

УДК 681.3+343.98

**Д. Е. Кузменков**

начальник отдела специальных исследований

E-mail: kuzmenkov-11@inbox.ru

**Ф. А. Сиверский**

младший научный сотрудник НИЛ криминалистических исследований

документов и почерка научного отдела криминалистических исследований

E-mail: siverskiy@yahoo.com

**А. Н. Хох**

младший научный сотрудник НИЛ материалов, веществ и изделий

научного отдела специальных исследований

E-mail: Iann1hoh@gmail.com

НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь

## **ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ АРМ «DENDROEXP» ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*В статье дается описание специализированных средств, использующихся для измерения ширины годичных слоев, зон ранней и поздней древесины при проведении дендрохронологических экспертных исследований. Раскрываются задачи, решаемые специализированными средствами. Приведены математические алгоритмы, использовавшиеся при создании специализированных средств.*

*Ключевые слова: анализ сигналов, автоматизация, графические изображения, дендрохронологический анализ, математическое моделирование, годичные слои, судебная экспертиза.*

Биологической основой дендрохронологического анализа является феномен ежегодного образования четко различимых годичных слоев (ГС) радиального (по диаметру) прироста ствола дерева в условиях умеренного и холодного климата с резко выраженной сменой времен года [1].

В начале периода роста (весной и до середины лета) клетки древесины имеют большой диаметр и тонкую стенку, а начиная с середины лета и до начала осени (до октября месяца) образуются мелкие толстостенные клетки. В результате в годичном слое четко различаются по размерам, цвету и плотности зоны ранней (РД) и поздней древесины (ПД). Переход между клетками РД и ПД внутри годичного слоя постепенный, в то время как между клетками поздней древесины предыдущего слоя и ранней древесиной последующего годичного слоя – резкий [2].

Необходимо отметить, что именно геоклиматическая вариабельность [3] ширин ГС, ширин зон РД и ПД представляет собой исходные данные, на основе которых решаются диагностические и идентификационные экспертные задачи судебно-ботанической экспертизы с использованием дендрохронологического анализа (СБЭ ДА).

Вычисление параметров радиального прироста, как правило, представляет собой длительный и трудоемкий процесс (на один образец в среднем уходит 10–15 минут). Как в нау-

ке, так и в экспертной практике в подавляющем большинстве случаев применяются методы подсчета и измерения ГС с помощью оптических луп, стереоскопических микроскопов, постепенно начинают применяться и полуавтоматические комплексы (например, измерительный комплекс LINTAB). Еще одним способом является использование цифровых изображений образцов древесины. В данном случае для проведения замеров применяют всевозможные пакеты для работы с графической информацией (AdobePhotoshop, AdobeIllustrator и др.) или различные геоинформационные системы (Atlas GIS, ArcView и др.), позволяющие вручную обозначать границы ГС, ПД и РД с помощью компьютерного манипулятора «мышь». На основе нанесенной разметки рассчитываются расстояния между отметками. Таблица с измерениями экспортируется в файлы формата txt, .xls или .xlsx.

В последние годы проводятся многочисленные исследования в области математического моделирования восстановления прироста годичных слоев деревьев [4–6]. Активно решаются следующие задачи: адаптивная бинаризация изображений годичных слоев; обработка с постоянным порогом; вычисление азимута и среднеквадратичной ширины области максимального прироста. Результатами исследований становятся авторские вычислительные алгоритмы, а также их программная реализация. Однако до настоящего времени задача полной автоматизации измерений с достаточной точностью и возможностью сохранения визуального контроля и внесения ручной корректировки не решена.

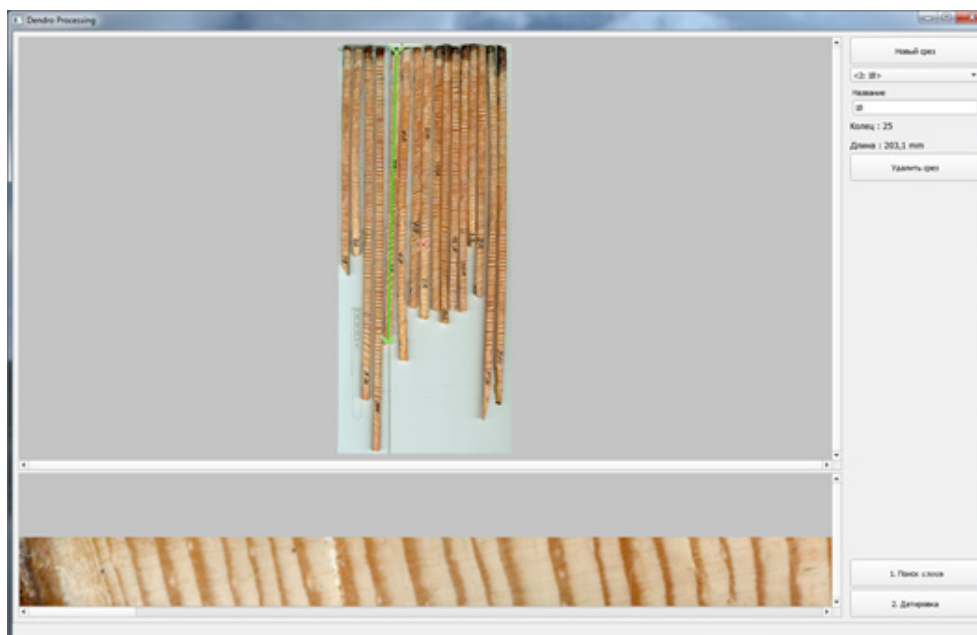
По-прежнему необходим эффективный метод измерения параметров радиального прироста, обеспечивающий не только автоматическое измерение ширин ГС, зон РД и ПД, но и получение более точных и объективных данных. Оптимальной моделью для этого в АРМ может стать математическое описание ГС дерева как пространственно-временного колебательного процесса. Для реализации возможностей данной модели необходимо разработать алгоритмы и математическое обеспечение их функционирования.

В государственном учреждении «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь» были разработаны специализированные средства, реализованные в программном модуле автоматизированного рабочего места (АРМ) «DendroExp», позволяющие работать как с цифровыми изображениями образцов древесины (спилов, фрагментов, буровых кернов), полученными на сканере, так и из файлов различных форматов, например, bmp, tiff, jpeg, gif, psx, tga и др.

Работа АРМ начинается с определения разрешения файла (т. е. количество пикселей на единицу длины). Его точное значение необходимо для адекватного определения масштаба изображения, определяется автоматически, либо задается с помощью специальной функции: по двум точкам на образце или по линиям масштабной линейки.

Далее осуществляется выбор нужного образца, так как буровых кернов или фрагментов на изображении может быть несколько. Далее с помощью специального инструмента – отобранной на экране стрелки, проводится линия от начала до конца образца. Для этого края стрелки устанавливаются в нужные места изображения (рисунок 1). При этом в нижней части экрана в горизонтальном положении отображается центральная часть образца (слева направо от коры к сердцевине).

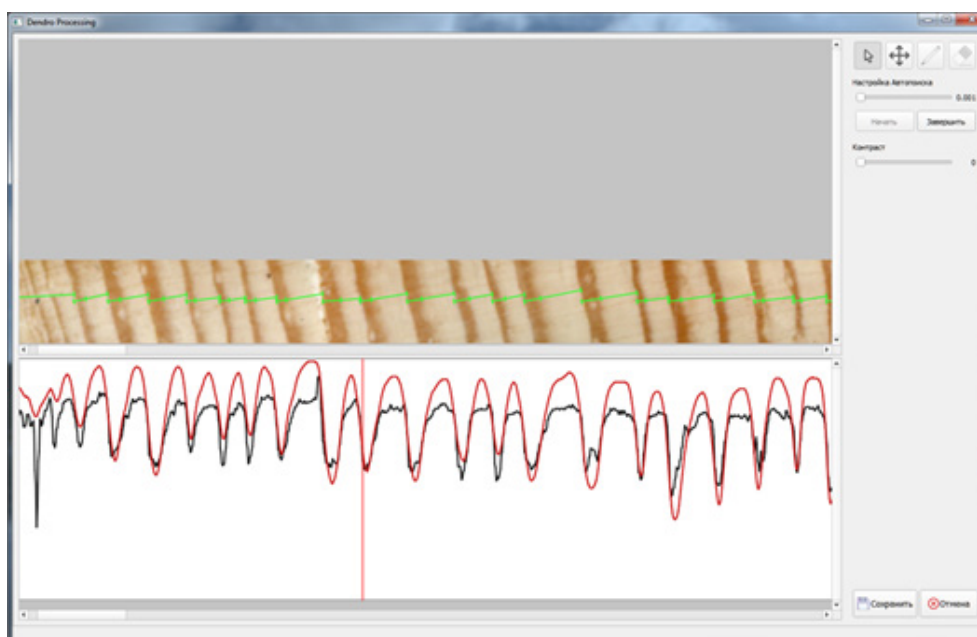
При замерах ГС необходимо учитывать некоторые особенности, связанные с биологическим строением древесины [7]. Так, на спилах и фрагментах подбирают поверхность с наиболее характерными для этого образца ГС. В данном случае прямые проводятся в виде 2–4 радиусов, при этом следует избегать мест с деформациями: заросших сучков, реактивной и раневой древесины и др. Если на спиле или фрагменте имеются зоны с большим числом мелких и выпадающих слоев, то для фиксации последних желательно использовать дополнительные направления в пределах этой зоны. Эти направления должны быть удалены от основных радиальных направлений на различное расстояние. Довольно часто дополнительные направления применяют при анализе образцов, взятых со старых деревьев, периферийные слои которых мелкие и эксцентричные.



**Рисунок 1 – Выбор одного из нескольких образцов древесины сосны обыкновенной (буровых кернов) для последующего расчета параметров радиального прироста**

Замеры обычно начинают с внешнего ГС в направлении от периферии к сердцевине, т. е. обратным отсчетом календарных лет. В случае отсутствия периферической части ствола (а также в некоторых случаях при идентификации целого по частям), измерения можно начинать от сердцевины.

Для включения инструмента измерения следует нажать кнопку «Поиск слоев», после чего произойдет автоматическая разметка расстояний строго перпендикулярно годичным слоям (оптимально – перпендикуляр к сердцевинным лучам) (рисунок 2). В нижней части экрана отображаются сглаженные и не сглаженные графики перепадов яркости.



**Рисунок 2 – Результаты автоматического расчета параметров радиального прироста**

Сам принцип измерений заключается в следующем:

1. изображение интересующего объекта, используя цветовую модель RGB, переводится в градиенты серого по формуле:

$$I = (11R+16G+5B) / 32 \quad (1)$$

2. полученное изображение размывается (сглаживается) для уменьшения шумов;

3. затем усиливается локальный контраст;

4. делается «срез» изображения по центру, т. е. получается одномерный массив значений яркости;

5. по «срезу» делается поиск перепадов с темных участков (маленьких значений яркости) на светлые (большие значения яркости) и наоборот – со светлых на темные. В итоге получается два массива значений для спадов и возрастания яркости;

6. найденные перепады фильтруются, при этом остаются только самые большие значения;

7. далее по этим значениям перепадов делается поиск ГС:

а) крайний перепад со светлой области на темную – это начало слоя,

б) ближайший к нему перепад с темной области на светлую – это разделитель на поздняя/ранняя части годичного слоя,

в) затем переход в пункт а), это будет конец текущего слоя и начало следующего.

Важно отметить, что с момента введения цифрового изображения образца древесины АРМ «DendroExp» предоставляет эксперту спектр возможностей для работы с графическим материалом:

– средства для улучшения качества изображений (изменение яркости и контраста; инверсия (получение негатива), преобразование гистограммы яркостей изображения, преобразование цветности изображения, фильтрация (преобразование изображения с помощью фильтров для выделения полезной составляющей), усиление или подавление пространственно-периодического изменения градаций яркости изображения;

– средства для геометрических преобразований изображений (масштабирование, поворот, зеркальное отражение по горизонтали и вертикали, изменение размеров растра, вырезание фрагментов).

На рисунке 3 представлен пример применения графических фильтров для увеличения контраста изображений образцов древесины. Фильтр можно применить ко всему изображению или к его части, выделенной контуром.

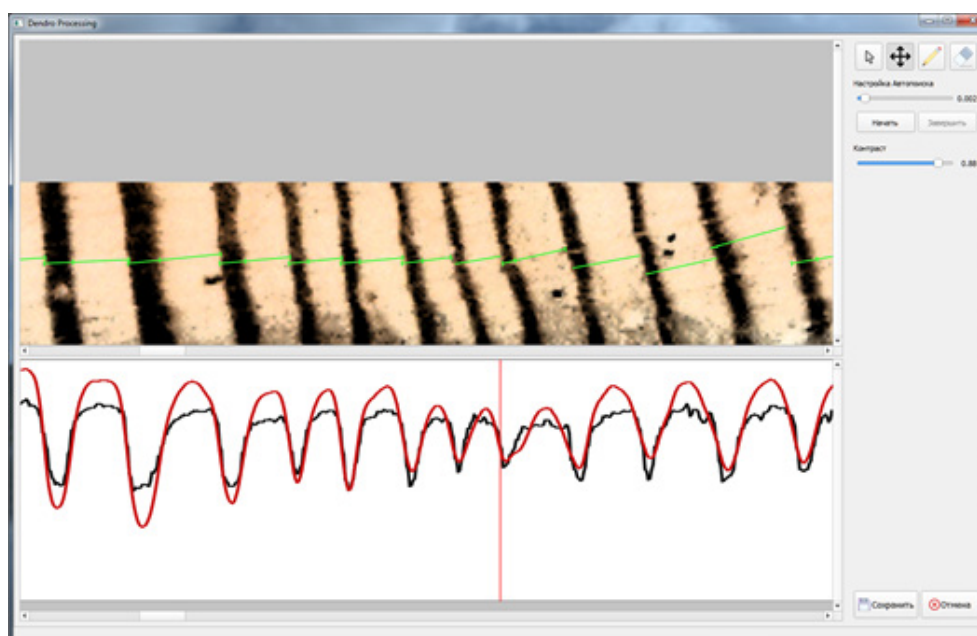


Рисунок 3 – Использование фильтров визуальной коррекции



Применение средств обработки позволяет усилить полезные составляющие изображения, облегчить визуальное восприятие значимых деталей и, тем самым, уменьшить риск ошибочного вывода эксперта при проведении исследования. Кроме того, специализированные средства АРМ обеспечивают сохранность исходного (эталонного) изображения и автоматическую запись всех шагов его обработки.

В случае необходимости АРМ позволяет вручную проводить корректировку разметки (например, после изучения образца под стереоскопическим микроскопом), что может понадобиться, если на спиле или фрагменте имеются зоны с большим числом узких и частично выпадающих слоев (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Пример буровых кернов сосны обыкновенной с чрезвычайно узкими годовичными слоями (<0,01 мм)**

Когда изображение с нанесенной разметкой соответствует желаемому, можно переходить к стадии непосредственного расчета параметров радиального прироста. Для этого нажимаем кнопку «Датировка». При этом в виде таблицы на экран выводятся результаты замеров, где первая колонка – это годы, а последующие – ряды измерений радиального прироста для каждого образца (в мм, т. е. в абсолютных единицах) (рисунок 5). Строк в ней будет столько, сколько ГС на образце.



**Рисунок 5 – Вид автоматически сгенерированной таблицы измерений между ГС, РД и ПД**

В отдельную группу инструментов специализированных средств вынесены инструменты для внесения изменений или коррекции полученных результатов. К ним, в частности, относится инструмент для добавления/удаления количества ячеек, соответствующих количеству лет, изменения года, соответствующего внешнему ГС, изменения числовых характеристик радиального прироста после применения стереоскопического микроскопа. Целесообразность применения инструментов определяется экспертом исходя из конкретной экспертной ситуации.

В дальнейшем полученные данные подвергаются статистической обработке, в результате строятся древесно-кольцевые хронологии в абсолютных или относительных величинах, в зависимости от решаемых экспертных задач.

Год	Диаметр, мм	Полудрев, мм	Радиус, мм	Добавить	Вверх	Вниз	Удалить
2014	0,00	0,00	0,00	+	↑	↓	×
2013	0,91	0,55	0,36	+			
2012	1,06	0,72	0,34	+			
2011	1,23	0,24	0,99	+	↑	↓	×
2010	0,97	0,57	0,40	+			
2009	0,87	0,59	0,27	+			
2008	0,00	0,00	0,00	+	↑	↓	×
2007	0,00	0,00	0,00	+	↑	↓	×
2006	0,68	0,40	0,27	+			
2005	0,82	0,51	0,32	+			
2004	1,23	0,93	0,30	+			
2003	0,97	0,51	0,47	+			
2002	1,23	0,89	0,34	+			
2001	1,23	0,82	0,40	+			
2000	0,99	0,57	0,42	+			
1999	0,85	0,51	0,34	+			
1998	1,48	1,06	0,42	+			
1997	1,40	0,89	0,51	+			

Рисунок 6 – Выполнение операции по внесению изменения в таблицу измерений между ГС, РД и ПД

Вся информация, содержащая результаты применения специализированных средств, может быть использована экспертом при составлении текста заключения или приложений к нему. Она может быть выведена на печать напрямую или быть импортирована непосредственно в текст заключения эксперта. Представляется, что повышение наглядности может быть востребовано, например, в случаях повторных экспертиз с противоположными выводами для детального анализа двух исследований уполномоченным субъектом [6].

Резюмируя все вышеизложенное, следует отметить, что применение специализированных средств для измерения ширины ГС, зон РД и ПД при проведении дендрохронологических экспертных исследований позволяет значительно сократить временные затраты на производство экспертиз; способствует проведению объективного экспертного анализа; обеспечивает наглядность и полноту экспертного исследования; унифицирует подходы проведения дендрохронологических исследований с соблюдением всех требований методических рекомендаций; позволяет отказаться от использования дополнительных программных средств; способствует формированию внутреннего убеждения эксперта, необходимого для дачи объективных выводов по вопросам, поставленным перед ним в постановлении (определении) о назначении судебной экспертизы.

## Список использованных источников

1. Методы дендрохронологии. Часть 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации : учеб.-метод. пособие / С. Г. Шиятов [и др.] – Красноярск : КрасГУ, 2000. – 80 с.
2. Битвинкас, Т. Т. Пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев / Т. Т. Битвинкас. – Каунас, 1981. – 102 с.
3. Sweingruber, F. H. Tree Rings and Environment. Dendroecology / F. H. Sweingruber // Vienna : Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 1996. – 609 pp.
4. Миано, Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии / Дж. Миано. – М. : Изд-во Триумф, 2003. – С. 16–17.
5. Дистанционная информационно-вычислительная технология анализа годовых колец деревьев / В. Н. Попов [и др.] // ENVIROMIS 2004. Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Программа и тезисы. – Томск, 2004. – С. 61–62.
6. Математическая модель радиального сечения годовых колец деревьев / В. А. Тартаковский [и др.] // Автометрия. – 2003. – № 5. – С. 118–127.
7. Cook, E. A. Time series analysis approach to tree ring standartisation / E. A. Cook // Doctoral dissertation Philosophy with a major in Watershed Management. – The University of Arizona. – 1985. – 183 p.

Дата поступления: 29.11.2016

**D. E. Kuzmenkov**

head of the scientific department of special investigations

**F. A. Siverskiy**junior researcher of RL of forensic examination of documents and handwriting  
of the scientific department of criminalistic investigations**A. N. Khokh**junior researcher of RL of materials, substances and products  
of the scientific department of special investigations

SPC of the State forensic examination committee of the Republic of Belarus

**THE USE OF SPECIAL VEHICLES OF AW «DENDROEXP»  
FOR QUANTITATIVE EVALUATION PARAMETERS OF RADIAL GROWTH  
WHEN CARRUING OUT DENDROCHRONOLOGICAL FORENSIC RESEARCH**

*The article provides guidance on the use of specialized tools for measurement of tree-ring widths, early and late wood areas when carrying out dendrochronological forensic research. Unfold tasks performed by specialized tools. Presented the mathematical algorithms used to create specialized tools.*

*Keywords: signal analysis, automation, graphic images, dendrochronological analysis, mathematical simulation, tree layers, forensic expertise.*