

## Дендрохроноиндикация с использованием газоанализа

Б. Г. АГЕЕВ, В. Д. НЕСВЕТАЙЛО\*, Ю. Н. ПОНОМАРЕВ, В. А. САПОЖНИКОВА

*Институт оптики атмосферы СО РАН, 634055 Томск*

*\*НИИ биологии и биофизики при ТГУ, 634050 Томск*

*\*Институт оптического мониторинга СО РАН, 634055 Томск*

### АННОТАЦИЯ

С целью поиска новых характеристик годичных колец предложен метод измерения  $\text{CO}_2$ , выделяемого древесным кольцом. Объектом исследования были годичные кольца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ldb). Концентрация  $\text{CO}_2$  измерялась лазерным оптико-акустическим газоанализатором. Выявлена положительная корреляция выделяемого  $\text{CO}_2$  с шириной соответствующего кольца.

Сочетание принципов и методов дендрохронологии [1] с современными методиками анализа специфических регистрирующих структур древесных растений – годичных колец позволяет говорить о формировании комплексного метода исследования природных и антропогенных процессов и явлений – дендрохроноиндикации, заключающегося в установлении зависимости тех или иных характеристик годичных колец деревьев от факторов внешней среды и получении на этой основе ретроспективной информации о процессах и явлениях, определявших динамику этих факторов [2, 3].

По типу анализируемых характеристик годичных колец можно выделить три составляющих дендрохроноиндикации: 1) морфометрическую – на основе анализа морфометрических характеристик годичных колец (ширина, площадь сечения, форма – большинство выполненных в мире работ); 2) структурную – на основе анализа тонкой структуры годичных колец [4]; 3) физико-химическую – на основе анализа физико-химических характеристик древесины годичных колец (плотность,

отражательная способность, элементный, биохимический, изотопный состав) [5].

По типу задач, решаемых с помощью дендрохроноиндикации, выделяются четыре основных направления: 1) датирование сооружений, объектов, процессов и событий (дендрохронология); 2) индикация изменений климата – дендроклиматология; 3) индикация природных процессов и явлений, таких как динамика солнечной активности, динамика лесов и лесорастительных зон, лесные пожары, склоновые, термокарстовые процессы и т. д.; 4) направление, приобретающее все более важное значение – индикация антропогенных воздействий, вызывающих изменение среды обитания древесных растений и человека.

Все перечисленные разделы и направления дендрохроноиндикации могут быть использованы для ретроспективного экологического мониторинга. На экологически чистых, заповедных территориях и в промышленных регионах особое значение приобретают такие ее подразделы, как изотопная и биогеохимическая дендрохроноиндикация.

Перспективы развития метода связаны с совершенствованием аппаратурно-аналитической базы, разработкой алгоритмов анализа многолетних рядов годичных колец и с поиском новых характеристик годичных колец, отражающих процессы и явления природы и деятельность человека.

Литературные данные свидетельствуют [6], что живые клетки древесины в процессе дыхания образуют  $\text{CO}_2$ , накапливающийся в сосудах и трахеидах. Поскольку сформированные оболочки клеток древесины относительно непроницаемы для диффузии газов, в древесине накапливается значительное количество газа. Считают, например, что у сосны большая часть ствола, кроме наружных трех или четырех годичных колец, заполнена газом, причем концентрация  $\text{CO}_2$  выше, чем в окружающем воздухе [6].

В данной работе с целью поиска новых характеристик годичных колец, используемых в дендрохроноиндикационных исследованиях, определялся газовый состав древесины годичных колец сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ldb).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Материалом для подготовки образцов исследований служила древесина годичных колец двух возрастных групп: сосны – 70-х и

80-х гг. и ели – 80-х и 90-х гг., отобранная с высушенных дисков соответствующих деревьев. Предварительно с помощью микроскопа МБС-1 с точностью до 0,05 мм измеряли ширину годичных колец. Затем древесину послойно тщательно разделяли на годичные кольца. Образцами анализа служили одинаковые навески древесины одного годичного кольца (по 10 г для сосны и по 30 г для ели). Как упомянуто выше, накопление газа в древесине происходит в непроницаемых для воздуха тканях, поэтому для получения газовых проб применяли вакуумное экстрагирование. Для этого навески помещали в герметичные экспозиционные камеры, где осуществлялась непродолжительная (до трех минут) откачка камер с образцами до невысокого вакуума ( $\sim 10^{-1}$  мм рт. ст.) с последующей экспозицией в течение 15–20 мин.

Газоанализ экстрагированных газовых проб проведен методом лазерной оптико-акустической (ОА) спектроскопии с использованием дискретно перестраиваемого по частоте  $\text{CO}_2$ -лазера, апробированным нами на измерениях темного дыхания растений [7]. Схема газоанализатора приведена на рис. 1. Метод лазерного ОА газоанализа основывается на использовании оптико-акустического эффекта – генерации акустических волн в веществе, поглощающем лазерное излучение. При прохождении модулированного лазерно-

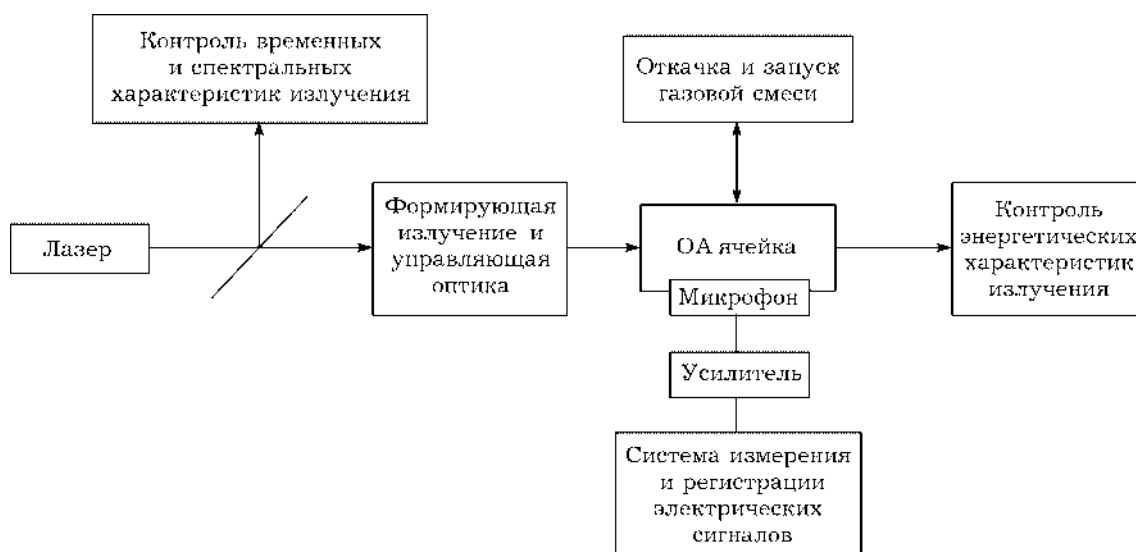


Рис. 1. Блок-схема газоанализатора.

го излучения через ОА ячейку, содержащую исследуемую газовую смесь, происходит возбуждение поглощающих это излучение молекул с дальнейшей их релаксацией – излучательной или безызлучательной. Безызлучательная релаксация приводит к нагреванию газа, которое инициирует волну давления в замкнутом объеме ОА ячейки. Импульс давления регистрируется чувствительным микрофоном, а электрический сигнал микрофона анализируется с помощью стандартной техники измерения импульсных или периодических электрических сигналов.

В газоанализаторе использован серийный CO<sub>2</sub>-лазер ИЛГН-705 с модифицированным резонатором. Конструкция резонатора позволяла получать генерацию на линиях 1P(10)–1P(32) и 1R(12)–1R(22). Идентификация линий генерации лазера производилась панорамным анализатором спектра, шкала которого проградуирована в абсолютных значениях длин волн. Модулированное по амплитуде излучение лазера направлялось в ячейку ОА детектора. Пульсации давления в ячейке измерялись плоским конденсаторным микрофоном собственной конструкции, который вмонтирован в боковую стенку. Электрический сигнал с микрофона  $U$  усиливался и подавался на вход системы регистрации. За измерительной ОА ячейкой с исследуемым газом располагался неселективный ОА приемник для измерения уровня мощности  $W$  лазерного излучения.

Внутренние объемы экспозиционных камер соединяли с вакуумной системой, баллоном-смесителем и измерительной ОА ячейкой. После экспозиции пробы из камер последовательно запускали в предварительно вакуумизированную ячейку ОА детектора и дополняли комнатным воздухом до давления ~ 60 мм рт. ст., и эта смесь использовалась для анализа. В результате измерений величин  $U$  и  $W$  определяли их отношение:

$$A = U/W = \alpha k,$$

где  $\alpha$  – чувствительность ОА детектора,  $k$  – концентрация поглощающего газа в исследуемой газовой смеси. Чувствительность  $\alpha$  является функцией общего давления газа в ячейке. Нами установлено, что для данной конструкции ОА детектора максимальное значе-

ние  $\alpha$  достигается при общем давлении газа ~ 60 мм рт. ст., поэтому именно при этом давлении анализировали пробы воздуха, взятые из экспозиционных камер. Для получения абсолютного значения  $\alpha$  проводилась калибровка ОА детектора. С этой целью измерительная ячейка заполнялась поверочной смесью CO<sub>2</sub> – N<sub>2</sub>.

Измерения выполнялись на длине волны генерации лазера  $\lambda = 10,591$  мкм (линия P(20)), где основной вклад в ОА сигнал дает поглощение углекислым газом. Дополнительная проверка того, что вклад в поглощение дает именно CO<sub>2</sub>, проводилась путем устранения CO<sub>2</sub> из анализируемой пробы с помощью химического поглотителя – аскарита.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных измерений обнаружено, что в выделенной из древесины газовой смеси содержится CO<sub>2</sub>. На рис. 2 приведены полученные данные и их сравнение с шириной годичных колец для обоих объектов исследования. Значения по эмиссии CO<sub>2</sub> показывают превышение его концентрации в пробах над содержанием в воздухе (фонное значение соответствует концентрации атмосферного CO<sub>2</sub> ~ 613 мг/м<sup>3</sup>).

Для оценки связи дендрохронологических и газоаналитических данных определен коэффициент корреляции  $r$  полученных рядов. Поскольку исследуемые древесно-кольцевые хронологии невелики, для анализа процедура стандартизации не использовалась.

Для образцов сосны выявлена положительная корреляция ( $r = 0,31$ ) содержащегося в древесине CO<sub>2</sub> с шириной соответствующего кольца. Обращает на себя внимание тот факт, что древесина узких колец содержит относительно большее количество газа.

Для образцов ели корреляция между определяемыми параметрами менее выражена ( $r = 0,14$ ). Это может быть вызвано следующей причиной. В отличие от сосны, ель росла в пойме ручья, что обусловило наклон дерева и развитие креновой и тяговой древесины. Это, в свою очередь, привело к значительному варьированию ширины одного и того же годичного кольца по разным направлениям. Годичные кольца сосны были значи-

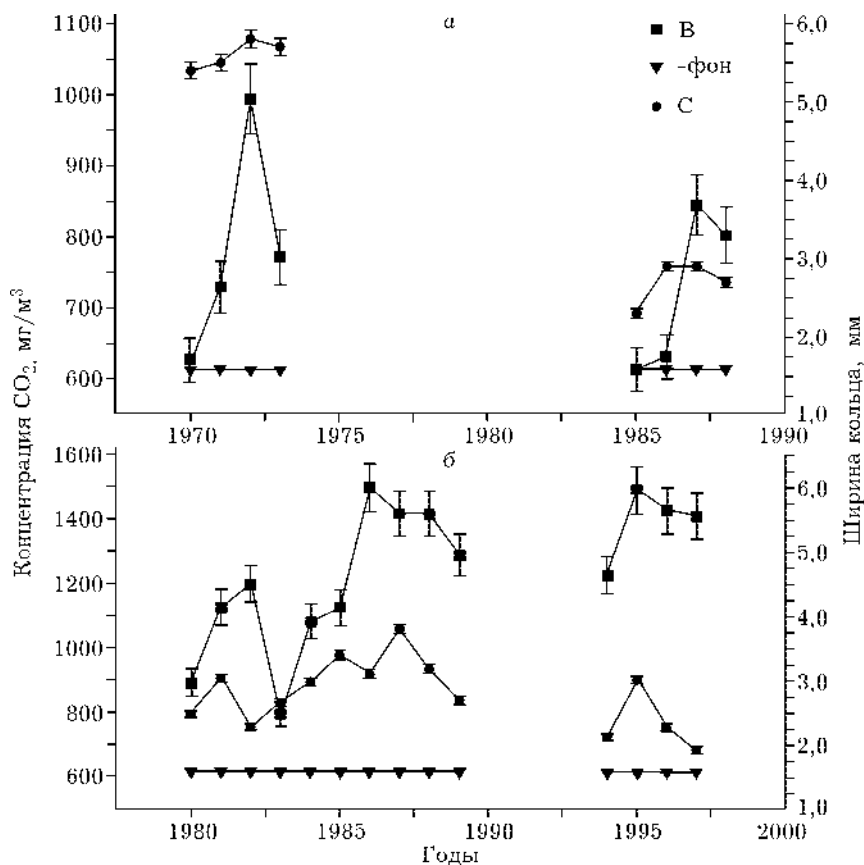


Рис. 2. Данные по эмиссии CO<sub>2</sub> (B) и ширины годичных колец (C) древесины сосны (а) и ели (б).

тельно ровнее по окружности. В результате для характеристики ели использовалось усредненное значение ширины по четырем радиусам, что могло внести определенную погрешность. Кроме того, трахеиды креновой древесины значительно отличаются по структуре от нормально сформированных частей годичных колец.

Полученные данные носят предварительный характер, тем не менее они явно свидетельствуют, что в тканях древесины действительно содержится газовая смесь с повышенным по отношению к воздуху содержанием углекислого газа. Его вариация, как и изменение ширины годичных колец, обусловлена жизнедеятельностью дерева в тот или иной временной отрезок и отражает интенсивность процессов метаболизма, происходивших в год формирования конкретного годичного кольца.

Для получения количественных статистически обеспеченных результатов планируются

дальнейшие исследования. Установление корректной связи между данными дендрохронологии, с учетом газосодержания древесины, и метеоданными позволит получить более полную информацию о жизнедеятельности растения в различные временные интервалы и при различных климатоэкологических условиях. Это, в свою очередь, повысит точностные характеристики дендроклиматологии при изучении палеоклимата.

Работа выполнена при частичной поддержке СО РАН (Междисциплинарный интеграционный проект № 67).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Шиятов, Записки Свердловского отделения ВБО, Свердловск, 1973, 6, 53–81.
2. В. Д. Несветайло, Проблемы исследования и преодоления экологической опасности в промышленном регионе: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конференции, Кемерово, 1990, 108–109.
3. V. D. Nesvetajlo, *Planetary and Space Science*, 1998, 46: 2/3, 155–161.

4. Е. А. Ваганов, Ф. В. Шашкин, Рост и структура годичных колец хвойных, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 2000.
5. F. H. Schweingruber, Tree Rings and Environment Dendroecology, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt., 1996.
6. П. Д. Крамер, Т. Т. Козловский, Физиология древесных растений, М., Лесн. пром-сть, 1983.
7. Б. Г. Агеев, Т. П. Астафурова, Ю. Н. Пономарев, В. А. Сапожникова, *Оптика атмосферы и океана*, 1997, **10**: 4–5, 437–448.

## Dendrochronoindication Using Gas Analysis

B. G. AGEEV, V. D. NESVETAILO, Yu. N. PONOMAREV, V. A. SAPOZHNIKOVA

For the purpose of search for new characteristics of annual rings, a method of measurement of CO<sub>2</sub> emitted by a ring is proposed. The object of study were annual rings of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Siberian spruce (*Picea obovata* Ldb). The carbon dioxide concentration was measured by a laser opticoacoustical gas analyzer. A positive correlation between the emitted carbon dioxide and the width of the ring was found.