

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

На правах рукописи
УДК 574:630:561.24:504.3.054

ИВШИН АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ВЕРСОВ НОРИЛЬСКОГО
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА СОСТОЯНИЕ
ЕЛОВО-ЛИСТВЕННИЧНЫХ ДРЕВОСТОЕВ

03.00.16 - экология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Екатеринбург - 1993 г.

Работа выполнена в лаборатории экологии техногенных лесных сообществ Института леса УрО РАН

Научные руководители: доктор биологических наук,
Махнев А.К.,
доктор биологических наук,
Виятов С.Г.

Официальные оппоненты: чл.-корр. РАН, доктор биологических наук,
Ваганов Е.А.
кандидат биологических наук,
Кучеров С.Е.


Ведущая организация: Уральский Государственный Университет
им. Горького

Защита состоится 25.01 1994 г. в 14 часов на заседании специальной комиссии совета Д 002.05.01 по защите диссертаций на соискание степени доктора наук в Институте экологии растений и животных УрО РАН, по адресу: 620219 г. Екатеринбург, ул. 8-е Мартовское, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии растений и животных УрО РАН

Автореферат разослан 23.12 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат биологических наук

 М.Г. Нифонтова

Актуальность темы. Под влиянием техногенного загрязнения атмосферы, особенно в последние десятилетия, отмечается интенсивное повреждение лесов в ряде стран северного полушария. Наибольшую опасность загрязнение атмосферы представляет для лесных экосистем Крайнего Севера, весьма неустойчивых и медленно восстанавливающихся в результате антропогенного воздействия (Пармузин, 1979). В Норильском промрайоне повреждено и погибло около 600 тыс. га лесной растительности, а общая площадь деградирующей растительности в тундре и лесотундре достигла 7,4 млн. га (Власова, Филипчук, 1990).

В связи с этим необходима организация системы лесного мониторинга и разработка его методов для своевременной диагностики повреждений лесов на наиболее ранних стадиях их деградации и прогноза возможных тенденций состояния лесных сообществ. Совместное использование методов актуальной и ретроспективной биоиндикации обеспечивает комплексность исследований, изучение экосистем в динамике за длительные периоды времени, позволяет определить начало отрицательных изменений в них и учесть долгосрочные кумулятивные эффекты при разработке прогнозов.

Дендрохронологические методы в системе ретроспективной индикации и организации системы лесного мониторинга на северном пределе произрастания лесов представляют особый интерес, так как в этих условиях прирост деревьев, а в конечном итоге, состояние и динамика лесных экосистем, во многом определяется климатическими флуктуациями. Без учета этих факторов невозможно провести эффективную и достоверную оценку влияния техногенного загрязнения на древесную растительность (Жукис, 1990).

Целью исследования являлось изучение жизненного состояния и динамики елово-лиственничных древостоев под влиянием атмосферных выбросов Норильского горно-металлургического комбината.

Основные задачи исследования:

1. Выявить диагностические признаки повреждения основных лесобразующих видов лиственниц сибирской (*Larix sibirica* Ldb.), Гмелина (*L. gmelinii* (Ruppr.) Ruppr.), Чекановского (*L. x czekanowskii* Sz.), ели сибирской (*Picea obovata* Ldb.), березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и их информативность при воздействии атмосферных выбросов SO_2 . Разработать шкалу жизненного состояния лиственницы для условий Крайнего Севера.
2. Выявить климатические факторы, обуславливающие погодичную и многолетнюю изменчивость прироста лиственницы и ели, в различных условиях местообитания.
3. Построить регрессионные модели, описывающие связи индексов прироста с климатическими факторами, и на их основе оценить влияние промышленного загрязнения на радиальный прирост лиственницы и ели.
4. Дать пространственно-временную оценку состояния лесных сообществ в зонах с различной техногенной нагрузкой.

Научная новизна:

выявлены морфологические изменения основных лесобразующих видов на северном пределе их распространения под влиянием техногенного загрязнения, дана оценка информативности этих изменений как диагностических признаков. Разработана шкала оценки жизненного состояния лиственниц в притундровых лесах;

- при помощи дендрохронологического метода перекрестной датировки изучена динамика отпада в лиственничных древостоях;

выявлены климатические факторы, лимитирующие радиальный прирост лиственницы и ели в условиях резко континентального климата.

на основе функций отклика, описывающих связь индексов прироста с климатическими переменными, получены регрессионные

урашения, позволяющие рассчитывать ожидаемый прирост в период техногенного загрязнения.

Практическая значимость работы:

разработанная шкала оценки жизненного состояния лиственницы может быть использована при мониторинге за состоянием лиственных лесов на северном пределе их распространения;

показана перспективность использования метода дендрохронологической датировки для изучения динамики отпада в лиственных древостоях;

- полученные данные позволяют использовать радиальный прирост в ретроспективной индикации для определения начала отрицательных изменений в жизнедеятельности дерева и их интенсивности в результате техногенного загрязнения;

- результаты исследований могут быть использованы для разработки нормативов допустимой техногенной нагрузки на экосистемы Крайнего Севера и организации системы мониторинга.

Апробация работы. Результаты исследований обсуждались на Всесоюзных конференциях молодых ученых в Пушкинб(1988 и 1990 гг.; на I Всесоюзном совещании по экологии лесов Севера в Сыктывкаре (1989 г.) и на V Всесоюзной конференции по проблемам дендрохронологии и дендроклиматологии в Свердловске (1990 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и выводов, изложена на 171 страницах, включая 24 таблиц и 10 рисунка; библиография 152 названий.

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

В этой главе рассмотрено фитотоксическое действие двуокиси серы на растительность, основные проблемы диагностики жизненного состояния деревьев и древостоев в условиях атмосферного

загрязнения, использование дендрохронологических методов для ретроспективной оценки состояния древостоев.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ.

Район исследований расположен в западной части плато Путорана (Красноярский край). По схеме лесорастительного районирования эта территория относится к Путоранской провинции лиственничных лесов и редколесий (Назимова, 1969).

По рельефу исследуемая территория неоднородна. Между хребтом Лантокойский камень и основной "стеной" плато Путорана расположена Норильская долина шириной до 50 км с абсолютными отметками до 200 м.

Климат района исследований резко континентальный. Средняя годовая температура воздуха равна $-10,0^{\circ}\text{C}$. Продолжительность вегетационного периода от 40 до 80 дней. В среднем за год выпадает около 500 мм осадков. В теплый период преобладают ветры северного и северо-западного направлений.

Притундровые леса и редколесья сосредоточены в основном в долинах рек и озер, на склонах и невысоких водоразделах. Преобладают леса зеленомошной группы типов леса. Основным лесообразователем является лиственница. Ель и береза чистые древостои образуют лишь на небольших участках. Производительность лесов низкая, преобладают леса V-Va бонитета. Почвы мерзлотно-таежные: неглеевые и глеевые.

С конца 30-х годов в регионе началось техногенное воздействие Норильского горно-металлургического комбината на природную среду, основной продукцией которого является медь, никель и кобальт. До конца 60-х годов в производстве использовалась низкосернистое сырье. После разработки Талнахского месторождения с высокосернистым сырьем выброс в атмосферу сернистого ан-

гидрида значительно возрос. Газоочистные сооружения в этот период отсутствовали. В конце 70-х годов после пуска Надеждинского комбината объем производства резко увеличились и общий объем выбросов сернистого ангидрида достиг в этот период более 2,5 млн. т. в год (Власова, Филипчук, 1990). Во второй половине 80-х годов после строительства газоочистных сооружений и цеха по утилизации серы объем выбросов несколько стабилизировался, но остается еще очень высоким.

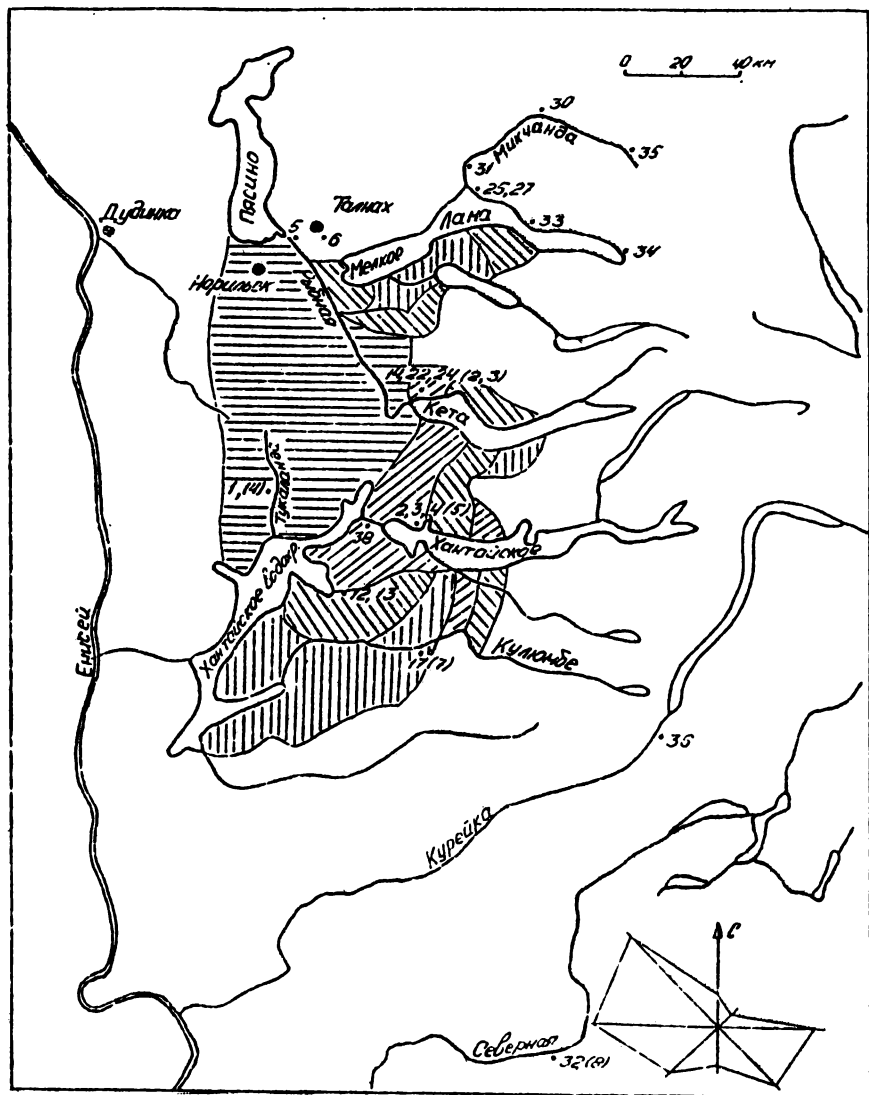
Основным компонентом газообразных выбросов является сернистый ангидрид, который составляет 96-98% от общего количества выбрасываемых газов.

Первые признаки повреждения и гибели лесов в районе Норильска отмечены в 1968 году. К 1989 г. по данным Брянской специализированной лесоустроительной экспедиции погибло более 300 тыс. га древесной и кустарниковой растительности.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.

Для изучения состояния и динамики древостоев была заложена сеть постоянных пробных площадей (ППП) и постоянных учетных площадок (УП) в северо-восточной (наиболее редкая повторяемость ветров в летнее время) и юго-восточном направлениях (основное направление распространения атмосферных выбросов в летний период) от источника выбросов (рис. 1).

Постоянные пробные площади закладывались в соответствии с ГОСТ 16128-70. Большая часть ППП и УП относится к зеленомошной группе типов леса, наиболее широко представленной в районе исследований. На большинстве ППП по запасу в составе древостоя преобладает лиственница, а по числу стволов нередко преобладают ель и береза. Постоянные учетные площадки закладывались для 30 деревьев одного вида в форме круга.







-  дрeвостои погибшие
 -  дрeвостои усыхающие
 -  дрeвостои сильно ослабленные
 -  дрeвостои ослабленные
- местоположение ППП (УП)

Рис. 1. Схема района исследований

Состояние древостоев оценивалось в течение 1986–1990 гг. согласно методическим требованиям "Инструкции по экспедиционному лесопатологическому обследованию лесов СССР" (1983 г.), С 1988 г. параллельно использовалась "Методика по организации и проведению работ по мониторингу лесов СССР" (1987 г.).

В качестве основных показателей повреждения использовалась дефолиация и дехромация кроны. Под дефолиацией понимается потеря хвои/листьев (Z) относительно дерева – эталона, а под дехромацией – доля хвои/листьев в кроне (Z) изменившей цвет.

Кроме этого проводилось детальное описание всех деревьев на пробных площадях с целью выявить морфологические изменения, происходящие под влиянием SO

Ретроспективные оценки проводились дендрохронологическими методами. Для изучения динамики отпада исследовались спилы со всех погибших деревьев на 4-х ППП: 1 (34 шт.), 14 (26 шт.), 24 (24 шт.), 27 (17 шт.). С целью изучения точности дендрохронологической датировки исследовалось 15 модельных деревьев, дата гибели которых документально зафиксирована в результате ежегодных визуальных наблюдений на ППП.

Для построения дендрохронологических рядов в северо-восточном направлении отбор кернов проводили на 5, 6, 25, 27, 30; в юго-восточном на 1, 14, 24 ППП и на 7 и 8 УП. Образцы древесины отбирались с 10–20 деревьев по 1–2 радиусам с дерева. Учитывалась возрастная структура древостоев и их жизненное состояние. На ППП 1, 14, 24, 27 отбирались образцы древесины и с сухостойных деревьев. Образцы древесины были датированы и измерены с точностью до 0,01 мм. Для исключения возрастного тренда применялся "метод коридора" (Шнятов, 1986). Вычисление индексов ширины годовичных колец и их усреднение проводилось по компьютерным программам INDEXA и CNRL, разработанным в лабора

тории дендрохронологии Института экологии растений и животных УрО РАН В.С. Мазепой. Обобщенные дендрохронологические ряды построены для 10 участков. Номер ряда соответствует номеру пробной площади. Ряд 25 построен по ели, остальные по лиственнице. Всего было получено 20 дендрохронологических рядов для деревьев различных категорий жизненного состояния и 2 генерализованных ряда, использованных для реконструкции климата.

Каждая из обобщенных хронологий, построенная по живым деревьям, была испытана на наличие значимой автокорреляции путем использования модели авторегрессии и/или скользящего среднего (ARMA, AR, MA) (Box, Jenkins, 1976).

После этого проводилось выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на прирост. Для этой цели использовалась модель множественной линейной регрессии на переменных в осях главных компонент (Fritts, 1986; Cook, 1987). Обработка велась по программе RESPO, разработанной в лаборатории изучения древесных колец Аризонского университета США (Lough, 1983). Функции отклика были получены для периода с 1901 по 1960 гг. и для двух равных периодов с 1901 по 1930 и с 1931 по 1960 гг., используемых для проверки устойчивости связей (Fritts, 1986).

При сохранении значимой и достоверной связи в пределах верификационных периодов калибрационные уравнения за период с 1901 по 1960 гг. применяли для прогнозирования прироста деревьев в период с 1961 по 1986-1989 гг. с использованием соответствующих климатических данных.

Прогнозируемые и фактические индексы прироста за эти временные интервалы затем сравнивались между собой для установления того, существенно или нет различия между ними. На этой основе делались заключения о начале и интенсивности воздействия поллютантов на древесную растительность.

ГЛ. 4. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ.

При изучении жизненного состояния деревьев основное внимание обращалось на морфологические изменения, происходящие под влиянием загрязнителей.

Для лиственницы, как и для других лесообразователей, в первую очередь наиболее информативным и стабильным признаком является дефолиация, связанная с отмиранием ветвей и, соответственно, снижением густоты кроны. Остальные признаки следует использовать лишь для корректировки жизненного состояния деревьев. Для молодых и средневозрастных деревьев характерно прежде всего усиленное образование ауксибластов на стволе дерева. Как правило, после начала этого процесса в зоне сильного загрязнения дерево отмирает в течение 2-4 лет. У перестойных деревьев образования ауксибластов на стволе перед гибелью обычно не наблюдается. Такой показатель, как дехромация, является информативным лишь в первой половине вегетационного сезона. В случае полной дехромации в этот период дерево усыхает уже на следующий год. Наличие дехромации в виде слабого хлороза или некрозов кончиков хвоинок свидетельствует о тенденции к усыханию отдельных ветвей на следующий год. Около половины таких деревьев погибает в течение ближайших 3-4 лет. Часто дехромация наблюдается лишь на отдельных ветвях, особенно у перестойных деревьев. В этом случае повреждение может вызвать усыхание этих ветвей в последующие годы, однако резкого ухудшения состояния дерева может не происходить. При наличии даже полной дехромации во второй половине вегетационного сезона, особенно в начале августа, дерево на следующий год может выглядеть совершенно здоровым. Характерным признаком сильно ослабленных и усыхающих деревьев является запаздывание в сроках начала вегетации и уменьшение размеров хвои. Деревья, запаздывающие в ве-

гетационном развитии от основной массы деревьев в древостое примерно на неделю или имеющие укороченную на 2/3 хвою от типичной для данного древостоя, обычно усыхают или в текущий или на следующий год.

На основании проведенных наблюдений за состоянием деревьев на ППП в течение 5-летнего периода стало возможным разработать шкалу оценки жизненного состояния для лиственницы. При ее разработке старались совместить уже существующую и общепринятую в нашей стране методику ("Draft manual...", 1986) с полученными результатами натурных обследований. В качестве диагностических признаков использовались вышеописанные морфологические изменения с учетом сроков наблюдения за состоянием древостоев. Использование многолетних данных о изменении состояния деревьев позволяет надеяться, что шкала будет обладать высокой прогнозной информативностью.

У ели дефолиация кроны связана прежде всего с сокращением срока жизни хвои. Довольно сильная дефолиация наблюдается у ели, произрастающей в горных условиях, несмотря на значительную удаленность от источника выбросов (150-250 км). Ель в данных условиях находится на границе своего ареала, поэтому причиной дефолиации может быть сочетание крайне неблагоприятных условий среды с хроническим воздействием загрязнителей. Изменение окраски хвои у ели значительно лучше согласуется с жизненным состоянием деревьев, в отличие от лиственницы.

Для еловых древостоев, произрастающих в пониженных местах с большим скоплением снега в зимний период, под влиянием загрязнения наблюдается сильное разрастание plagiotропных ветвей. Процессы новообразования ветвей из спящих почек, описанные многими исследователями (Schutt, Cowling, 1985; Chestman, Lesinski, 1985, 1986), выражены недостаточно для использования

их в качестве диагностического признака.

У березы дефолиация проявляется в изреживании кроны с появлением сухих ветвей в верхней ее части. Визуально хорошо заметно уменьшение размеров листьев, особенно на концах побегов. В последствии у молодых деревьев в нижней части ствола обильно появляются устойчивые к загрязнению воздуха побеги. Старые деревья обычно усыхают полностью. Использование дехромации также как и в случае с лиственницей является достаточно информативным лишь в первой половине вегетационного сезона. Наличие дехромации у старых деревьев, не обладающих высокой регенерационной способностью, свидетельствует о начавшемся процессе усыхания. Молодые деревья даже с полностью некротированной листвой в течение вегетационного сезона способны к повторному распусканию листьев.

ГЛАВА 5. ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ И ИХ ДИНАМИКА.

Исследования показали, что устойчивость древостоев прежде всего связана с плодородием почв, на которых они произрастают, а также со степенью их влагообеспеченности. Наиболее устойчивыми оказываются высокопродуктивные пойменные леса. Количество деревьев лиственницы 4-6 категории жизненного состояния в них (за 4-летний срок наблюдений с 1987 г.) увеличилось лишь на 3%, ели на 5%, а в наименее устойчивых лесах и редколесьях, произрастающих на склонах и невысоких водоразделах, количество деревьев лиственницы этих категорий за 5-летний срок наблюдений с 1986 г. возросло почти на 20%, ели от 6 до 22%, березы до 22%. В то же время лиственница в редколесьях, произрастающая на торфянистых переувлажненных почвах, несмотря на малое их плодородие, оказывается достаточно устойчивой к загрязнению атмосферы. Количество деревьев лиственницы 4-6 категорий (за 5

лет) увеличилось лишь на 4%, ели на 17%.

Устойчивость древостоев снижается с их возрастом. Так, в западной части оз. Кета лиственничные древостои с преобладанием в их составе перестойных деревьев находятся в усыхающем состоянии, тогда как средневозрастные в ослабленном.

Наблюдениями установлено, что неблагоприятные климатические условия вегетационного сезона прошлого года способствуют увеличению отпада в древостоях. После холодного лета 1989 г. зафиксирован максимальный отпад лиственницы за все годы наблюдений на 80%, ели на 70% пробных площадей.

Таким образом, можно сделать вывод о постоянно ухудшающемся состоянии лесных сообществ, несмотря на некоторую стабилизацию выбросов НГМК в последние годы. Наибольшие повреждения лесов наблюдаются в долинах рек Норилка, Рыбная, озер Мелкое, Мал. Хантайское и Хантайского водохранилища, где лиственничная часть древостоя находится в состоянии усыхания.

Обследование лесов показало относительную устойчивость ели по сравнению с лиственницей и березой. Практически на всех пробных площадях наиболее высокий отпад у лиственницы и березы. В наиболее поврежденных древостоях ежегодно усыхает до 5% деревьев лиственницы от общего количества деревьев на пробной площади, березы - до 8%, в то время как отпад ели очень редко превышает 2%.

ГЛАВА 6. ДИНАМИКА ОТПАДА ЛИСТВЕННИЦЫ В ДРЕВОСТОЯХ.

При исследовании спилов с деревьев, дата гибели которых была документально зафиксирована в результате ежегодных наблюдений за состоянием древостоев на ППП, оказалось, что дендрохронологическая датировка времени гибели деревьев выполняется с точностью от 1 до 5 лет. На 2/3 высоты ствола откладывается на

2-3 кольца больше, чем у его основания. Количество годичных колец, образовавшихся в последние годы жизни и не поддающихся точной датировке из-за слабой их изменчивости и наличия выпадающих колец, не превышает 4-6 шт. Последние 2-3 кольца проявляются, как правило, на ограниченных участках спила. При анализе всех отобранных спилов оказалось, что заболонная древесина удовлетворительно сохраняется до 30 лет, что позволяет сохранить полученную точность датировки в течение этого периода. В тех случаях, когда дерево усохло в более ранние периоды времени, заболонная древесина сохраняется в удовлетворительном состоянии лишь на ограниченных участках спила, и точность датировки может снижаться до 10 лет. Однако, точность датировки гибели дерева в 1-5 лет вполне достаточна для изучения динамики отпада в древостоях за 30 - летний период (с начала 60-х годов).

Для определения величины естественного отпада проводилось обследование условно здоровых древостоев в районе Верхне-Кульмбинских озер. По степени сохранности древесины сухостойных деревьев (прежде всего заболонной ее части) сделан вывод, что в течение по крайней мере последних 20 лет естественный отпад деревьев лиственницы не мог превышать в этом районе 0,5% в год.

Результаты датировки показали, что отмирание деревьев в результате воздействия атмосферного загрязнения началось с начала 70-х годов в юго-восточном направлении (ППП 1 и ППП 14) и с конца 70-х годов в северо-восточном направлении (ППП 27) (рис. 2). Более молодые древостои оказываются более устойчивыми: на ППП 24 (средний возраст 115 лет) увеличение отпада произошло на 5 лет позже, чем на ППП 14 (235 лет) и абсолютные величины отпада значительно ниже. Наиболее резкое увели-

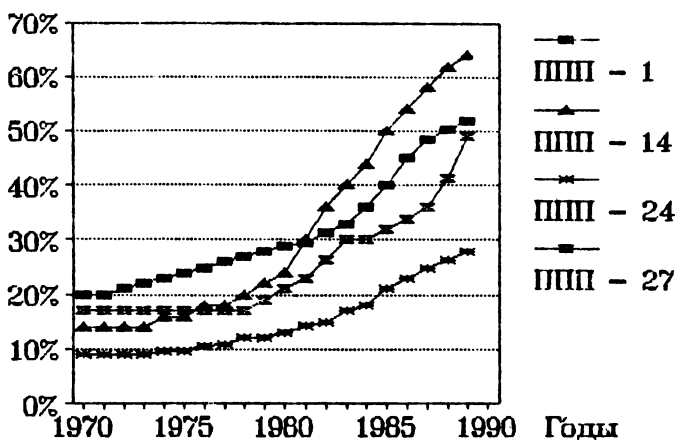


Рис. 2. Отпад деревьев на ППП (в % к общему количеству деревьев на пробной площади)

чение отпада на всех ППП произошло в конце 70-х и в начале 80-х годов, что связано с пуском Надеждинского комбината. Древоостой, расположенные в юго-восточном направлении, имеют сходные тенденции в величине отпада по годам, тогда как на ППП 27 наблюдается снижение отпада в 1984-1986 гг., а также резкое увеличение отпада в 1988-1989 гг., что, видимо, свидетельствует о значительных колебаниях в пространственном распределении атмосферных загрязнителей в связи с изменением ветрового режима в отдельные годы.

За последние 10 лет отпад увеличился в 3-16 раз по сравнению с предыдущим десятилетием. При сохранении существующей тенденции к постоянному увеличению отпада следует в последующее пятилетие ожидать перехода сильноповрежденных древоостоев в усыхшие, а ослабленных в усыхающие.

Количество сухостоя, накопившегося в древоостое в результате

естественного отпада в период до 1970 г., составляет от 9% на ППП 24 и от 14 до 20% на ППП 1, 14 и 27. Наиболее старые из сухостойных деревьев погибли еще в начале 18-го века, то есть, усохшие деревья могут находиться на корни более 150 лет.

При определении даты гибели деревьев фиксировался также год, когда произошло наиболее резкое снижение прироста и дальнейшая датировка годичных колец стала невозможной из-за очень небольшой их величины. Подобное снижение радиального прироста наблюдается у деревьев 4 и части деревьев 3 категорий жизненного состояния. Резкое снижение прироста у части деревьев и, соответственно, ухудшение их жизненного состояния началось еще с 1967 г., и доля таких деревьев увеличилась до 38-50% в 1978 г., после чего их доля увеличилась до 79-88% в течение двух лет с 1979 по 1980 г. Это также свидетельствует о самых неблагоприятных последствиях для лесов данного региона пуска Надеждинского комбината.

ГЛАВА 7. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ЛИСТВЕННИЦЫ И ЕЛИ.

Все обобщенные и генерализованные ряды обладают высокой чувствительностью - коэффициент чувствительности от 0,34 до 0,59. Обобщенные ряды по лиственнице обладают синхронностью от средней до очень высокой (от 75 до 91%). Синхронность между рядами по лиственнице и рядом по ели от средней до высокой (от 74 до 84%). Значения коэффициента корреляции между рядами по лиственнице колеблются от 0,61 до 0,92. Для рядов по лиственнице и ряда по ели значения коэффициента корреляции более низкие, чем между рядами по лиственнице (от 0,55 до 0,68).

Исследование автокорреляции показало, что в большинстве случаев авторегрессия имела в рядах (для 7 дендрохронологич-

ческих рядов из 10 была подобрана модель AR(3), для 2 рядов модель - AR(1) и для 1 ряда модель (AR(5)). Автокорреляция значительно возрастает в периоды с высокой июньской температурой и вследствие этого ряды по этому показателю не являются в полной мере стационарными. При дальнейшем анализе использовались серии, в которых автокорреляция не была исключена.

Для установления статистических связей между дендрохронологическими рядами и климатическими переменными использовались данные метеостанций Дудинка и Туруханск

Установленные значения коэффициента детерминации r^2 оказались значимыми, как для периода с 1901 по 1960 гг., так и для верификационных периодов ($p < 0.05$). По этому показателю имелось некоторое различие для разных участков и для различных местобитаний. С удалением от г. Норильска на юг связи становились более слабыми. Среднее r^2 для всех обобщенных рядов по лиственнице - 0,65.

Для всех функций отклика характерны прежде всего достаточно низкие регрессионные коэффициенты для средней месячной температуры июня (рис. 3). Это объясняется прежде всего низкими средними месячными температурами этого месяца и значительным их варьированием по отдельным годам (от $-0,6$ °C до $+12,5$ °C). В связи с тем, что в 1901-1930 гг. средняя температура июня была ниже, чем в 1931-1960 гг. ($4,3$ °C и $6,1$ °C, соответственно), роль июньских температур в период с 1931 по 1960 гг. значительно возросла. В то же время в 1931-1960 гг. за счет возрастания роли июньских температур несколько снизилась роль июльских температур.

Как правило, корреляция индексов прироста несколько возрастает с суммой июньских и июльских температур (максимальное значение 0,68). Для рядов по лиственнице корреляция значитель-

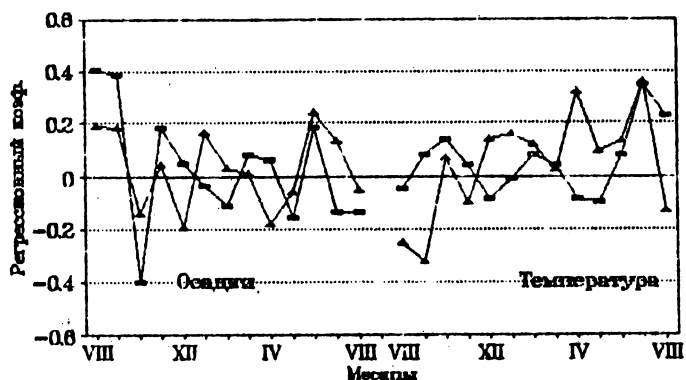
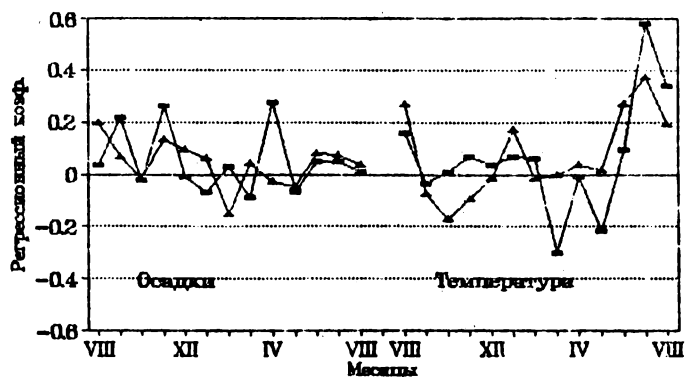


Рис. 3. Функция отклика индексов прироста мирини годичных колец: а) дендрохронологический ряд 5 (лиственница), б) дендрохронологический ряд 25 (ель): \blacksquare - для периода с 1901 по 1930 гг., \blacktriangle - для периода с 1931 по 1960 гг

но увеличивается, если произвести усреднение индексов прироста и температур по 5-летиям, что особенно проявилась для температур июня и суммы июньских и июльских температур. Максимальное значение коэффициента корреляции для температур июня составило - 0,77, для температур июля - 0,78, а для суммы температур июня и июля - 0,86. Это позволило выполнить реконструкцию суммы

температур июня и июля за 1620-1900 гг. для генерализованного ряда по лиственнице. Оказалось, что средняя температура июня и июля за 1983-1987 гг. была максимальной за весь период выполненной реконструкции, что может быть следствием уже начавшегося глобального потепления климата в результате увеличения концентрации двуокиси углерода в атмосфере.

Роль августовских температур относительно невелика и возрастает лишь в периоды с низкими июньскими температурами. Обычно сезонный рост у лиственницы заканчивается в первой декаде августа, однако в неблагоприятные годы с низкими июньскими температурами окончание роста колец сдвигается на более поздний срок и относительный вклад августовских температур в величину сезонного прироста оказывается значительным.

Для рядов 30 и 8, полученных с участков, расположенных в горной части плато в долинах рек Микчанда и Северная, следует отметить положительные значимые регрессионные коэффициенты для зимних температур с декабря по февраль.

Относительно стабильными были связи индексов прироста с осадками августа, а также сентября прошлого года. В некоторых случаях коэффициенты регрессии между этими переменными, особенно для периода с 1931 по 1960 гг. были выше, чем с остальными климатическими переменными. Связано это с условиями увлажнения мерзлотных почв (Поздняков, 1963). В условиях относительно засушливого климата и многолетнемерзлотных грунтов большую роль для древесных растений играет влага предыдущих лет, законсервированная в мерзлотном слое. Осадки августа-сентября, составляющие в годовом балансе осадков до 30%, играют важную роль в пополнении запасов влаги в почвенном слое. Роль осадков августа-сентября прошлого года значительно снижается в современный период с 1961 г. Причиной такой нестабильности связей

может быть подкисление осадков двуокисью серы даже на очень большом удалении от комбината, либо изменение существующих связей с климатическими факторами, вызванное увеличением общего количества осадков.

У ели имеется много общего в реакции на климатические факторы с лиственницей, хотя существующие различия в сроках вегетации между елью и лиственницей сказываются и на соответствующие связи с климатическими факторами (рис. 3б). В связи с тем, что ель имеет более короткий вегетационный период, чем лиственница (прежде всего запаздывание начала вегетации до двух недель), основным лимитирующим фактором для ели являются июльские температуры. Для ели характерны более тесные связи с осадками августа-сентября прошлого года.

Для большинства рядов по лиственнице верификация калибрационного уравнения с использованием температур июня и июля показывает достаточно стабильные связи, позволяющие использовать для калибрации период с 1901 по 1960 гг. Нарушение стабильности связей, прежде всего по коэффициенту детерминации наблюдается для рядов, полученных для многоснежных участков. Это вызвано низкими температурами июня в период с 1901 по 1930 гг. Вегетация в годы с холодной весной на таких участках задерживается до начала июля и роль июньских температур плохо выражена. Однако, в современный период (с 1961 г.) средняя месячная температура июня была близка к средней месячной температуре июня в 1901-1960 гг. (4,92 °С и 5,22 °С), поэтому можно сделать заключение, что связи индексов прироста с температурами июня и июля, как в пределах верификационных периодов, так и во время калибрационного периода будут близки к таковым в современный период.

Для дендрохронологического ряда по ели 25 связи в пределах

верификационных периодов более стабильные, чем для рядов по лиственнице. Это определяется тем, что температура июля (основной лимитирующий фактор для ели) во все рассматриваемые периоды, была примерно одинаковой.

Полученные уравнения были использованы для определения величин прироста за прогнозируемый период с 1961г.. Для установления сходства между фактическими и предсказанными индексами прироста использовались стандартные математические критерии широко применяемые в дендрохронологии (Fritss, 1976).

Оказалось, что в подавляющем большинстве случаев испытания по t -критерию показали достоверное различие между средними значениями прогнозируемых и фактических индексов прироста. Нулевая гипотеза принята лишь для ряда с самой южной УП 8, расположенной в 320 км. от г.Норильска. Прогнозируемый прирост в этом случае оказался даже несколько выше фактического.

Результаты испытаний, когда сравнивалась ковариация между прогнозируемыми и фактическими индексами прироста, менее однозначны. Нарушение связи отмечено лишь для рядов, полученных с участков, где имелись визуальные признаки повреждения деревьев. Для рядов с участков, где древостои не имели визуальных признаков повреждения, а также для ряда по ели наблюдалось даже некоторое повышение ковариации.

Использование критерия знаков показало, что в большинстве случаев наблюдаются различия в трендах между фактическими и спрогнозированными индексами прироста. Не обнаружено различий в трендах лишь для ряда с самой северной ППП 30 и самой южной УП 8.

Анализ графиков (рис. 4) позволяет предположить, что реакция прироста на промышленное загрязнение началась практически на всех ППП с 1965-1970 гг. Неблагоприятные климатические условия

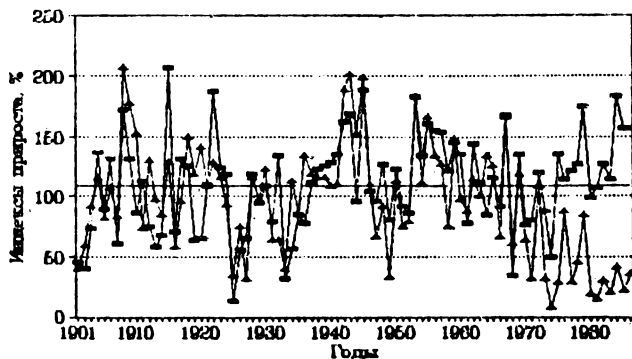


Рис. 4. Сравнение фактических и расчетных индексов прироста для обобщенного дендрохронологического ряда 14: ▲ - фактические индексы прироста, ■ - расчетные индексы прироста.

конца 60-х - начала 70-х годов могли усилить действие атмосферного загрязнения на прирост деревьев. В условиях хронического загрязнения аномалии в приросте деревьев наблюдаются в течение последних 15-20 лет при отсутствии визуальных признаков повреждения. Однотипная реакция прироста наблюдается у деревьев разных категорий жизненного состояния, произрастающих в довольно неблагоприятных условиях местообитания, причем нет каких-либо различий и между разными возрастными категориями деревьев. Деревья, произрастающие в более благоприятных условиях местообитания, показывают более дифференцированную реакцию прироста на загрязнение. Это подтверждает вывод о том, что высокопродуктивные древостои обладают более высокой устойчивостью.

Исследование прироста ели показало, что средняя норма прироста в 60-х годах ниже, чем у лиственницы, а в 70 и 80-х, наоборот, значительно выше. Для объяснения этих фактов можно выдвинуть следующие гипотезы: 1) Так как визуальные признаки по-

вреждения у ели проявляются раньше, чем у лиственницы, прирост ели раньше среагировал на загрязнение; 2) За счет интенсивного отмирания лиственничной части древостоя в последние два десятилетия ель перестала испытывать конкуренцию со стороны лиственницы и получила дополнительные возможности для сопротивления нарастающей нагрузке; 3) Климатические условия в этот период были более благоприятными для роста ели, чем для лиственницы. Температура июля, в основном лимитирующая рост ели, в последние десятилетия была самой высокой за текущее столетие, тогда как температура июня, роль которой велика для роста лиственницы, сохранялась на уровне многолетней.

Заключение:

В результате проведенных исследований выявлено, что начало деградации лиственничных древостоев в результате загрязнения атмосферы относится к второй половине 60-х - началу 70-х годов и усугублено неблагоприятными климатическими условиями в отдельные годы этого периода. Наиболее катастрофические последствия для лесов региона имел пуск Надеждинского комбината в конце 70-х годов. В настоящее время активно идет деградация лиственничников в Норильской долине и непосредственно примыкающих к ней территориях на расстоянии до 150 км. в юго-восточном направлении и до 80 км. в северо-восточном направлении от источника выбросов. Аномалии в приросте деревьев наблюдаются даже в наиболее устойчивых к загрязнению пойменных древостоях при отсутствии визуальных признаков повреждения на расстоянии до 120 км. в юго-восточном направлении и до 100 км. в северо-восточном направлении от источника выбросов, и начало этих изменений также относится к концу 60-х - началу 70-х годов. При этом потери прироста достигают 30-50% от нормы и при-

ближаются к критическому уровню после чего последует резкое ухудшение их жизненного состояния. Результаты дендрохронологических исследований позволяют предположить, что зона поврежденных лесов значительно обширнее, чем зафиксированная Брянской специализированной лесоустроительной экспедицией при помощи аэрокосмических и наземных методов мониторинга.

При неблагоприятных климатических условиях вегетационного сезона, особенно повторяющихся в течение нескольких лет, следует ожидать быстрой деградации древостоев в зоне хронического загрязнения. Для стабилизации обстановки в регионе следует сократить объем выбросов диоксида серы в конце июня и июля до уровня середины 60-х годов (безотлагательно объем выбросов должен быть сокращен до уровня конца 70-х годов, т.е. до начала пуска Надеждинского комбината). В первую очередь следует обратить внимание на сокращение объемов выбросов при ветрах юго-западного и западного направлений (при редкой их повторяемости в летнее время), что позволит без крупных капиталовложений сохранить древостой в районе г. Талнаха и оз. Лама, имеющие важное рекреационное значение.

Выводы:

1. При оценке жизненного состояния лесобразующих видов в притундровых лесах должна учитываться прежде всего дефолиация кроны. Для ели важна также и декорация кроны.
2. Исследования показали относительную устойчивость ели к загрязнению атмосферы по сравнению с лиственницей и березой. Одной из причин этого, являются более благоприятные климатические условия для роста ели в последние десятилетия, чем для лиственницы и березы.
3. Рост лиственницы в регионе лимитируется температурами июня-июля текущего года, а также осадками августа-сентября прошлого

года; в периоды с невысокой температурой июня ее роль заметно снижается. Для горных условий значительную роль играют температуры наиболее холодных зимних месяцев. Для ели, в связи с более поздним началом вегетации, роль июньских температур выражена слабее, чем для лиственницы, но более велика роль осадков августа-сентября прошлого года.

4. Дендрохронологические методы являются перспективными для ранней диагностики техногенных загрязнений и могут занимать важное место в системе лесного мониторинга притундровых лесов.

5. Состояние древостоев в условиях атмосферного загрязнения значительно усугубляется в периоды с неблагоприятными климатическими условиями. Климатические условия 80-х годов были наиболее благоприятными для произрастания древесной растительности, и если бы не это обстоятельство, деградация лесов протекала бы с большей интенсивностью.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Ившин А.П., Менщиков С.Л. Оценка влияния промышленных выбросов Норильского горно-металлургического комбината на радиальный прирост лиственницы сибирской. // Молодые ученые лесному хозяйству. М., 1989. С. 52-53.
2. Менщиков С.Л., Ившин А.П. Динамика состояния елово-лиственничных насаждений, подверженных воздействию двуокиси серы на юге Таймира. // Экология лесов севера. - Сыктывкар, 1989. - Т.2. - С. 4-5.
3. Менщиков С.Л., Ившин А.П., Сродных Т.Б., Василюк Л.В. Влияние промышленных выбросов на притундровые леса. // Проблемы использования, воспроизводства и охраны лесных ресурсов. - Йошкар-Ола, 1989. - Т.2. - 146-148.

4. Ившин А.П. Датировка времени-гибели деревьев лиственницы в древостоях, подверженных воздействию промышленных выбросов на Таймыре. // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. Свердловск, 1990а. С.70-71.
5. Ившин А.П. Использование дендрохронологических методов при изучении динамики отпада в древостоях, подверженных воздействию промышленных загрязнений на Таймыре. //Совершенствование научного обеспечения лесохозяйственного производства. Пушкино, 1990б.С.123.
6. Ившин А.П. Оценка влияния атмосферных выбросов на радиальный прирост лиственницы в условиях лесотундры. //Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. Свердловск, 1991. С. 87-92.
7. Ившин А.П. Дендроиндикация промышленных загрязнений в древостоях с преобладанием лиственницы на юге Таймыра.//Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения. Екатеринбург:Наука. Урал. отделение, 1992. С. 59-63.

ПОДПИСАНО К ПЕЧАТИ 14.09.93г. ФОРМАТ 60x84 1/16
ОБЪЕМ 1,0 ПЛ. ТИРАЖ 100 ЗАКАЗ 884

ЦЕХ № 4 АОТ "ПОЛИГРАФИСТ"
ЕКАТЕРИНБУРГ, ТУРГЕНЕВА,20