

Д 2004
1260

№ 10

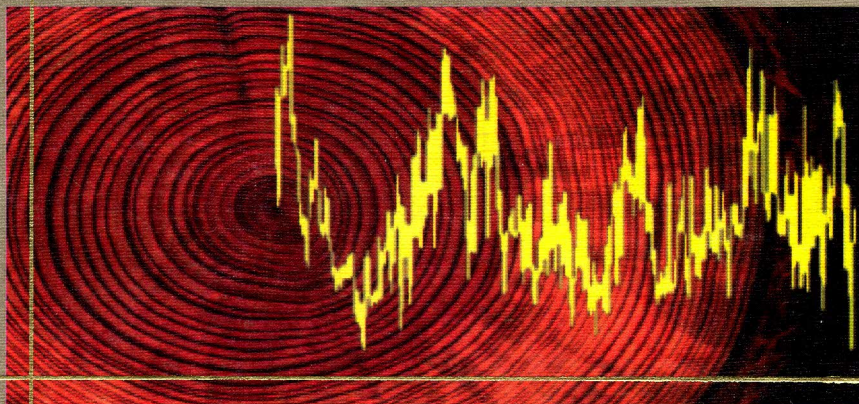
+

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

БИОИНДИКАЦИЯ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА



ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Вып. 10 | 2006

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ СО РАН

Вып. 10

SB RAS INTEGRATE PROJECTS

Issue 10



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ
ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ
ИНСТИТУТ БИОФИЗИКИ
ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В. Н. СУКАЧЕВА
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Г. И. БУДКЕРА

**БИОИНДИКАЦИЯ
СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА**

Под общей редакцией
члена-корреспондента РАН В. В. Зуева



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
2006

1560
111

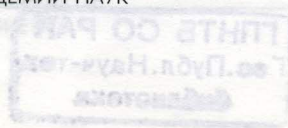
ИНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Биоиндикация стратосферного озона: под общей ред. В. В. Зуева. Новосибирск: ИГиЛ СО РАН, 2006. — 228 с. — (Информационные материалы СО РАН).

В монографии рассматривается биоиндикационная методика исследования стратосферного озона, основанная на измерении биологического отклика на изменение концентрации озона в стратосфере. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния стратосферного озона на биологические объекты. Дано описание методов измерения биологического отклика на изменение концентрации озона в стратосфере. Рассмотрены возможности применения биологической индикации для мониторинга состояния стратосферного озона. Приведены результаты исследований влияния стратосферного озона на биологические объекты. Дано описание методов измерения биологического отклика на изменение концентрации озона в стратосфере. Рассмотрены возможности применения биологической индикации для мониторинга состояния стратосферного озона.

Книга посвящена биоиндикации стратосферного озона. В ней описаны методы измерения биологического отклика на изменение концентрации озона в стратосфере. Рассмотрены возможности применения биологической индикации для мониторинга состояния стратосферного озона. Приведены результаты исследований влияния стратосферного озона на биологические объекты. Дано описание методов измерения биологического отклика на изменение концентрации озона в стратосфере. Рассмотрены возможности применения биологической индикации для мониторинга состояния стратосферного озона.

1560
111



Д 2004

1260

№ 10

УДК 551.5+504
ББК 26.23+28.57
Б63

Редакционная коллегия серии:

академик В. М. Титов (главный редактор), академик Ю. И. Шокин, член-корреспондент РАН
В. И. Евсиков, член-корреспондент РАН В. Н. Опарин, член-корреспондент РАН В. А. Ламин,
кандидат геолого-минералогических наук В. Д. Ермиков (ответственный секретарь)

Серия основана в 2003 г.

Биоиндикация стратосферного озона/ под общей. ред. В. В. Зуева ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т оптики атмосферы [и др.]. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. — 228 с. — (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 10).

В монографии рассматриваются биоиндикационные методы исследования стратосферного озонового слоя, основанные на значимом биосферном отклике на внешнее воздействие солнечной ультрафиолетовой радиации в диапазоне УФ-В. Представлены характеристики стратосферного озонового слоя и общего содержания озона в атмосфере. Дано описание пространственно-временного распределения поля солнечной УФ-радиации. Рассмотрены механизмы воздействия УФ-В радиации на растительность. Приведены результаты экспериментального моделирования воздействия УФ-В радиации на культурные растения и численного моделирования отклика древесно-кольцевых хронологий на УФ-В воздействие. Проведен корреляционный анализ временных изменений общего содержания озона и различных параметров древесных годовичных колец, а также других биосферных параметров. Дано описание метода и приведены результаты достоверной реконструкции многовекового поведения общего содержания озона с использованием дендрохронологических данных. Рассмотрено влияние долгопериодных колебаний стратосферного озона на глобальные климатические изменения.

Книга представляет интерес для специалистов в областях климатологии, атмосферной радиации, геоэкологии, биофизики и биохимии растений.

Утверждено к печати

Ученым советом Института оптики атмосферы СО РАН

Рецензенты:

член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор С. Д. Творогов
доктор биологических наук, профессор А. М. Данченко
доктор биологических наук Е. Е. Тимошок

Авторы:

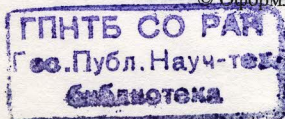
Агеев Б. Г., Баженова В. В., Бенькова А. В., Бондаренко С. Л., Бондаренко М. А., Бочаров А. Ю., Ваганов Е. А., Володкович А. В., Дегерменджи А. Г., Золотарев К. В., Зуев В. В., Зуева Н. Е., Михалев А. В., Нестеренко Т. В., Николаева С. А., Савчук Д. А., Салосина В. В., Сапожникова В. А., Силкин П. П., Ташилин М. А., Тихомиров А. А., Ушакова С. А., Черниговская М. А., Шалин А. Ю., Шапоренко А. Д., Шашкин А. В., Шихов В. Н.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта № 95

«Исследование состояния озонового слоя и УФ солнечной радиации в Сибири на основе синтеза оптических, биоиндикационных и аналитических методов»

ISBN 5-7692-0879-1 (вып. 10)
ISBN 5-7692-0669-1

© Коллектив авторов, 2006
© Институт оптики атмосферы СО РАН, 2006
© Институт солнечно-земной физики СО РАН, 2006
© Институт биофизики СО РАН, 2006
© Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2006
© Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, 2006
© Оформление. Издательство СО РАН, 2006



74 ³ / 2007

ного района. То есть оно отражает общие механизмы взаимодействия окружающей среды и древесных экосистем, и в этом плане его можно рассматривать как новый дендрохронологический параметр.

Временная изменчивость остаточной концентрации углекислого газа в ксилеме пихты значимо связана с общим содержанием озона и шириной годичных колец, что позволяет использовать этот параметр для изучения вопросов физиологии стресса у хвойных, а также для индикации изменений уровня стратосферного озона.

5.3. СКАНИРУЮЩИЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ В ДРЕВЕСИНЕ

Макро- и микроэлементы играют важную и многообразную роль в жизни древесных растений. Они входят в состав сложных органических соединений, необходимых для построения древесного растения, или играют роль регуляторов жизненных процессов в клетках. Макро- и микроэлементы поступают из почвы в корни и далее транспирационным потоком доставляются в надземные органы деревьев, где происходит их ассимиляция. Другой путь поступления элементов проходит через фотосинтетический аппарат деревьев в процессе газообмена с окружающей средой. Таким образом, благодаря поступлению химических элементов и ассимиляции их древесным растением, с одной стороны, и последовательному построению годичных колец — с другой, происходит непрерывная регистрация элементного состава места обитания дерева в клеточной структуре его годичных колец. Древесина в момент своего возникновения консервирует в себе элементный состав текущего окружения, поэтому, сопоставляя данные элементного состава с дендрохронологической датировкой, можно восстановить биохимическую и геохимическую историю локального окружения дерева.

Одним из интенсивно развиваемых направлений в последнее время является применение различных инструментально-аналитических методов к анализу состава годичных колец ксилемы. Полученная таким образом аналитическая информация нуждается в датировании параметров колец стандартными дендрохронологическими приемами. К числу таких методов можно отнести ионную масс-спектроскопию [Martin et al., 1998, 2001], рентгенофлуоресцентный анализ (в том числе и с использованием синхротронного излучения (СИ)) [Gilfrich et al., 1991; Martin et al., 1998, 2001], ICP-AES и нейтронно-активационный анализ. Как правило, в работах с использованием аналитических методов декларируется экологический мониторинг лесных районов, но часть работ посвящается исследованию связей элементного состава древесины с климатом и с внутренними физиологическими процессами роста деревьев.

В настоящее время вопросы накопления элементов в древесине в момент ее роста и развития и их подвижности остаются не достаточно хорошо изученными. Но, несмотря на продолжающуюся дискуссию о связи элементного состава годичного кольца с составом локального окружения дерева в момент зарождения этого кольца, большинство исследователей все-таки склоняются к тому, что такая связь существует.

Для изучения этой проблемы проведено несколько экспериментов по сканирующему рентгенофлуоресцентному анализу сегментов спилов пихты и ели, взятых

у живых деревьев, произрастающих в радиусе 40 км от г. Томск. Количество колец исследуемых сегментов пихты составляет от 80 до 120 шт., ели — от 100 до 120 шт.

Краткий обзор современного состояния

В [Martin et al., 1998, 2001] производился анализ годовичных колец различных пород деревьев (ель черная, сосна красная) методами вторичной ионной масс-спектропии и рентгенофлуоресцентного анализа с использованием СИ (накопитель NSLS, Брукхевен, США). В работе [Martin et al., 2001] производилось одномерное сканирование образца ели черной с шагом ~ 20 мкм. Были получены профили распределения Na, Al, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu и Zn. Продемонстрирован сезонный контраст содержания различных элементов в годовичных кольцах. Оценки коэффициента диффузии для Na позволяют предположить, что профили содержания различных элементов не нарушаются в течение сотен лет и могут быть использованы для выявления долгопериодных колебаний. Полная длина сканированного участка образца была около 2 мм, изучаемый участок образца соответствовал 1920—1927 г. Проведен анализ совпадений и различий результатов, полученных методами РФА-СИ и ВИМС.

В [Martin et al., 1998] производилось двумерное сканирование образца сосны красной. Участок сканирования имел размеры $\sim 2,5 \times 12$ мм. Шаг сканирования составлял 50×500 мкм. Получены изображения распределений Ca, Mn, Fe, Ni, Zn, Cr и Cu. Временной участок, перекрываемый исследуемым образцом, составлял 3 года (с 1994 по 1996 г.).

В [Larsson, Helmisaari, 1998] производился рентгенофлуоресцентный анализ древесины в годовичных кольцах образцов сосны для выявления влияния медеплавильного комбината на окружающий лесной массив в Финляндии. Для анализа использовалась стандартная установка РФА, источником рентгеновского излучения служила рентгеновская трубка с вторичной молибденовой мишенью.

В вышеприведенных работах проводились исследования кернов различных пород разными методами, в том числе и рентгенофлуоресцентным. Максимальная длина образцов составляла десятки миллиметров и перекрывала временные периоды от 3 до 7 лет. В связи с кратковременностью этих интервалов трудно сделать выводы о климатических, техногенных и т. д. изменениях.

Существует также много литературных данных об использовании РФА для локального анализа различных растительных образцов, но, как правило, эти работы не имели дендрохронологической направленности, хотя их результаты могут быть полезны и в данных исследованиях для определения абсолютных концентраций элементов в растительных образцах.

Можно также выделить класс работ, связанных с проведением сканирующего элементного анализа тех или иных фрагментов растений. Например, в работе [Viksna et al., 2001] изучались распределения ряда элементов вдоль хвоинок сосны. В некоторых работах этого направления делаются выводы о причинах возникновения неоднородностей элементного состава, в том числе обсуждается также и координатно-хронологическая зависимость элементных профилей. Но, к сожалению, пока не удалось найти достаточно значимых заключений и анализа полученных результатов.

Исходя из вышеприведенных фактов, можно сделать вывод о том, что, несмотря на имеющийся устойчивый интерес к исследованиям пространственных вариаций элементного состава древесных колец, данная область остается пока весьма слабо проработанной. Во всех вышеперечисленных работах, связанных с анализом элементного состава годовичных колец, можно отметить, что область сканирования соответствует короткому временному интервалу (меньше 10 лет). Поэтому, хотя в этих работах продемонстрировано наличие сезонных вариаций элементного состава, нельзя сделать выводов о долгопериодных изменениях концентраций элементов.

Постановка эксперимента

Эксперименты проводились в сканирующем режиме на станции рентгенофлуоресцентного анализа с пучком синхротронного излучения от накопителя ВЭПП-3 (энергия электронов 2 ГэВ, ток электронного пучка до 100 мА) в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН.

На рис. 5.9 представлена схема установки. Для возбуждения флуоресценции использовался пучок СИ из виглера с полем 2 Тл. Станция оборудована монохроматором на кристалле Si (111), позволяющем получать монохроматизированный пучок СИ с энергией фотонов в пределах 5—46 кэВ. Для регистрации флуоресцентного излучения используется полупроводниковый Si(Li)-детектор компании Oxford Instruments с разрешением 140 эВ (на энергии 5,9 кэВ). Масса измеряемого вещества может составлять 10^{-2} г.

Предел обнаружения при многоэлементном анализе — 10^{-7} — $3 \cdot 10^{-8}$ г/г. Время измерений составляет 10 — 10^3 с. Станция оборудована специальным сканером, который позволяет исследовать образцы длиной до 400 мм с разным шагом, минимальный шаг сканирования 0,1 мм. Для измерения профилей элементов в древесных ядрах была проведена серия экспериментов с образцами be21, be22, be23, be24, be25, be26, be27, be28, be29, be30 и hp15. Энергия пучка фотонов составляла 22 кэВ.

Длина исследуемых образцов — от 20 до 100 мм, шаг сканирования в разных экспериментах составлял 0,2 и 0,5 мм в зависимости от длины образца и плотности годовичных колец. Основные данные представлены в табл. 5.4.

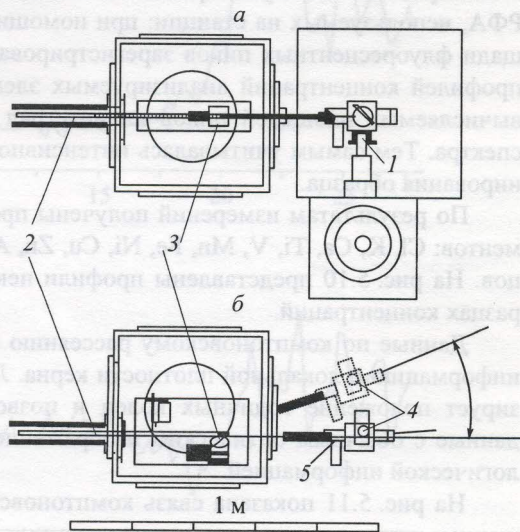


Рис. 5.9. Схема установки.

a — вид сверху, *б* — вид сбоку. 1 — детектор; 2 — пучок СИ; 3 — кристалл монохроматора Si (111); 4 — образец; 5 — камера для образца.

Таблица 5.4
Характеристики образцов и параметров сканирования

Образец	Длина образца, мм	Шаг сканирования, мм	Время накопления, с
be21	0 ÷ 51	0,3	140
be22	0 ÷ 64,5	0,5	70
	64,7 ÷ 92,3	0,2	150
be23	0 ÷ 36,8	0,2	100
be24	0 ÷ 44,8	0,2	120
be25	0 ÷ 69,5	0,5	70
be26	0 ÷ 57	0,5	100
be27	0 ÷ 59,5	0,5	110
be28	0 ÷ 27,8	0,2	150
	0 ÷ 19,8	0,2	150
be29	0 ÷ 19,8	0,2	150
	20,3 ÷ 59,3	0,5	100
be30	0 ÷ 59,5	0,5	70
hp15	0 ÷ 104,5	0,5	100

Результаты

Обработка спектров производилась с использованием стандартных средств РФА, используемых на станции: при помощи программы AXIL вычисляются площади флуоресцентных пиков зарегистрированных элементов. Перед построением профилей концентраций анализируемых элементов производилось нормирование вычисляемых площадей пиков на интеграл тока в накопителе за время набора спектра. Тем самым учитывалась интенсивность возбуждающего СИ за время сканирования образца.

По результатам измерений получены профили концентраций следующих элементов: Cl, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Br, Kr, Rb, Sr по всей длине образцов. На рис. 5.10 представлены профили некоторых измеренных в древесных образцах концентраций.

Данные по комптоновскому рассеянию позволили получить дополнительную информацию о локальной плотности ядра. Локальная плотность хорошо визуализирует положение годовичных колец и позволяет точно связать флуоресцентные данные с обычным оптическим изображением и, соответственно, с дендрохронологической информацией.

На рис. 5.11 показана связь комптоновского рассеяния с оптическим изображением ядра.

Анализ полученных результатов позволяет говорить о применимости методики сканирующего РФА-СИ для поиска влияния внешней среды, в том числе атмосферного озона, на элементный состав годовичных колец в древесине.

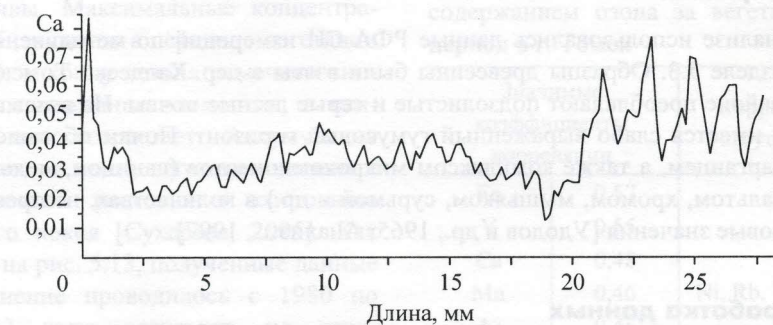
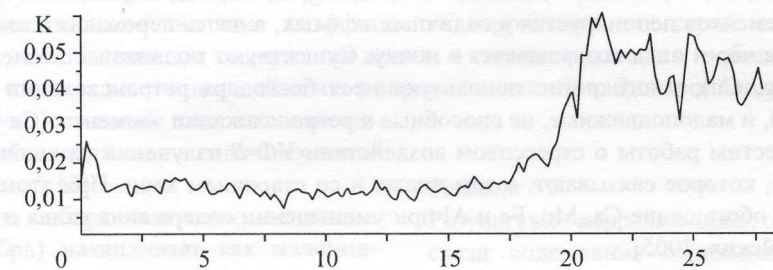
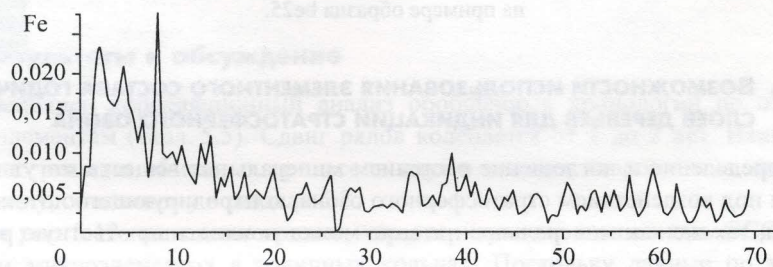
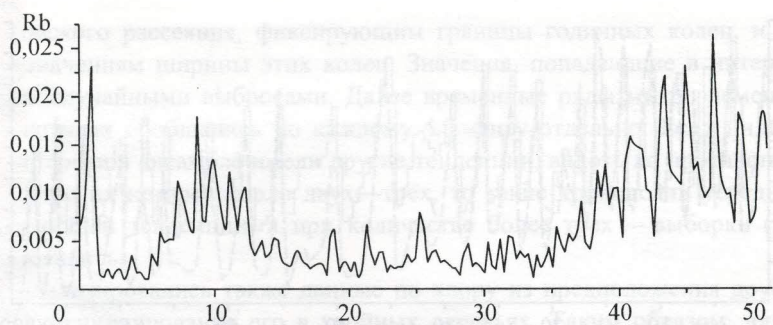


Рис. 5.10. Профили некоторых измеренных в древесных образцах концентраций, отн. ед.:
Rb (образец be21), Fe (be25), К (be28), Са (be28).

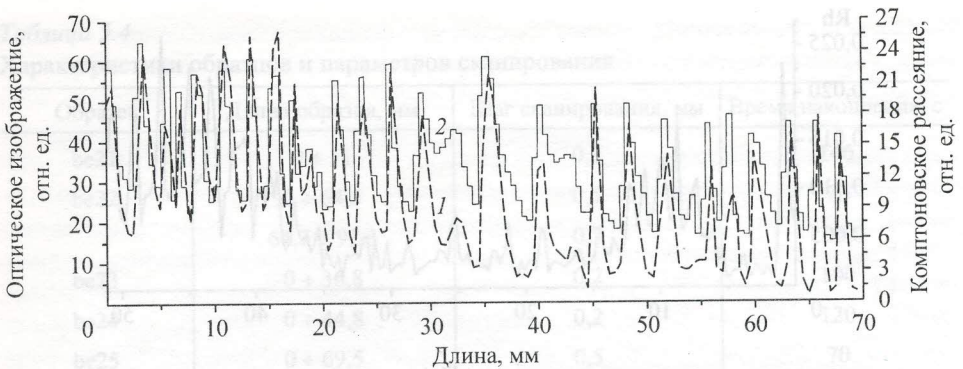


Рис. 5.11. Связь оптического изображения (1) и комптоновского рассеяния (2) на примере образца be25.

5.4. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ГОДИЧНЫХ СЛОЕВ ДЕРЕВЬЕВ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА

Распределение и поглощение растением минеральных веществ могут видоизменяться под воздействием стратосферного озона, контролирующего потоки УФ-В радиации, так же как минеральное питание может повлиять на ответную реакцию растения.

Микроэлементы могут попадать в хвойные деревья из воздуха (аэрозоль Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, As, Al, V) и из почвы (Ca, Mg, K, Na, Mn, Cu, Zn, Al, Fe). Часть микроэлементов депонируется в годичных кольцах, а часть переходит в хвою и со временем через опад возвращается в почву. Существуют подвижные элементы (N, K, P, Mg, Cu), многократно использующиеся благодаря ретранслокации внутри растений, и малоподвижные, не способные к ретранслокации элементы (Ca и Mn).

Известны работы о стрессовом воздействии УФ-В излучения на хвойный покров ели, которое связывают, в том числе, и со старением хвои. При этом происходит ее обогащение Ca, Mn, Fe и Al при уменьшении содержания калия и фосфора [Валуйских, 2005].

Материалы

В анализе использовались данные РФА-СИ измерений по методике, описанной в разделе 5.3. Образцы древесины были взяты в дер. Халдеево Томской обл. В этом районе преобладают подзолистые и серые лесные почвы. На возвышенных участках имеется слабо выраженный гумусовый горизонт. Почвы обогащены железом, марганцем, а также комплексом микрокомпонентов (свинцом, медью, цинком, кобальтом, хромом, мышьяком, сурьмой и др.) в количествах, не превышающих фоновые значения [Удолов и др., 1965; Анализ..., 1997].

Обработка данных

Данные измерений нуждались в датировке и предварительной обработке. Была написана программа, в которой привязка результатов проводилась по данным

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (Зуев В. В.)	5
Авторы	8
ВВЕДЕНИЕ (Зуев В. В.)	10
Литература к введению	13
Глава 1	
СТРАТОСФЕРНЫЙ ОЗООНОВЫЙ СЛОЙ — ОЗОНОСФЕРА (Зуев В. В.)	14
1.1. Основные характеристики атмосферного озона	—
1.2. Фотохимия атмосферного озона	17
1.3. Пространственно-временное распределение поля общего содержания озона	21
1.4. Тренды долгопериодных изменений общего содержания озона	28
Литература к главе 1	29
Глава 2	
УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ (Михалев А. В., Черниговская М. А., Тацилин М. А., Шалин А. Ю.)	32
2.1. Общая характеристика солнечной радиации	—
2.2. Связь УФ-радиации с общим содержанием озона	35
2.3. Влияние облачности, атмосферного аэрозоля и других атмосферных параметров на уровень и вариации УФ-радиации	42
2.4. Пространственно-временная изменчивость приземной УФ-радиации	54
Литература к главе 2	74
Глава 3	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННОЙ УФ-В РАДИАЦИИ НА КУЛЬТУРНЫЕ РАСТЕНИЯ (Тихомиров А. А., Ушакова С. А., Шихов В. Н., Нестеренко Т. В., Дегерменджи А. Г.)	79
3.1. Механизмы влияния УФ-радиации на рост и продуктивность растений	—
3.2. Методика экспериментальных исследований	87
3.3. Возрастная специфика отклика растений на воздействие УФ-радиации различной интенсивности	89
3.4. Пороговые характеристики УФ-В воздействия на растения	103
Литература к главе 3	114
Глава 4	
СВЯЗЬ ГОДИЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ХВОЙНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ С ОБЩИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОЗОНА.	118
4.1. Влияние внешних и внутренних факторов на продуктивность деревьев (Николаева С. А., Савчук Д. А., Бочаров А. Ю.)	—
4.2. Математические модели в анализе действия УФ-радиации и озона на древесные растения (Шашкин А. В., Бенькова А. В., Володкович А. В., Ваганов Е. А.)	131
4.3. Корреляция основных дендрохронологических параметров годовичных колец с колебанием общего содержания озона в стратосфере (Силкин П. П., Ваганов Е. А.)	141

4.4. Связь хронологий клеточных параметров годичных колец хвойных с колебанием общего содержания озона в стратосфере (Силкин П. П.)	148
4.5. Видовые различия связей стратосферного озона с дендрохронологическими характеристиками хвойных деревьев (Зуев В. В., Бондаренко С. Л.)	156
Литература к главе 4	159
Глава 5	
КОРРЕЛЯЦИЯ ОСО С ГАЗОВЫМ И ЭЛЕМЕНТНЫМ СОСТАВОМ	
ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ	166
5.1. Методика газоаналитических измерений проб воздуха, экстрагированных из древесины годичных колец (Агеев Б. Г., Сапожникова В. А.)	—
5.2. Возможности использования газового состава годичных слоев деревьев для биоиндикации изменений стратосферного озона (Зуев В. В., Агеев Б. Г., Бондаренко С. Л., Савчук Д. А., Сапожникова В. А.)	172
5.3. Сканирующий рентгенофлуоресцентный анализ для исследования распределения элементного состава годичных колец в древесине (Золотарев К. В., Шапоренко А. Д., Салосина В. В., Баженова В. В.)	177
5.4. Возможности использования элементного состава годичных слоев деревьев для индикации стратосферного озона (Зуев В. В., Бондаренко С. Л., Бондаренко М. А., Савчук Д. А.)	182
Литература к главе 5	185
Глава 6	
РЕКОНСТРУКЦИЯ И ПРОГНОЗ ПОВЕДЕНИЯ ОЗОНОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ (Зуев В. В., Бондаренко С. Л.)	187
6.1. Связь долгопериодной изменчивости озонового слоя атмосферы с обусловленной УФ-В воздействием изменчивостью плотности древесины	—
6.2. Использование регрессионного метода для реконструкции временного хода ОСО по дендрохронологическим данным	191
6.3. Прогноз тенденций изменений уровня стратосферного озона	198
6.4. Генерализированные хронологии общего содержания озона для субарктических регионов	203
Литература к главе 6	204
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Зуев В. В.)	206
ПРИЛОЖЕНИЯ	207
<i>Приложение 1.</i> Связь колебаний озоносферы, модулирующих уровень УФ-В солнечной радиации, и циклов острых инфарктов миокарда (Зуев В. В., Зуева Н. Е.)	—
Литература к Приложению 1	212
<i>Приложение 2.</i> Корреляция уловов рыбы в Ладожском озере с колебаниями общего содержания озона (Зуев В. В., Бондаренко С. Л., Зуева Н. Е.)	213
Литература к Приложению 2	215
<i>Приложение 3.</i> Влияние долгопериодных колебаний озоносферы на изменчивость глобального содержания CO ₂ в атмосфере и климат (Зуев В. В., Зуева Н. Е., Бондаренко С. Л.)	—
Литература к Приложению 3	223
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	225

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.1. Основы химии атмосферы стратосферного озона 148

1.2. Фотолитический цикл озона в стратосфере (С. М. П. П.) 148

1.3. Пространственно-временная динамика стратосферного озона 148

1.4. Тренды долгопериодичности стратосферного озона 148

Литература к главе 1 148

Глава 2

2.1. Общие характеристики возмущений 148

2.2. Связь УФ-радиации с изменением озона 148

2.3. Влияние стратосферного озона на климат и здоровье 148

2.4. Пространственно-временная динамика стратосферного озона 148

Литература к главе 2 148

Глава 3

3.1. Экспериментальная методика измерения стратосферного озона 148

3.2. Методика измерения стратосферного озона 148

3.3. Влияние стратосферного озона на климат и здоровье 148

3.4. Пороговые характеристики стратосферного озона 148

Литература к главе 3 148

Научное издание

**БИОИНДИКАЦИЯ
СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА**

Интеграционные проекты СО РАН
Вып. 10

Редактор *Н. А. Лившиц*
Технический редактор *Н. В. Бутакова*
Корректор *Е. С. Языкова*

Подписано в печать с оригинал-макета 11.12.2006
Уч.-изд. л. 19. Усл. печ. л. 18,38. Формат 70×100/16
Печать офсетная. Тираж 500 экз. Заказ № 436

Издательство СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: psb@ad-sbras.nsc.ru
Тел. (383) 330-80-50
Интернет-магазин Издательства СО РАН
<http://www-psb.ad-sbras.nsc.ru>