, при 49% и ниже – полностью разрушенным.

Расчет индексов состояния древостоев по числу деревьев производится по формуле:

где: L_n – относительное жизненное состояние древостоя;

N_1 – число здоровых;

N_2 – ослабленных;

N_3 – сильно ослабленных;

N_4 – отмирающих деревьев на пробной площади (или 1 га);

N – общее число деревьев, включая сухостой.

С момента пуска Щекинского химического комбината «Азот» загрязнение природной среды происходило с различной интенсивностью, что сказалось на жизненном состоянии древесных пород музея-заповедника.

Относительно этих периодов в промышленной деятельности Щекинского химкомбината «Азот» жизненное состояние древостоев в пунктах наблюдений было следующим (табл. 12).

Таблица 12. Жизненное состояние древостоев на постоянных пробных площадях при различной техногенной нагрузке (1965-2010 гг.)

Периоды производственной деятельности ОАО «Щекиноазот», годы	Кратности превышений I_n	Жизненный потенциал (L, %)					
		Участок, возраст*					
		Дуб 220 (120) «Чепыж»	Дуб 55 «Источек»	Береза 125 «Старая Абрам. посадка»	Береза 50 «Молодая Абрам. посадка»	Ель 95-100 «Елочки под Грумантом»	Ель 35 «Елочки за Чепыжом» (восст. посадки)
Пуско-наладочные работы: 1965-1967 1970-1972	14,8-18,2	19,5 сильно ослаблен	-	51,9 ослаблен	90,4 здоровый	51,2 ослаблен	59,0 ослаблен
Промышленная эксплуатация: 1973-1985	5,3-17,5	19,2 сильно ослаблен	23,1 сильно ослаблен	52,2 ослаблен	79,7 ослаблен	24,9 сильно ослаблен	68,8 ослаблен
Модернизация производства с сокращением объема выбросов (SO ₂ и др.): 1987-1997	3,2-4,2	48,0 сильно ослаблен	53,0 ослаблен	63,1 ослаблен	82,5 здоровый	55,8 ослаблен	80,6 здоровый
Интенсификация производства, увеличение объема выбросов: 2005-2010	6,1-9,8	58,2 ослаблен	Нет наблюдений	43,2 сильно ослаблен	70,1 ослаблен	64,9 ослаблен	33,5 сильно ослаблен

Примечание: *возраст участка показан по данным лесоустройства 1995-1996 гг.

В периоды пуско-наладочных работ и промышленной эксплуатации (1965-1985 гг.) – первый пик техногенных нагрузок – наименьший жизненный потенциал имели дубовые насаждения ($L=19,2-23,1$) и спелое еловое насаждение – участок «Елочки под Грумантом» ($L=24,9$), находясь в сильно ослабленном состоянии. В этот период наибольший жизненный потенциал ($90,4-79,7$) имело березовое насаждение на участке «Молодая Абрамовская (послевоенная) посадка».

Во временном отрезке (1987-1997 гг.) в ходе модернизации производства (при уровне $I_n=3,2-4,2$) жизненный потенциал (L , %) существенно повысился при возрастании доли здоровых и живых деревьев 1-3 категории состояния и выборкой текущего отпада при выборочных санитарных рубках и рубках ухода в средневозрастных насаждениях дуба (участок «Источек» с 23,1 до 53,0), березы (участок «Молодая Абрамовская посадка» с 79,7 до 82,5), ели (участок «Елочки за Чепыжом» с 68,8 до 80,6).

Старовозрастный березняк (участок «Старая Абрамовская посадка») увеличил жизненный потенциал с 52,2 до 63,1 % за счет регенеративной способности образовывать вторичные кроны.

Спелое насаждение дуба (участок «Чепыж») сильно ослаблено, но все же жизненный потенциал повысился с 19,2 до 48 % за счет удаления сухостоя, лечения деревьев с наличием гнилей, борьбой с листовёрткой и др. вредителями.

Максимальную среднегодовую производительность насаждение уже прошло в возрасте 110-140 лет и его адаптационные возможности понижены.

Спелое еловое насаждение (участок «Елочки под Грумантом») находилось в ослабленном состоянии, но его жизненный потенциал возрос с 24,9 до 56,5%. Это насаждение находится близко к возрасту, когда максимальная среднегодовая производительность наступает в 124-160 лет в зависимости от класса бонитета.

Второй относительно высокий пик промышленных выбросов приходится на период 2005-2010 гг. Дубовое насаждение «Чепыж» ($L=58,2\%$) ослаблено и нуждается в проведении хозяйственных мероприятий, поскольку увеличивается доля ослабленных деревьев 2-4 категории состояния, а доля здоровых равна 2-3%, накапливается сухостой и ветровал. Проведение реконструктивных мер (подпологовые культуры) позволит избежать изменения мемориального облика этого лесного участка.

Средневозрастное еловое насаждение («Елочки за Чепыжом») находится в сильно ослабленном состоянии ($L=33,5$ %). Состояние

древостоя было стабильным до 1988 г., хотя и было создано после рубки погибшего насаждения в очаге корневой губки. После проведенного ухода (уборка сухостоя и ослабленных, пораженных болезнью деревьев, антисептирование пней и др.) состояние древостоя оценивалось довольно высоким баллом (1,63). К 2001 г. состояние ухудшилось (влияние засухи, недостаточность ухода) – средний балл состояния 2,06-2,17. С возрастанием уровня загрязнения к 2009 г. балл состояния еще понизился – до 2,75. Необходимы меры по локализации очага корневой губки и дополнению лесных культур в местах отпада деревьев.

Таким образом, состояние лесных экосистем улучшилось в период снижения выбросов в регионе и модернизации производства на Щекинском химкомбинате с уменьшением загрязнения воздушной среды до уровня, близкого к ПДЭН, но последующее за этим увеличение объема выбросов (превышение ПДЭН в 2 раза) фактически этот эффект ликвидировало.

По мнению В.С. Николаевского [37], экологические нормативы должны устанавливаться с учетом чувствительности биогеоценоза или экосистемы для достаточно обширной территории с длительным многолетним действием отдельных ингредиентов или их смесей. Главные критерии допустимой антропогенной нагрузки на экосистемы должны быть: 1) сохранение его видового состава и 2) сохранение оптимальной и допустимой продуктивности биоты (снижение природной продуктивности экосистем не более чем на 10%, в противном случае нарушается их естественное развитие). Установление этих нормативов должно проводиться относительно продуцентов, определяющих до 90% биологическую продуктивность экосистем. В нашем исследовании для основных лесообразующих пород музея-заповедника продуктивность насаждений изменялась следующим образом (табл. 13).

Таблица 13. Изменение общего запаса по породам (тыс. м³) [6]

Порода	Общий запас насаждений по ревизионным периодам (1960-1995 гг.)								
	1960	1972	1983	1984	1985	1986	1990	1993	1995
Дуб	6,19	5,12	7,32				7,63		6,12
Береза	22,98	26,56	30,36				31,25		27,42
Липа	10,43	12,06	21,24				19,26		19,84
Ель	3,21	1,89	1,94				2,59		2,55
Объем промышленных выбросов (тыс. т)	до 500,0		343,8	282,3	188,6	47,5	38,5	30,0	64,5

Каким же образом изменения объемов выбросов вредных веществ в атмосферу отразились на продуктивности лесных насаждений в музее-заповеднике?

Анализ динамики изменения общих запасов древесины по четырем породам (дуб, береза, липа, ель) свидетельствует о тенденции к их увеличению [15].

Исключение составляет период 1960-1972 гг., за который произошло существенное снижение запасов спелых и перестойных дубовых насаждений (на 21,6%), а также средневозрастных еловых насаждений (в 1,6 раза). С 1972 по 1983 гг. значительно увеличился запас в насаждениях липы.

По данным последнего лесоустройства 1995 г., наибольший запас в возрасте количественной спелости имеет липа ($300 \text{ м}^3/\text{га}$) в 80-90 лет, затем – ель ($260 \text{ м}^3/\text{га}$) в 100 лет, дуб ($250 \text{ м}^3/\text{га}$) в 110-120 лет и береза ($240 \text{ м}^3/\text{га}$) в 70-80 лет.

Значительный техногенный пресс привел к существенным изменениям структуры и динамики состояния лесных экосистем. Наблюдается устойчивая тенденция к деградации коренных дубовых насаждений, но к усилению позиций липы, что особенно наблюдается в мемориальных березовых насаждениях с интенсивным развитием подлеска и второго яруса липы. В связи с этим возникает необходимость проведения мер ухода и реконструкции для обеспечения мемориального облика лесов музея-заповедника.

Следует обратить внимание на тот факт, что в музее-заповеднике существует опасность появления очагов размножения короеда-типографа, особенно в ельниках, зараженных корневой губкой, произрастающих на дренированных суглинках, по повышенным частям рельефа. Эта опасность связана также с произрастанием ели на южной границе своего ареала и возможным наступлением неблагоприятных погодных условий (засуха) [27]. Гибель ельников определяется появлением второго и сестринского поколений типографа, наблюдающихся в засушливые годы [26].

В Центральном регионе России массовое усыхание ели отмечено в 2002 г. в Калужской области, где размножение короеда-типографа охватило 15% площади ельников старше 60 лет (в 17 лесхозах) – 4,9 тыс. га; в Московской области – площадь очагов составила 6 тыс. га. Усыхание ели было отмечено в Тульской, Новгородской, Владимирской областях, но в меньших масштабах.

Интервал техногенной нагрузки, равный 2,5-3,0, установлен по качественной реакции насаждений в условиях погодноклиматическо-

го района лесостепной зоны, для характерных ландшафтов со средней чувствительностью геосистем к антропогенным воздействиям (Почвенная карта Тульской области М 1:200000, 1985, Тульский филиал Центрального государственного проектного института по землеустройству).

Эти типы ландшафтов представлены водораздельными плато, пологими и слабопологими склонами водоразделов с серыми лесными среднесуглинистыми почвами; в нижней части водоразделов – пологими и слабопологими склонами с серыми лесными слабосмытыми почвами.

Существующая система дренажа сдерживает эрозионные процессы, почвы способны сохранять естественную структуру и функционирование под влиянием внешних воздействий. Биоценозы характерны ботаническим и биологическим разнообразием, но могут отличаться в различные моменты по составу травяного, мохового или лишайникового покрова.

Стратегия лесного хозяйства в мемориальных лесных насаждениях музея-заповедника базируется на разработанных ВНИИЛМ в тесном сотрудничестве с другими научно-исследовательскими организациями «Рекомендациях по ведению лесного хозяйства в насаждениях Государственного мемориального и природного заповедника музея-усадьбы Л.Н. Толстого «Ясная Поляна» [46].

Большинство рекомендуемых мер разработано специально для условий Ясной Поляны и прошло здесь опытно-производственную проверку, поскольку обычные приемы для условий лесхозов не отвечают целям сохранения уникальных лесных насаждений и исторических ландшафтов Ясной Поляны.

Рекомендуемые лесохозяйственные меры и технологические решения даны для конкретных мемориальных насаждений с учетом их расположения в той или иной экологической зоне, санитарного и лесопатологического состояния лесов, структурных изменений лесных насаждений, успешности естественного возобновления и особенностей микроклимата.

При указанных нами интервалах ПДЭН в насаждениях дуба, березы и ели разного возраста обеспечивалось участие доли живых деревьев в пределах 90-95% от состава насаждения, при этом величина отпада (деревья V и VI категорий) не превышала 5-10% в период снижения выбросов. Безусловно, в этих придержках по величине отпада и доле живых деревьев учитывалась и интенсивность выборочных санитарных рубок.

В настоящее время снижение устойчивости и идущие процессы структурных изменений лесных экосистем (повышенный отпад деревьев, уменьшение полноты, снижение площади молодняков), высокий уровень загрязнения природной среды вызывает необходимость проведения комплексного мониторинга, разработанного ВНИИЛМ [28], т.е. системы слежения в динамике за характером и степенью воздействия природных и антропогенных факторов.

Слежение за всем лесным массивом осуществлялось в рамках лесоустройства до 1995 г. Прошло более 18 лет с момента проведения последнего лесоустройства. Необходимо соблюдение преемственности, чтобы иметь данные о величине отпада деревьев в насаждениях, возрастной структуре лесов, повреждении лесов вредителями и болезнями, затрат на сохранение и восстановление мемориального облика посадок Л.Н. Толстого, сохранение оздоровительных и эстетических свойств леса.

При выполнении лесоустроительных работ на заповедных территориях желательно учитывать методологию экологического анализа с разработкой ряда тематических карт в одном и том же масштабе (санитарное состояние лесов, техногенные и рекреационные нагрузки, проведение хозяйственных мероприятий, рекомендуемые лесохозяйственные меры по сохранению мемориального облика лесных насаждений). Такой учет лесного фонда, подкрепленный ежегодными материалами комплексного мониторинга, позволит выявлять причинно-следственные связи в лесных биогеоценозах, определить степень и масштаб влияния различных факторов на жизнеспособность насаждений, прогнозировать состояние лесов и своевременно назначать природоохранные мероприятия.

В связи с накоплением большого фактического материала, целесообразно иметь электронную базу данных с разработкой информационно-справочной системы (ИСС).

Пока отсутствует информация об оценке реальной угрозы негативного воздействия промышленных выбросов предприятий на природу музея-заповедника «Ясная Поляна» со стороны государственного контроля в лице Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по Тульской области и Управлению Росприроднадзора по Тульской области.

В охране окружающей природной среды важным является не только возможность возмещения нанесенного экологического ущерба (которое к тому же не всегда возможно), но и проведение превентивных мер по предотвращению вредных и опасных последствий [20].

Только в этом случае можно обеспечить одно из важнейших конституционных прав – право на благоприятную окружающую среду (ст. 42 Конституции РФ).

Основываясь на оценке экологической ситуации в музей-заповеднике и территориях трех промышленных зон, можно дать следующий краткосрочный прогноз:

- уровень загрязнения природных комплексов музея-заповедника «Ясная Поляна» не будет соответствовать расчетному показателю $ПДЭН=I_n=2,5-3,0$ (или быть близким к нему), учитывая существующий объем промышленных выбросов предприятиями г. Тулы, Новомосковска, Щекино и планируемый объем повышения выпуска продукции ОАО «Щекиноазот»;

- наблюдающиеся в последнее время высокие концентрации формальдегида будут сохраняться, а, возможно, и увеличиваться в результате фотохимических реакций при наступлении периода солнечной активности;

- в качестве окислителя-поллютанта в атмосфере может появляться и озон, содержание которого не учитывается постами Гидрометеослужбы;

- возрастет необходимость проведения активных реконструктивных мер;

- сохранение высокой жизнеспособности лесных насаждений возможно при уровне загрязнения атмосферы в пределах ПДЭН;

- при существующем уровне загрязнения атмосферы экологическую обстановку следует оценить как напряженную, при которой снижение устойчивости будет наблюдаться в большей степени на лесных участках дубрав с высоким возрастом, а также в монокультурах березы, ели и дуба. Требуется ежегодная корректировка мер по лесовосстановлению, лесозащите, рубкам ухода и по оптимизации рекреационных нагрузок.

Заключение

90 лет открыт для людей всего мира музей-заповедник Л.Н.Толстого «Ясная Поляна». За последние 50 лет развитие промышленности оказало существенное негативное влияние на природу Ясной Поляны: леса, парки, сады, луга, водоемы.

В задачу данного исследования входила оценка динамики состояния и устойчивости лесных насаждений. Мониторинговыми наблюдениями установлено негативное влияние техногенных выбросов и природных факторов (экстремальные погодные условия, стволовые вредители, листогрызущие насекомые, некоторые болезни) на состояние мемориальных лесов. Поэтому стратегической задачей является сохранение и поддержание породного состава, полноты и других характеристик лесных участков (ландшафтов), в примерном соответствии с периодом жизни Л.Н. Толстого.

Оценка воздействия загрязнения атмосферы на состояние и адаптацию лесных насаждений к изменившимся условиям среды была затруднена отсутствием настоящих объектов-аналогов, пригодных для сравнения с мемориальными насаждениями: посадки ели и березы были созданы по оригинальной методике, а лесные насаждения естественного происхождения испытали различную степень хозяйственного влияния. Принятые в качестве контроля участки леса Тульских засек давали возможность уловить лишь общую направленность изменений в росте и развитии лесных насаждений.

Традиционный прием оценки степени техногенного воздействия по расстоянию от источника выбросов был неприемлем, так как в музее-заповеднике встречались на одинаковом расстоянии различные участки (ландшафты), отличающиеся рельефом, почвой и растительностью. Пространственное распределение загрязнителей зависело, кроме того, от пересеченной местности (овраги, речные долины, водораздельные плато). На территории музея-заповедника по розе ветров воздействовали различные «виновники»: Тульско-Новомосковская агломерация с преимущественным направлением ветров – С, СВ румбов и Щекинская (в основном, ОАО «Щекиноазот») – с Ю, Ю-З и З румбами направления ветра. Все эти вопросы требовали конкретного решения.

Разработанные «Временные нормативы....» (1984) установили значения предельно допустимых концентраций (среднесуточные, максимально-разовые) для лесной растительности по 13 загрязняющим веществам, поскольку значения ПДК для человека (№ 1892-78 от 01.08.78 г.) были менее жесткими. Но работа по оценке многолетнего

воздействия атмосферного загрязнения на лесные экосистемы и их ответной реакции не проводилась.

Решая эту проблему, были определены интегральные показатели на 6 стационарных полигонах (лесные насаждения дуба, березы и ели различного возраста):

- в качестве диагностического критерия реакции древостоев взяты доля живых деревьев (деревья 1, 2 и 3 категории состояния) и доля деревьев без признаков ослабления (деревья 1 категории состояния);
- уровень загрязнения оценивался при помощи индекса нагрузки по трем основным загрязнителям.

Такой метод как кратность превышений норм ПДК ранее никем не исследовался и рассмотрен в данной работе впервые.

Экспериментальные данные с 1965 г. по 2010 г. были обработаны с применением новой методологии в лесоведении – синергетического подхода, основанном на теории самоорганизации экосистем с позиций термодинамики неравновесных процессов. Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение и усиление порядка через флуктуации (случайные отклонения) параметров системы от некоторого среднего положения. Эти отклонения возрастают благодаря усилению неравновесности, приводят к «расшатыванию» прежнего порядка и возникновению нового порядка и структуры. Этот подход позволил выделить уровень загрязнения, при котором в экосистеме возникает неустойчивое состояние и происходит нарушение внутренних связей.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- изменение жизнеспособности лесных экосистем при техногенном воздействии установлено с использованием интегральных показателей степени загрязнения природной среды (индекс нагрузки) и отклика биоты (доля деревьев 1-3 категории состояния по шкале «Санитарных правил...»);
- изучение зависимости «доза-эффект» для жизненного состояния древостоя (для дуба, березы и ели) проведено с использованием синергетического подхода, дающего возможность составления краткосрочного прогноза по изменению состояния лесных экосистем;
- разработан экологический норматив – предельно допустимая экологическая нагрузка (ПДЭН) с учетом следующих факторов: умеренного уровня загрязнения, при котором в экосистеме не произойдет нарушения структуры и функций, повышенной токсичности смеси газов и пересеченности рельефа. ПДЭН имеет расчетную величину, равную индексу нагрузки $I_n=2,5-3,0$;

- за период 1965-2010 гг. показана динамика степени загрязнения атмосферы относительно ПДЭН, что позволило выделить три этапа разной интенсивности промышленных выбросов предприятиями Тульско-Щекинского региона и их влияния на жизненное состояние лесных насаждений;
- выявлен показатель, отсутствующий в официальных справках, о доле предприятий в общем объеме выбросов, поступающих на территорию музея-заповедника «Ясная Поляна». Проведенным анализом многолетних данных 2 постов Гидрометеослужбы в Ясной Поляне, фонового загрязнения воздуха (Тульский центр ГМС), многолетней розы ветров, результатов модельного опыта по изучению распространения газовых потоков установлена доля выбросов ОАО «Щекиноазот» в 70 % от общего объема выбросов и 30 % – доля поступающих выбросов от Тульского промышленного района;
- установлено, что при соблюдении гигиенических нормативов 2.1.6.1338-03 наблюдаются превышения максимально-разовых ПДК-лес для пыли в 2,47 раза, по NO₂ – в 1,52 раза, по метанолу – в 1,89 раза и по формальдегиду – в 17,5 раза.

Предложения по обеспечению экологической безопасности

1. Оценку загрязнения атмосферного воздуха наряду с данными 2 постов Гидрометеослужбы следует также проводить с использованием критерия по допустимой экологической нагрузке (ПДЭН), рассчитанной для лесных насаждений музея-заповедника (И_н=2,5-3,0).
2. Определять предельно допустимые выбросы (ПДВ) основных загрязнителей от объединенной компании ОАО «Щекиноазот», объединения «Тулачермет», Косогорского металлургического завода, Новомосковской акционерной компании «Азот» на основе критериев ПДК-лес, а не гигиенических ПДК, менее жестких и не отвечающих требованиям экологической безопасности музея-заповедника.
3. Периодически организовывать общественный экологический контроль с привлечением общественных и иных некоммерческих объединений в соответствии с их уставами (п. 4, ст. 68 Федерального закона от 10 января 2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»).
4. Рекомендовано проведение экологического аудита ОАО «Щекиноазот» по оценке планируемого увеличения объемов продукции и доведением результатов до общественности.
5. При устойчивом объеме производства в планах менеджмента следует предусмотреть уменьшение предельно допустимых выбросов (кг/т) на единицу сырья продукции ОАО «Щекиноазот».

6. Такие перспективные нормативы следует разработать по каждому загрязнителю, входящему в состав выбросов, и в результате следует установить для территории музея-заповедника допустимую массу промышленных выбросов ПДВ (т/год) по каждому загрязнителю с концентрациями, равными или ниже соответствующих ПДК-лес.

Следует отметить, что государство стремится подвигнуть предпринимателей к охране окружающей среды не только принудительными мерами, но и заинтересовать экономически. В соответствии с законом «Об охране окружающей среды» (ст. 14 и 17) внедрение наилучших существующих технологий, использование вторичных ресурсов и других мер по охране окружающей среды поощряется государством посредством установления налоговых льгот. При этом предусматривается включение затрат на природоохранную деятельность в себестоимость продукции. Так, в соответствии с п. 1 ст. 254 Налогового кодекса Российской Федерации (ч. 2) №117-ФЗ от 5 августа 2000г. к материальным затратам налогоплательщика относят расходы, связанные с эксплуатацией очистных сооружений, фильтров, золоуловителей, очистке сточных вод и других природоохранных объектов.

Таким образом, законодательство стимулирует природоохранную деятельность в сфере «экономика-экология» [8]. Поэтому намечающиеся партнерские отношения между Государственным мемориальным и природным музеем-заповедником Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» и ОАО «Щекиноазот» имеют реальные предпосылки для сохранения экологической безопасности на своей территории. Это улучшит социальную среду жизни населения, сохранит уникальные ландшафты, инвестиционную привлекательность предприятия и его конкурентоспособность. Нужно лишь осознать общественную значимость этих отношений и иметь высокую экологическую культуру предпринимательства.

По мнению директора музея-заповедника В.И.Толстого [54], нужна срочная, радикальная модернизация технологий и оборудования с долгосрочным планом перепрофилирования наиболее вредных его производств или переносом на более удаленные площадки. Это должен быть продуманный, долгосрочный совместный план выхода из этой ситуации и необходимые инвестиции, которые бы «Щекиноазот» и «Ясная Поляна» представляли Правительству РФ, международным экологическим организациям.

Такие совместные проекты с предприятиями в сферах образования, туризма и экологии решат с течением времени проблему устойчивого развития территории в соответствии с принципами Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию (1983 г.).

Литература

1. Беспмятнов, Г.Н. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г.Н. Беспмятнов, Ю.А. Кротов. – Л. : «Химия», Ленинградское отделение, 1985, – 528 с.
2. Бутусов, О.Б., Степанов А.М. Определение интегральных индексов техногенной деградации лесов / О.Б. Бутусов, А.М. Степанов // Лесоведение. – 1999. – №1. – С. 17–22.
3. Битков, Л.М. Хронобиологическая концепция лесоводства по результатам исследования в ельниках / Л.М. Битков // Лесохозяйственная информация. – 2008. – №5. – С. 23–36.
4. Бюллетень состояния природной среды и лесных насаждений в музее-заповеднике Л.Н.Толстого «Ясная Поляна». – Пушкино : ВНИИЛМ, 1990. – 33 с.
5. Воробейчик, Е.Л., Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург : УИН «Наука», 1994. – 280 с.
6. Временные нормативы предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, оказывающих вредное воздействие на лесные насаждения в районе музея-усадьбы «Ясная Поляна». – М., 1984. – 12 с.
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». – М., 1993.
8. Дехтерева, Л.П. Взаимодействие природных и экономических механизмов в экологическом законодательстве / Л.П. Дехтерева // Лесной вестник. – 2003. – №3 (28). – С. 43–46.
9. Ерусалимский, В.И. Как сохранить дубравы? / В.И. Ерусалимский // Лесное хозяйство. – 2000. – №5. – С.13–15.
10. Касимов, Д.В. Состояние хвойных насаждений музея-усадьбы Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» и меры по их сохранению. Рукопись / Д.В. Касимов. – М. : МГУЛ, 1997. – 35с.
11. Касимов, Д.В., Касимов В.Д. Мемориальные леса музея-заповедника Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» на рубеже XXI века / Д.В. Касимов, В.Д. Касимов // Лесной вестник. – 1999. – №2. – С. 127–133.
12. Касимов, Д.В. Особенности подпологовых культур дуба / Д.В. Касимов // Лесное хозяйство. – 2000. – №5. – С. 18–19.
13. Касимов, Д.В. Синергетический подход к оценке состояния лесных насаждений / Д.В. Касимов // Научные труды Московского государственного университета леса. № 309(2). – М. : МГУЛ, 2000. – 184 с.

14. Касимов, Д.В. Эколого-лесоводственная оценка состояния и возобновления дуба в насаждениях музея-заповедника Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» : Автореферат дис. канд. биол. наук/ Касимов Д.В. – М. : МГУЛ, 2000. – 23 с.
15. Оценка состояния лесных экосистем при многолетнем атмосферном загрязнении с использованием синергетического подхода / Д.В. Касимов, М.Р. Короткина, В.Д. Касимов // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы: матер. совещ.: Москва, 18-20 сентября, 2001. – Тула, 2001. – С. 524–525.
16. Касимов, Д.В. Структурные изменения лесов музея-заповедника Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» при длительном техногенном воздействии / Д.В. Касимов, В.Д. Касимов // Вестник Московского государственного университета леса – 2005. – №5(41). – С. 136–140.
17. Короткина, М.Р. Применение теории катастроф для обработки экспериментальных данных / М.Р. Короткина, М.В. Попова // Сб. науч. статей докторантов и аспирантов Московского государственного университета леса. – 1999. – С. 39–43.
18. Колбовский, Е.Ю. Ландшафтные аспекты территориального планирования в российской провинции: проблемы, задачи, перспективы / Е.Ю. Колбовский // Экологическое планирование и управление, №1(2), 2007. – М. : Изд-во научных изданий КМК. – С. 53–63.
19. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР / Курнаев, С.Ф. – М. : Наука, 1978. – 204 с.
20. Ларин, В. Охрана природы России: от Горбачева до Путина / В. Ларин, Р. Мнацаканян, И. Честин и др. – М. : КМК, 2003. – 416 с.
21. Леса Ясной Поляны: монография. – М.: ВНИИЛМ, 2006. – 192 с.
22. Липаткин, В.А. О формировании представлений об устойчивости лесных экосистем / В.А. Липаткин // Лесной журнал. – 1998. – №5.
23. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л. : Наука, 1990. – 200 с.
24. Мартынюк, А.А. Воздействие выбросов промышленных предприятий на леса и его экологическое нормирование : учеб. пособ. для студентов / А.А. Мартынюк, М.В. Щепаченко – М. : МГУЛ, 1996. – 42 с.
25. Мартынюк, А.А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения / А.А. Мартынюк. – М. : ВНИИЛМ, 2006. – 216 с.
26. Маслов, А.Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов / А.Д. Маслов. – М. : ВНИИЛМ, 2010. – 138 с.
27. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. МПР РФ, ФАЛХ. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2006. – 108 с.

28. Методика по ведению мониторинга лесных насаждений в музее-заповеднике Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» и охранной зоне. – М. : ВНИИЛМ, 2001. – 44 с.
29. Метеорология и атомная энергия. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – 648 с.
30. Мигунова, Е.С. Докучаев и лесоводство / Е.С. Мигунова, Г.Б. Гладун. – Сумы: Изд-во «Сумский национальный аграрный университет», 2010. – 433 с.
31. Мониторинг лесных экосистем. Тезисы докладов научной конференции. – Каунас, 5-6.06.1986. – 378 с.
32. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе, издание четвертое под редакцией В.В. Матренинского / Г.Ф. Морозов. – М.,– Л. : Гос. изд-во, 1928. – 365 с.
33. Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. – Новосибирск : Наука, 1979. – 278 с.
34. Николаевский, В.С. Проблемы предельно допустимых концентраций загрязнения воздуха для растений и образуемых ими сообществ / В.С. Николаевский, Н.А. Першина // Проблемы фитогигиены и охраны окружающей среды. – Л. : Наука, 1981. – С. 117–121.
35. Николаевский, В.С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений: уч. пособ. / В.С. Николаевский. – М. : МЛТИ, 1989. – 64 с.
36. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем: монография / В.С. Николаевский –М. : МГУЛ, 1998. – 192 с.
37. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В.С. Николаевский. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. – 220 с.
38. Научный отчет за 1971 год по теме №61 «Изучение состояния насаждений музея-заповедника Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» в связи с влиянием промышленных выбросов» // Л.К. Серебрякова, В.И. Суворов, О.З. Гурьянова. – Пушкино : ВНИИЛМ, 1971, рукопись. – 250 с.
39. Научный отчет за 1992 год по теме №124 «Лесоводственный и лесопатологический мониторинг насаждений музея-усадьбы «Ясная Поляна»» // А.Д. Маслов, В.Д. Касимов и др. – Пушкино : ВНИИЛМ, 1992, рукопись. – 60 с.
40. Научный отчет за 1997 год по теме №124 «Лесоводственный и лесопатологический мониторинг насаждений музея-усадьбы «Ясная Поляна»» // А.Д. Маслов, В.Д. Касимов и др. – Пушкино : ВНИИЛМ, 1997, рукопись. – 78 с.
41. Охрана окружающей среды в России: Сб. стат./ – М. : Госкомстат России, 2001. – 229 с.

42. Павлов, И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения / И.Н. Павлов. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СОРАН, 2006. – 359 с.
43. Петров, А.А. Математическое моделирование и модели экономики / А.А. Петров // Экология и жизнь. – 7-8(92-93). – 2009. – С. 10-21.
44. Пригожин, И.Р. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / И.Р. Пригожин, Г. Николис. – М. : Мир, 1979. – 600 с.
45. Рассеянные элементы в бореальных лесах // В.В. Никонов, Н.В. Лукина, В.С. Безель и др.; отв. ред. А.С. Исаев. – М.: Наука, 2004. – 616 с.
46. Рекомендации по ведению лесного хозяйства в насаждениях Государственного мемориального и природного заповедника музея-усадьбы Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» /А.А. Мартынюк, В.Д. Касимов, А.Д. Маслов и др. – М. : ВНИИЛМ, 2001. – 40 с.
47. Рузавин, Г.И. Концепции современного естествознания: учебник для вузов / Г.И. Рузавин. – М. : ЮНИТИ, 2001. – 287 с.
48. Салиев, А.В. Некоторые перспективы оценки и прогноза зон поражения лесонасаждений аэропромвыбросами // Всероссийская науч. тех. конф. «Охрана лесных экосистем и рациональное использование природных ресурсов» / А.В. Салиев, С.Е. Ямбург. – М. : МГУЛ, 1994, т. 2. – С. 25-26.
49. Санитарные правила в лесах СССР – М. : Лесная промышленность, 1970. – 16 с.
50. Санитарные правила в лесах Российской Федерации – М. : Экология, 1992. – 16 с.
51. Семенов К.С. История лесов Ясной Поляны за сто лет и задачи сохранения и восстановления их: автореф. дис. канд. с.-х. наук / К.С. Семенов. – М., 1957. – 15 с.
52. Смит, У.Х. Лес и атмосфера / У.Х. Смит. – М. : «Прогресс», 1985. – 485 с.
53. Семинар в Ясной Поляне. Экологическая культура и культурно-природное наследие // Экология и жизнь. – №7-8 (92-93). – 2009. – С. 117–120.
54. Толстой, В.И. Мы не музей про «Льва Толстого» / В.И. Толстой. // Жизнь в усадьбе. – №2. – 2004. – С. 27–38.
55. Тульский экологический бюллетень – 200. – Тула: администрация Тульской области, 2001. – 190 с.
56. Территориальная комплексная схема охраны окружающей среды района м.у. «Ясная Поляна». Основные положения. – М. : Гослесхоз СССР (Союзгипролесхоз), 1986. – 20 с.
57. Хакен, Г.Я. Синергетика / Г.Я. Хакен. – М. : Мир, 1988. – 405 с.

58. Чернышенко, О.В. Использование данных о поглотительной способности урбоэкосистемы в прикладных аспектах / О.В. Чернышенко // Лесной вестник. – 2000. – №6 (15). – С. 33–37.

59. Шевякова, Н.И. Причины и механизмы гибели зеленых насаждений при действии техногенных факторов городской среды и создание стресс-устойчивых фитоценозов / Н.И. Шевякова, В.В. Кузнецова, Л.О. Карпачевский // Лесной вестник. – 2000. – №6(15). – С. 25–33.

60. Экосистемы в критических состояниях // под ред. Ю.Г. Пузаченко. – М. : Наука, 1989. – 155 с.

61. Энциклопедия лесного хозяйства: в 2-х томах. – М. : ВНИИЛМ, том 2, 2006. – С. 381–382.

62. Яницкая, Т.О. Современное состояние растительности Тульских засек / Т.О. Яницкая, Т.Ю. Браславская // Лесоведение. – 1996. – №6. – С. 16–25.

63. Forest Condition in Europe/ Result of the 1997 crown condition survey 1998 Technical Report. Prepared by: Federal Research Center for Forestry and Forest products (BFH). UN/ESE, Yeneva and Brussels, 1998. – 118 p.

Приложение 1

Показатели роста подпологовых культур дуба черешчатого с учетом экологических условий и периода адаптации (приживания)

Площадь окна, м ²	Степень ос- вещенности на высоте вершин крон, %	Диаметр окна	Средний прирост, см	Возраст, лет					Соответст- вие классу бонитета
		Высота древостоя		10	15	20	25	30	
				Высота, м					
140	23.8	0.4	15	1.25	2.25	3.00	3.7	4.5	<IV
230	34.1	0.6	14	1.50	2.10	2.8	3.5	4.2	<IV
300	29.1	0.7	13	1.40	2.00	2.6	3.3	4.0	<IV
540	39.7	0.8	20	1.75	2.80	3.90	5.0	6.0	IV
780	58.6	1.0	29	2.75	4.20	5.87	7.3	8.7	III
1300*	90.6	1.4	27	2.70	4.10	5.5	6.8	8.2	III
2340	98.1	2.1	23	1.25	2.50	4.00	5.60	6.8	III-IV

Примечание: * – культуры созданные посадкой 4-5 летними насаждениями; цифры, выделенные жирным, получены по данным анализа моделей; цифры, выделенные курсивом, получены расчетным путем.

Приложение 2

Характеристика загрязнения атмосферного воздуха на территории музея-усадьбы Л.Н.Толстого «Ясная Поляна за период 2001-2009 гг.

(по данным ГУ «Тульский ЦГМС»)

Год	ПНЗ-1				ПНЗ-2				
	NH ₃	SO ₂	NO ₂	CH ₂ O	NH ₃	SO ₂	NO ₂	NO	CH ₂ O
Средние концентрации									
2001	0,01	0,001	0,01	0,005	0,01	0,001	0,01	0,01	0,007
2002	0,01	0,001	0,02	0,010	0,01	0,001	0,01	0,01	0,011
2003	0,01	0,001	0,02	0,005	0,01	0,002	0,02	0,01	0,006
2004	0,00	0,002	0,01	0,004	0,00	0,002	0,01	0,01	0,004
2005	0,01	0,001	0,02	0,005	0,01	0,002	0,02	0,01	0,006
2006	0,02	0,002	0,02	0,012	0,02	0,002	0,02	0,01	0,006
2007	0,02	0,002	0,03	0,015	0,01	0,003	0,01	0,01	0,008
2008	0,02	0,002	0,03	0,018	0,02	0,002	0,02	0,01	0,011
2009	0,02	0,001	0,02	0,014	0,01	0,001	0,01	0,01	0,013
Максимально-разовые ПДК-лес									
2001	0,28	0,011	0,24	0,052	0,15	0,014	0,37	0,04	0,091
2002	0,31	0,016	0,28	0,109	0,36	0,026	0,14	0,06	0,142
2003	0,15	0,028	0,22	0,079	0,16	0,081	0,20	0,11	0,166
2004	0,17	0,025	0,20	0,066	0,24	0,081	0,23	0,25	0,095
2005	0,30	0,023	0,83	0,106	0,54	0,023	0,29	0,17	0,141
2006	0,28	0,033	0,20	0,352	0,73	0,030	0,24	0,08	0,138
2007	0,47	0,024	0,77	0,387	0,28	0,197	0,37	0,07	0,220
2008	0,28	0,019	0,50	0,358	0,13	0,015	0,41	0,05	0,122
2009	0,10	0,025	0,36	0,500	0,11	0,016	0,34	0,06	0,288
Число превышений максимально-разовых ПДК-лес									
2001	9	0	135	81	2	0	84	0	187
2002	8	0	196	292	7	0	91	4	459
2003	9	0	180	97	5	0	170	9	181
2004	5	0	48	36	5	0	134	8	49
2005	13	0	219	74	21	0	175	9	112
2006	40	0	304	331	83	0	240	17	113
2007	54	0	376	433	31	0	165	6	208
2008	10	0	338	661	9	0	153	4	452
2009	0	0	161	390	1	0	94	1	556

Год	NH ₃	SO ₂	NO ₂	NO	CH ₂ O
Средние концентрации					
2001	0,01	0,001	0,01	0,01	0,006
2002	0,01	0,001	0,01	0,01	0,010
2003	0,01	0,002	0,02	0,01	0,006
2004	0,00	0,002	0,01	0,01	0,004
2005	0,01	0,002	0,02	0,01	0,005
2006	0,02	0,002	0,02	0,01	0,008
2007	0,02	0,002	0,02	0,01	0,011
2008	0,02	0,002	0,02	0,01	0,014
2009	0,01	0,001	0,02	0,01	0,013
Максимально-разовые ПДК-лес					
2001	0,28	0,014	0,37	0,04	0,091
2002	0,36	0,026	0,28	0,06	0,142
2003	0,16	0,081	0,22	0,11	0,166
2004	0,24	0,081	0,23	0,25	0,095
2005	0,54	0,023	0,83	0,17	0,141
2006	0,73	0,033	0,24	0,08	0,352
2007	0,47	0,197	0,77	0,07	0,387
2008	0,28	0,019	0,50	0,05	0,358
2009	0,11	,025	0,36	0,06	0,500
Число превышений максимально-разовых ПДК-лес					
2001	11	0	219	0	268
2002	15	0	287	4	751
2003	14	0	350	9	278
2004	10	0	182	8	85
2005	34	0	394	9	186
2006	123	0	544	17	444
2007	85	0	541	6	641
2008	19	0	491	4	1113
2009	1	0	255	1	946

Приложение 3

Сводная ведомость состояния древостоев музея-усадьбы «Ясная Поляна» в баллах по годам

Название участка	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1. Старая Абрамовская посадка	2,38	2,76	2,75	2,91	3,09	3,38	3,4	3,42
2. Молодая Абрамовская посадка (послевоенная)	2,13	2,21	1,85	2,03	2,06	2,2	2,01	2,05
3. Чепыж	2,7	2,18	2,57	2,3	2,37	2,28	2,3	2,35
4. Елочки за Чепыжом	1,96	2,02	2,16	2,1	2,26	2,02	2,4	2,5
5. Елочки под Грумантом	2,23	2,27	2,33	2,42	2,55	2,03	2,15	2,2

Приложение 4

(по данным <http://www.znamyuzl.ru/vcentre/322-ekologicheskaya-situaciya-v-tulskoy-oblasti-za-2010-god.html>)

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в Тульской области проводится на 10 стационарных постах: 5 ПНЗ в г. Тула, 3 ПНЗ в г. Новомосковск, 2 ПНЗ на территории музея-усадьбы «Ясная Поляна» на следующие ингредиенты: взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид и оксид азота, сероводород, фенол, аммиак, формальдегид, метанол, бенз(а)пирен, тяжелые металлы (свинец, никель, медь, железо, марганец, хром, цинк).

Характеристики загрязнения атмосферного воздуха по Тульской области за 2010 г. (данные ГУ «Тульский ЦГМС»)

Город	Уровень загрязнения	Вещество	Число отобранных проб	Число случаев выше ПДКм.р.	Число случаев выше 5 ПДКм.р.	Число случаев выше 10 ПДКм.р.
Тула	Высокий	Взвешенные вещества	1966	4	-	-
		Диоксид серы	2736	-	-	-
		Оксид углерода	4552	14	-	-
		Диоксид азота	4555	1	-	-
		Оксид азота	912	-	-	-
		Сероводород	2731	-	-	-
		Аммиак	1819	5	-	-
		Формальдегид	2731	225	-	-
Новомосковск	Высокий	Бенз/а/пирен	24	16	1	-
		Взвешенные вещества	2736	-	-	-
		Диоксид серы	1765	-	-	-
		Оксид углерода	2736	11	-	-
		Диоксид азота	2677	3	-	-
		Оксид азота	1765	-	-	-
		Фенол	912	1	-	-
		Аммиак	1765	32	-	-
музей-усадьба «Ясная поляна»	Очень высокий	Формальдегид	2677	75	-	-
		Бенз/а/пирен	12	8	-	-
		Взвешенные вещества	1458	35*	-	-
		Диоксид серы	2542	-	-	-
		Оксид углерода	5102	29	18	-
		Диоксид азота	5084	253	10	8
		Оксид азота	1086	4	2	1
		Сероводород	3991	-	-	-
		Аммиак	5084	3	-	-
		Формальдегид	5084	2147	310	42
		Метанол	713	78	-	-
		Бенз/а/пирен	12	2	-	-

* ПДК для лесных пород

Средние за месяц концентрации тяжелых металлов ниже ПДК.

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников за 2010г. по прогнозным данным составили 154 тыс.тонн/год, что меньше, чем в 2009г. на 2 тыс. тонн.

75% (1,3 тыс. т) от снижения выбросов связано с банкротством предприятий, а также прекращением производственной деятельности, 25% (0,7 тыс. т) снижения выбросов связано с выполнением предприятиями мероприятий по снижению выбросов:

– ОАО «НАК «Азот» в цехе сложных удобрений в ноябре-декабре 2009г. произведен монтаж и выполнена наладка новых установок очистки газа (абсорбционные установки поз. К57/1, К57/2, К57/3, установки обеспыливания поз. Ф42/1 и поз.Х41/1, поз.Ф42/2 и поз.Х41/2, поз.Ф43/2 и поз.Х43/2), что в 2010 г. привело к снижению выбросов;

– ОАО «Тулачермет» – строительство аспирационных установок литейного двора доменной печи №1 и аспирационной установки бункерной эстакады доменной печи №1 в доменном цехе;

– на ряде предприятий внедрены модульные котельные, позволяющие сократить количество топлива и соответственно выбросы в атмосферный воздух, например, ЗАО «Донская обувь», ЗАО «Этон-Энергетик», ЗАО «Доменик».

Приложение 5

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за 2010 год (ПНЗ.№2 музея-усадьбы «Ясная Поляна». Данные ГУ «Тульский ЦГМС»)

Код	Наименование вещества	Фоновые концентрации				
		штиль	С	В	Ю	З
2902	Пыль	0,49322	0,149030	0,149788	0,149225	0,148974
330	Серы диоксид	0,005827	0,005137	0,005074	0,006888	0,005514
337	Углерода оксид	1,52006	1,520277	1,519821	1,521403	1,520619
301	Азота диоксид	0,057912	0,059115	0,059196	0,061040	0,059068
304	Азота оксид	0,025190	0,025190	0,025190	0,025190	0,025190
303	Аммиак	0,052975	0,052976	0,046157	0,055189	0,066214
1325	Формальдегид	0,035165	0,035875	0,035923	0,035774	0,035848
1052	Метанол	0,377909	0,326215	0,724283	0,724283	0,493959
703	Бенз(а)пирен	2,22*10 ⁻³ мкг/м ³				

Приложение 6



Федеральное агентство лесного хозяйства
(Рослесхоз)
Федеральное государственное учреждение
«Всероссийский
научно-исследовательский институт
лесоводства и механизации
лесного хозяйства»
(ФГУ ВНИИЛМ)

141202, г. Пушкино Московской обл.,
ул. Институтская, 15
тел. 993-30-54; факс: 993-41-91

E-mail: vniilm@mail.ru

от 19.07.11. № 457

Директору музея-заповедника
«Ясная Поляна»

В.И.Толстому

на № _____

К 90-летию музея-заповедника Л.Н.Толстого «Ясная Поляна» к.с.-х.н. В.Д.Касимовым и к.б.н. Д.В.Касимовым готовится к публикации работа по динамике состояния и адаптации мемориальных лесов при многолетнем загрязнении атмосферы (1965-2010 г.г.).

Имеющиеся в распоряжении авторов информация за период 1965-2000 гг. вполне достаточна и оформлена в виде рукописи. Для полноты анализа было бы желательно получить некоторые материалы за период 2001-2010гг.

В связи с этим обращаемся к Вам с убедительной просьбой о предоставлении следующих материалов:

- 1) от отдела охраны среды (Ковальская Е.А.) – динамика значений и превышений (кратность и число случаев) максимально разовых ПДК-лес по 4 наиболее распространенным токсикантам (формальдегид, двуокись азота, аммиак, двуокись серы) по двум постам (№1 и №2);
- 2) от сектора леса (Костюкова И.Ф.) – состояние лесов по шкале «Санитарных правил» по 6 стационарам (Чепыж, Источек, Старая Абрамовская посадка и Молодая Абрамовская (послевоенная) посадки, Елочки под Грумантом и Елочки за Чепыжом).

Выполненная работа будет дополнять монографию «Леса Ясной Поляны», изданную ВНИИЛМом в 2006 г., способствовать разработке методов определения допустимого уровня загрязнения атмосферы и техногенных выпадений на лесные экосистемы, прогнозировать их состояние.

С уважением

И.о. директора ФГУ ВНИИЛМ

 А.А.Мартынюк

*Дмитрий Валентинович Касимов
Валентин Дмитриевич Касимов*

**Динамика состояния и адаптация лесных экосистем
при многолетнем загрязнении атмосферы
в музее-заповеднике Л.Н. Толстого «Ясная Поляна»**

В авторской редакции

Компьютерная верстка
и дизайн обложки *Л.М. Харина*

Подписано в печать 21.07.2013

Формат 60 × 90 1/16

Тираж 100 экз.

Бумага офсетная

Печать офсетная

Печ. л. 6,5

Отпечатано в ФБУ ВНИИЛМ

141200, Пушкино Московской обл., ул. Институтская, д. 15