

УДК 343.98+58.002+691.11

А. Н. Хох

заведующий лабораторией исследования материалов, веществ и изделий научного отдела технических, криминалистических и специальных исследований,
НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь
г. Минск, Беларусь
E-mail: 1ann1hoh@gmail.com

В. Б. Звягинцев

кандидат биологических наук, доцент
доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения,
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Беларусь
E-mail: mycolog@tut.by

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ В СТРОЕНИИ И СОСТАВЕ ОБЪЕКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ГРУППОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ЦЕЛОГО ПО ЧАСТИ

Представлены результаты экспериментальных исследований спилов древесины сосны обыкновенной с пней и с нижней части бревен с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области и анализа морфолого-анатомических параметров годовичных колец для решения экспертных задач, связанных с установлением общей групповой принадлежности и целого по части. Сделан вывод, что применение комплекса независимых и взаимодополняющих методов позволяет получить необходимое и достаточное количество совпадающих признаков, которые могут быть признаны неповторимыми (уникальными), для проведения идентификации. Предложенная схема исследования может быть применена и для других объектов растительного происхождения.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; ксилема; групповая принадлежность; целое по части; БИК-спектроскопия; трахеиды.

A. N. Khokh

SPC of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus
Minsk, Belarus

V. B. Zviagintsev

Ph.D. (Biological Sciences), Associate Professor
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

USE OF INDIVIDUAL CHARACTERISTICS IN THE STRUCTURE AND COMPOSITION OF OBJECTS OF PLANT ORIGIN TO ESTABLISH GENERAL GROUP MEMBERSHIP AND THE WHOLE IN PART

The results of experimental studies of Scots pine wood cuts from stumps and from the bottom of logs using near-infrared spectroscopy and analysis of the morphological and anatomical parameters of growth rings for solving expert problems related to establishing the general group affiliation and the whole in part are presented. It is concluded that the use of a complex of independent and complementary methods makes it

possible to obtain the necessary and sufficient number of matching features that can be recognized as inimitable (unique) for identification. The proposed research scheme can be applied to other objects of plant origin.

Keywords: Scots Pine; xylem; group affiliation; whole in part; NIR spectroscopy; tracheids.

Установление групповой принадлежности и целого по части — это одни из наиболее сложных задач судебной ботанической экспертизы, предполагающие исследование как минимум двух объектов растительного происхождения (далее — ОРП) — идентифицирующего, групповая принадлежность или тождество которого должны быть установлены, и идентифицируемого, отображающего свойства идентифицирующего объекта и служащего средством отождествления. Зачастую такое исследование носит комплексный характер.

Комплексность обусловлена сложным характером ОРП, особенностями формирования его свойств и подразумевает выявление устойчивой индивидуальной совокупности общих и частных признаков, которая будет неповторима для рассматриваемых объектов. При этом данные признаки должны быть уникальными, а их количество — достаточным для формулирования экспертного вывода [9]. Все эти факторы обуславливают специфичность каждого отдельного ОРП и диктуют необходимость применения разных методов исследования.

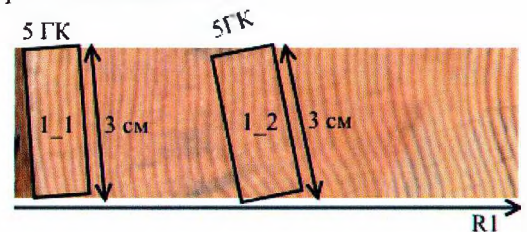
Отметим, что в Беларуси в числе ОРП, подлежащих судебнo-экспертному исследованию, довольно часто встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), что объясняется повсеместным распространением и хорошей транспортной доступностью сосновых лесов, а также высоким качеством и относительно невысокой стоимостью лесо- и пиломатериалов из сосны, их широким использованием в народном хозяйстве [1]. При этом на экспертное исследование поступают части стволов, доски и изделия из сосны, мелкие отщепы или стружки. В случае наличия у объектов исследования 50 и более годовичных колец (далее — ГК), установить целое по части возможно с помощью дендрохронологического анализа путем построения серий прироста и их сравнения. Однако при меньшем количестве ГК, использование одного только дендрохронологического анализа не дает нужного объема информации, а потому требуется использование других методов для выявления дополнительных идентификационных признаков.

Так, например, в работе Н. Gärtner и др. (2014) приводится информация о том, что размеры слагающих ГК анатомических элементов позволяют выделить конкретное растение из огромного числа подобных и индивидуализировать его как единичное [5]. В обзорной статье Е. Е. Dormontt и др. (2015) отмечено, что помимо дендрохронологического анализа, для экспертного исследования древесины могут применяться как микроскопические, так и многие физико-химические, в том числе спектральные, а также молекулярно-генетические методы исследования [4].

Цель работы — оценить возможность установления групповой принадлежности и целого по частям с привлечением данных о морфолого-анатомических параметрах и спектральных характеристиках ксилемы сосны обыкновенной.

Методы и методология исследования. Объектами исследования являлись 20 спилов с пней (а) и с нижней части бревен (б), древесины сосны обыкновенной толщиной 10–15 см, которые ранее принадлежали к стволам 50 деревьев. Отсутствующие отрезки древесины между спилами составили 60–70 см. На каждом спиле из пары было отмечено 8 участков длиной 3 см, содержащих по 5 ГК (от коры 1–5 и 21–25 ГК) (рисунок 1).

Фрагмент спила № 1а



Фрагмент спила № 1б

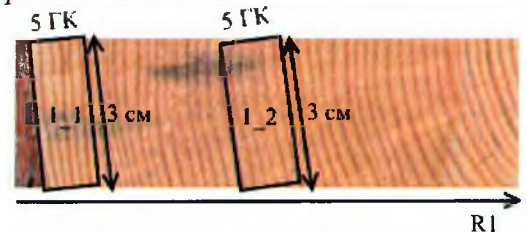


Рисунок 1 — Пример исследуемых участков на спилах № 1а и № 1б по 1 из 8 радиусов

Спилы предварительно высушивались при комнатной температуре (+15 до +25 °С). Далее производилась шлифовка всей нижней поверхности спила шлифовальной машиной Hyundai Sander O350 (Hyundai, Китай) с использованием абразива зернистостью P120-240, после чего она смачивалась водой для улучшения видимости ГК. Далее спилы сканировали на планшетном сканере Epson Perfection V19 («Epson», Индонезия) с разрешением 1200 dpi. Измерение ширины ГК производилось по отсканированным изображениям с помощью автоматизированного рабочего места «DendroExp» (точность 0,01 мм).

Для изучения в ближнем ИК-диапазоне влажность спилов не превышала 20 %. БИК-спектры регистрировали с использованием портативного БИК-спектрометра MicroNIR OnSite с диодно-матричным детектором (VIAVI, США) в диапазоне 10526–6060 см⁻¹ в режиме диффузного отражения с разрешением 2 см⁻¹ после усреднения накопленных спектрограмм, содержащих 64 сканирования. Для каждого участка было записано 40 спектров, которые в дальнейшем были усреднены до 4. Для регистрации спектров использовали программный пакет MicroNIR™ Pro 1700 (версия 2.5.1) (VIAVI, США). Из-за содержания большого количества избыточной («шумовой») информации в БИК-спектрах растений перед проведением сравнительных исследований проводилась их предварительная обработка, которая заключалась в вычислении производной второго порядка по методу Савицкого-Голея (с использованием 7 сглаживающих точек).

Для изучения анатомических деталей строения с каждого участка спила была отобрана отщепы древесины, которые в дальнейшем были использованы при приготовлении поперечных срезов толщиной ≈ 20 мкм с помощью санного микротомы Leica SM2010R (Leica Biosystems, Германия). Срезы анализировали при дневном освещении в поле зрения биологического микроскопа МИКМЕД 6 (ЛОМО, РФ), оснащенного цифровой камерой (ув. 40× свет искусственный проходящий). Рассчитывали следующие морфолого-анатомические параметры ГК: число ранних трахеид в радиальном ряду ГК (далее — $N_{РТ}$), шт.; число поздних трахеид в радиальном ряду ГК (далее — $N_{ПТ}$), шт.; радиальный размер ранних

трахеид (далее — $R_{РТ}$), мкм; радиальный размер поздних трахеид (далее — $R_{ПТ}$), мкм; толщину клеточной стенки ранних трахеид (далее — $W_{РТ}$), мкм; толщину клеточной стенки поздних трахеид (далее — $W_{ПТ}$), мкм.

Статистическая обработка результатов осуществлялась на персональном компьютере с использованием статистических пакетов The Unscrambler X v.10.4.1 (CAMO, США; лицензионный ключ — MKCNDKKAКBNRZSMNTSNSKFBRMMZRKK), Microsoft Excel v.10.0 (Microsoft Corporation, USA) с надстройкой ExStatR [2]. Для полученных древесно-кольцевых хронологий рассчитывались коэффициенты корреляции (далее — r), синхронности (далее — K_C) и $t_{ДКХ}$ -критерий (далее — $t_{ДКХ}$).

Для оценки меры сходства проводились расчеты евклидова расстояния. Процедуры классификации были проведены с использованием кластерного анализа (мера сходства — евклидово расстояние; дендрограммы составлялись по методу Уорда [8]), а также метода главных компонент [7] (далее — МГК). Классификационные модели строились при помощи линейного дискриминантного анализа (далее — ЛДА) [10]. В МГК и при построении моделей использовался алгоритм нелинейного итерационного проецирования при помощи чередующихся наименьших квадратов (NIPALS) [7].

Результаты исследования и их обсуждение. На первом этапе, на основании проведенных замеров ширины ГК вдоль 8-ми радиусов были получены усредненные серии прироста, выраженные в абсолютных единицах (мм). Далее проводилась их перекрестная датировка, по результатам которой спилы были сгруппированы в 10 пар, которые ранее принадлежали к стволу одного и того же дерева. Для всех пар спилов установлено визуальное сходство рисунка ГК, а также высокие значения рассчитанных математических показателей: r — 0,82 до 0,95; K_C — 95–99 %, $t_{ДКХ}$ — 17–27 (сила связи — сильная). Примеры серий прироста для спилов № 6 и № 8 представлены на рисунках 2 и 3.

Далее была изучена возможность установления принадлежности пар спилов №№ 1–10 с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области. Для этого ввиду невозможности прямого сравнения БИК-спектров проводилось построение классификационных моделей с использованием линейного дискриминантного анализа.

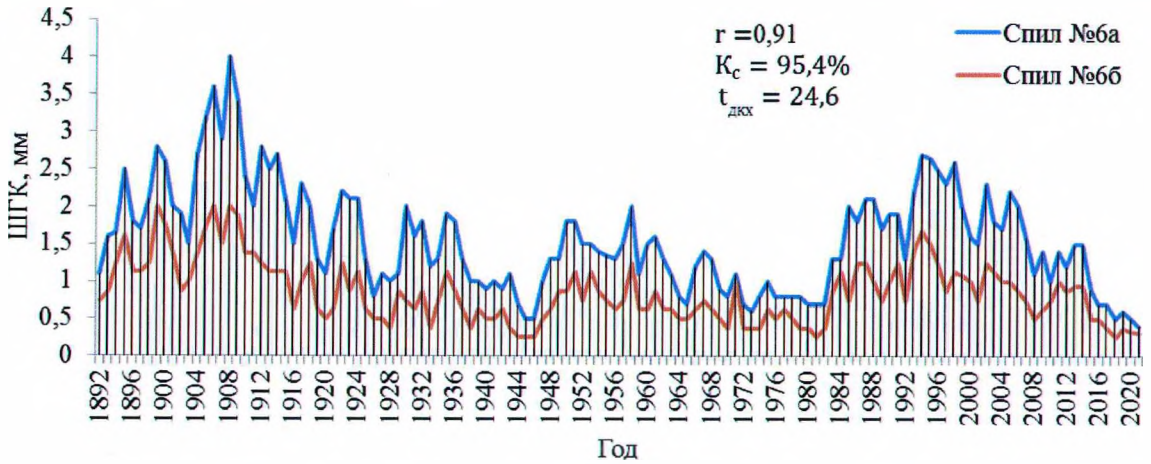


Рисунок 2 — Динамика ширины годичных колец для спилов № 6а и № 6б

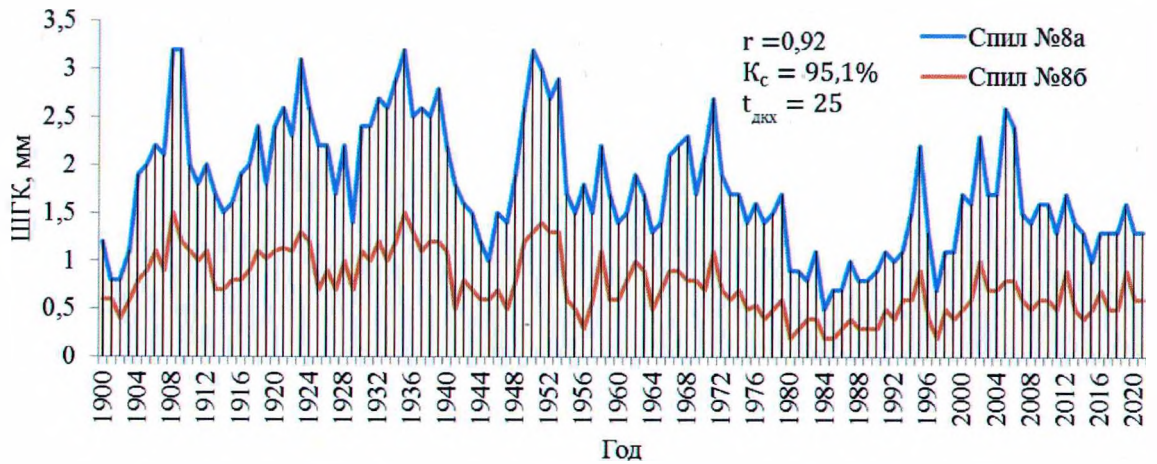


Рисунок 3 — Динамика ширины годичных колец для спилов № 8а и № 8б

Вначале полученные спектры были проанализированы с помощью метода главных компонент. Поскольку отличий между участками 1 и 2 не выявлено, они были объединены между собой. Результаты представлены на рисунке 4.

Как можно видеть, на матрице счетов отчетливо выделяются группы БИК-спектров, соответствующие исследованным спилам. При этом наиболее информативной в разделении спектров является первая главная компонента, так как на нее приходится наибольшая доля разброса (PC-1 объясняет 83 % общей дисперсии).

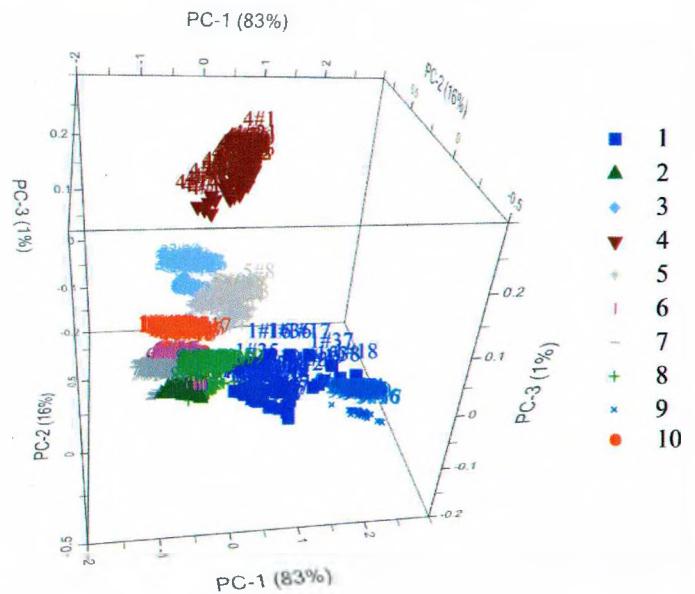


Рисунок 4 — Матрица счетов для исследованных образцов в 3D проекции; цифры соответствуют номерам спилов

Далее БИК-спектры из каждой группы были случайным образом пятикратно разделены на обучающие ($\approx 2/3$ спектров = 44) и валидационные ($\approx 1/3$ спектров = 20) выборки. На основе обучающих выборок проводилось построение классификационных LDA-моделей с применением пятиблочной перекрестной проверки [18]. По результатам проведения LDA для обучающих выборок было выявлено, что для спила № 2 было верно классифицировано $98,2 \pm 1,9$ (%) наблюдений, для спила № 4 — $97,7 \pm 1,6$ (%), для спила № 6 — $99,5 \pm 1,0$ (%), для спила № 7 — $99,1 \pm 1,2$ (%), для спила № 10 — $97,3 \pm 1,0$ (%), для спилов № 1, № 3, № 5, № 8 и № 9 — 100 % (таблица 1).

Средняя точность классификации обучающих выборок составила $99,1 \pm 1,1$ (%).

По результатам проведения LDA для валидационных выборок было выявлено, что для

спилов № 2 и № 4 было верно классифицировано $95 \pm 3,5$ (%) наблюдений, для спилов № 5, № 7 и № 8 — $99 \pm 2,2$ (%), для спилов № 1, № 3, № 6 и № 9 — 100 % (таблица 2).

Средняя точность классификации тестовых выборок составила $98,4 \pm 2,20$ (%).

В таблице 3 представлены классификационные функции, где $x_1 - x_7$ — включенные в классификационную модель дискриминантные переменные.

Таким образом, исследование БИК-спектров 10 пар спилов позволило провести их идентификацию с достаточно высокой точностью, даже несмотря на то, что в модель были включены все 10 спилов сразу. Для сравнения, при включении в модель 3 спилов из 10 (для спилов №№ 1–3, №№ 4–6 и №№ 7–9) установлена 100 % точность классификации как для обучающих, так и для валидационных выборок.

Таблица 1 — Результат LDA-классификации обучающих выборок БИК-спектров

| | | Спил | | | | | | | | | | |
|--|------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 | № 5 | № 6 | № 7 | № 8 | № 9 | № 10 | |
| Спил | № 1 | 44/44/44/ 44/44 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 1/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 2 | 0/0/0/0/0 | 43/44/44/ 42/43 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/1/0/0 |
| | № 3 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 44/44/44/ 44/44 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 4 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 43/43/42/ 43/44 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 5 | 0/0/0/0/0 | 1/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 44/44/44/ 44/44 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/1/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 6 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 44/43/44/ 44/44 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 7 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/1 | 0/0/0/0/0 | 0/1/2/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 43/44/44/ 43/44 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/1/1/1/1 |
| | № 8 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 44/44/44/ 44/44 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 9 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 44/44/44/ 44/44 | 1/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 10 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/2/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/1/0 | 0/0/0/0/0 | 0/1/0/0/0 | 1/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 43/43/42/ 43/43 |
| Точность, % | | 100/100/ 100/100/ 100 | 97,7/100/ 100/95,5/ 97,7 | 100/100/ 100/100/ 100 | 97,7/97,7/ 95,5/97,7/ 100 | 100/100/ 100/100/ 100 | 100/97,7/ 100/100/ 100 | 97,7/100/ 100/97,7/ 100 | 100/100/ 100/100/ 100 | 100/100/ 100/100/ 100 | 100/100/ 100/100/ 100 | 97,7/97,7/ 95,5/97,7/ 97,7 |
| Средняя точность \pm SD (%) = $99,1 \pm 1,1$ | | | | | | | | | | | | |

Примечание: По горизонтали — предсказанные группы; SD — стандартное отклонение.

Таблица 2 — Результат LDA-классификации валидационных выборок БИК-спектров

| | | Спил | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------|-----------|
| | | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 | № 5 | № 6 | № 7 | № 8 | № 9 | № 10 | |
| Спил | № 1 | 0/0/0/0/0 | 20/20/20/20/20 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/1 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 |
| | № 2 | 19/19/19/18/20 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/1 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | |
| | № 3 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 20/20/20/20/20 | 1/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | |
| | № 4 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 19/18/20/19/19 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | |
| | № 5 | 0/0/0/1/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 20/20/20/20/19 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | |
| | № 6 | 0/0/0/1/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 20/20/20/20/20 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 1/1/0/0/0 | |
| | № 7 | 0/1/1/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/1 | 0/0/0/0/0 | 19/20/20/20/20 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/1 | |
| | № 8 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/2/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 20/20/20/20/19 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | |
| | № 9 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 20/20/20/20/20 | 0/0/0/0/0 | |
| | № 10 | 1/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/1/0/1/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 1/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 0/0/0/0/0 | 19/19/20/20/19 | |
| Точность, % | 95/95/95/90/100 | 100/100/100/100/100 | 100/100/100/100/100 | 95/90/100/95/95 | 100/100/100/100/95 | 100/100/100/100/100 | 95/100/100/100/100 | 100/100/100/100/95 | 100/100/100/100/100 | 100/100/100/100/100 | 95/95/100/100/95 | |
| Средняя точность \pm SD (%) = 98,4 \pm 2,0 | | | | | | | | | | | | |

Примечание: По горизонтали — предсказанные группы; SD — стандартное отклонение.

Таблица 3 — Классификационные функции

| Группа | Переменные линейных классификационных функций | | | | | | |
|-----------|---|----------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 |
| Спил № 1 | -2,4 | -6401,8 | -512,1 | -557,9 | -134,7 | -164,4 | -635,1 |
| Спил № 2 | -273,9 | -3,1 | -15,4 | -32,3 | -12,5 | -2518,5 | -390,6 |
| Спил № 3 | -440,7 | -419,6 | -2,6 | -178,4 | -14,8 | -4328,4 | -419,0 |
| Спил № 4 | -214,9 | -605,8 | -131,9 | -2,5 | -13,3 | -2486,5 | -885,3 |
| Спил № 5 | -511,8 | -404,4 | -72,0 | -186,8 | -4,2 | -6398,0 | -1299,0 |
| Спил № 6 | -28,0 | -1461,3 | -75,4 | -265,0 | -98,6 | -2,7 | -30,2 |
| Спил № 7 | -33,3 | -1155,8 | -46,2 | -281,1 | -109,4 | -17,6 | -3,3 |
| Спил № 8 | -41,8 | -1551,9 | -118,5 | -174,7 | -71,8 | -148,8 | -184,4 |
| Спил № 9 | -22,7 | -16353,4 | -1510,0 | -1108,0 | -243,6 | -567,2 | -2353,3 |
| Спил № 10 | -58,6 | -714,7 | -37,8 | -156,0 | -77,2 | -102,0 | -31,9 |

На следующем этапе работы были проанализированы морфолого-анатомические параметры ГК на 8-ми участках каждого спила. Полученные усредненные данные представ-

лены в таблице 4 (при этом цифра 1 после номера спилов соответствует участкам с ГК 1–5 от коры, цифра 2 — участкам с ГК 21–25 соответственно).

Таблица 4 — Рассчитанные морфолого-анатомические параметры ГК

| Спил | ШГК | ±SD | ШПД | ±SD | N _{гк} | ±SD | R _{гк} | ±SD | W _{гк} | ±SD | N _{гк} | ±SD | R _{гк} | ±SD | W _{гк} | ±SD | |
|-----------|-------|------|-------|------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|------|------|
| Пара № 1 | 1a_1 | 1,44 | 0,15 | 0,46 | 0,06 | 27,71 | 1,33 | 35,52 | 4,00 | 2,58 | 0,03 | 24,73 | 1,98 | 18,57 | 1,30 | 4,44 | 0,08 |
| | 1a_2 | 1,28 | 0,02 | 0,44 | 0,01 | 27,20 | 0,41 | 31,06 | 0,33 | 2,37 | 0,05 | 23,16 | 0,17 | 19,00 | 0,32 | 4,43 | 0,02 |
| | 1б_1 | 1,46 | 0,14 | 0,46 | 0,06 | 28,07 | 1,03 | 35,69 | 4,03 | 2,60 | 0,03 | 24,60 | 2,18 | 18,61 | 0,87 | 4,43 | 0,07 |
| | 1б_2 | 1,28 | 0,01 | 0,44 | 0,01 | 27,22 | 0,41 | 31,11 | 0,34 | 2,36 | 0,04 | 23,07 | 0,32 | 18,89 | 0,43 | 4,40 | 0,03 |
| Пара № 2 | 2a_1 | 1,73 | 0,11 | 0,43 | 0,02 | 32,91 | 2,46 | 39,64 | 0,68 | 2,15 | 0,01 | 22,04 | 1,08 | 19,41 | 0,31 | 4,30 | 0,02 |
| | 2a_2 | 1,40 | 0,03 | 0,42 | 0,02 | 31,49 | 0,46 | 30,96 | 0,67 | 2,10 | 0,01 | 22,27 | 1,07 | 18,92 | 0,55 | 4,20 | 0,02 |
| | 2б_1 | 1,73 | 0,10 | 0,44 | 0,03 | 32,69 | 2,36 | 39,51 | 0,57 | 2,15 | 0,01 | 22,47 | 1,05 | 19,58 | 0,30 | 4,30 | 0,01 |
| | 2б_2 | 1,40 | 0,03 | 0,42 | 0,02 | 31,64 | 0,62 | 30,91 | 0,75 | 2,10 | 0,01 | 22,18 | 1,13 | 19,11 | 0,26 | 4,21 | 0,01 |
| Пара № 3 | 3a_1 | 0,93 | 0,05 | 0,36 | 0,01 | 16,96 | 1,61 | 33,65 | 0,26 | 2,05 | 0,01 | 23,11 | 0,32 | 15,47 | 0,11 | 4,14 | 0,04 |
| | 3a_2 | 1,08 | 0,02 | 0,36 | 0,02 | 22,62 | 0,31 | 31,88 | 0,36 | 2,04 | 0,01 | 22,91 | 0,14 | 15,77 | 1,06 | 4,17 | 0,04 |
| | 3б_1 | 0,92 | 0,04 | 0,36 | 0,004 | 16,84 | 1,33 | 33,47 | 0,36 | 2,04 | 0,02 | 23,18 | 0,22 | 15,49 | 0,11 | 4,15 | 0,06 |
| | 3б_2 | 1,09 | 0,03 | 0,36 | 0,02 | 22,56 | 0,18 | 32,47 | 1,13 | 2,05 | 0,01 | 22,84 | 0,33 | 15,69 | 1,01 | 4,16 | 0,04 |
| Пара № 4 | 4a_1 | 1,55 | 0,10 | 0,60 | 0,02 | 30,69 | 3,30 | 30,95 | 0,83 | 2,30 | 0,02 | 31,53 | 0,53 | 18,89 | 0,28 | 4,30 | 0,02 |
| | 4a_2 | 1,42 | 0,11 | 0,56 | 0,07 | 27,87 | 0,90 | 30,81 | 0,82 | 2,31 | 0,01 | 29,62 | 3,34 | 19,02 | 0,21 | 4,21 | 0,01 |
| | 4б_1 | 1,54 | 0,12 | 0,60 | 0,01 | 30,47 | 3,64 | 30,83 | 0,75 | 2,31 | 0,02 | 31,69 | 0,49 | 18,90 | 0,30 | 4,30 | 0,01 |
| | 4б_2 | 1,42 | 0,12 | 0,56 | 0,06 | 27,76 | 1,34 | 30,97 | 1,01 | 2,30 | 0,01 | 29,67 | 3,10 | 18,91 | 0,29 | 4,20 | 0,03 |
| Пара № 5 | 5a_1 | 0,81 | 0,13 | 0,20 | 0,04 | 19,71 | 5,06 | 30,90 | 0,84 | 2,29 | 0,03 | 11,82 | 2,14 | 16,99 | 0,44 | 4,90 | 0,04 |
| | 5a_2 | 1,21 | 0,16 | 0,39 | 0,02 | 26,56 | 5,10 | 30,98 | 0,93 | 2,30 | 0,02 | 22,22 | 1,32 | 17,52 | 0,39 | 4,93 | 0,05 |
| | 5б_1 | 0,83 | 0,13 | 0,20 | 0,03 | 20,44 | 4,75 | 30,93 | 0,71 | 2,30 | 0,02 | 11,93 | 2,31 | 16,80 | 0,65 | 4,88 | 0,02 |
| | 5б_2 | 1,18 | 0,17 | 0,38 | 0,03 | 26,22 | 5,10 | 30,72 | 0,57 | 2,29 | 0,03 | 22,16 | 1,33 | 17,11 | 0,25 | 4,87 | 0,01 |
| Пара № 6 | 6a_1 | 1,15 | 0,10 | 0,36 | 0,06 | 24,42 | 0,41 | 32,55 | 1,59 | 2,64 | 0,03 | 20,40 | 1,69 | 17,35 | 1,64 | 4,46 | 0,02 |
| | 6a_2 | 1,29 | 0,03 | 0,42 | 0,01 | 27,24 | 0,62 | 31,94 | 0,09 | 2,63 | 0,02 | 22,36 | 0,34 | 18,79 | 0,40 | 4,45 | 0,03 |
| | 6б_1 | 1,16 | 0,09 | 0,36 | 0,05 | 24,69 | 0,53 | 32,46 | 1,56 | 2,64 | 0,02 | 20,40 | 1,39 | 17,61 | 1,17 | 4,44 | 0,05 |
| | 6б_2 | 1,31 | 0,01 | 0,41 | 0,01 | 27,27 | 0,31 | 32,97 | 0,23 | 2,64 | 0,01 | 21,87 | 0,65 | 18,85 | 0,38 | 4,23 | 0,04 |
| Пара № 7 | 7a_1 | 1,51 | 0,02 | 0,43 | 0,01 | 28,09 | 0,40 | 38,53 | 0,40 | 2,38 | 0,04 | 22,18 | 0,45 | 19,29 | 0,51 | 4,98 | 0,02 |
| | 7a_2 | 1,46 | 0,03 | 0,41 | 0,01 | 27,38 | 0,51 | 38,43 | 0,38 | 2,45 | 0,03 | 22,47 | 0,45 | 18,41 | 0,39 | 4,99 | 0,02 |
| | 7б_1 | 1,49 | 0,03 | 0,41 | 0,02 | 28,20 | 0,21 | 38,24 | 0,42 | 2,45 | 0,04 | 21,82 | 0,85 | 18,87 | 0,49 | 5,02 | 0,03 |
| | 7б_2 | 1,51 | 0,02 | 0,42 | 0,01 | 28,22 | 0,29 | 38,55 | 0,24 | 2,44 | 0,03 | 22,31 | 0,14 | 18,69 | 0,27 | 4,98 | 0,05 |
| Пара № 8 | 8a_1 | 1,30 | 0,01 | 0,42 | 0,02 | 28,09 | 0,55 | 31,32 | 0,44 | 2,44 | 0,03 | 21,84 | 0,28 | 19,33 | 0,83 | 4,91 | 0,06 |
| | 8a_2 | 1,30 | 0,05 | 0,42 | 0,01 | 27,93 | 0,23 | 31,23 | 1,68 | 2,46 | 0,03 | 21,78 | 0,42 | 19,46 | 0,36 | 4,91 | 0,04 |
| | 8б_1 | 1,29 | 0,01 | 0,42 | 0,01 | 27,87 | 0,33 | 31,25 | 0,42 | 2,44 | 0,04 | 21,89 | 0,44 | 19,32 | 0,44 | 4,90 | 0,02 |
| | 8б_2 | 1,30 | 0,05 | 0,43 | 0,01 | 27,93 | 0,30 | 31,23 | 1,97 | 2,44 | 0,04 | 22,11 | 0,58 | 19,27 | 0,57 | 4,89 | 0,04 |
| Пара № 9 | 9a_1 | 1,36 | 0,04 | 0,42 | 0,02 | 28,71 | 0,35 | 32,59 | 1,23 | 2,29 | 0,02 | 22,11 | 0,65 | 19,18 | 0,50 | 4,29 | 0,03 |
| | 9a_2 | 1,35 | 0,02 | 0,43 | 0,02 | 28,98 | 0,20 | 31,81 | 0,18 | 2,29 | 0,02 | 22,22 | 0,56 | 19,29 | 0,70 | 4,31 | 0,03 |
| | 9б_1 | 1,37 | 0,04 | 0,43 | 0,01 | 29,02 | 0,28 | 32,50 | 1,16 | 2,30 | 0,01 | 21,89 | 0,37 | 19,54 | 0,35 | 4,29 | 0,04 |
| | 9б_2 | 1,36 | 0,02 | 0,43 | 0,01 | 29,00 | 0,39 | 31,96 | 0,10 | 2,30 | 0,03 | 21,84 | 0,65 | 19,64 | 0,23 | 4,30 | 0,02 |
| Пара № 10 | 10a_1 | 1,73 | 0,23 | 0,55 | 0,003 | 30,62 | 2,30 | 38,19 | 4,61 | 2,30 | 0,02 | 26,87 | 0,51 | 20,39 | 0,47 | 5,14 | 0,07 |
| | 10a_2 | 1,36 | 0,01 | 0,44 | 0,004 | 27,87 | 0,20 | 33,08 | 0,26 | 2,29 | 0,03 | 21,98 | 0,31 | 19,88 | 0,26 | 5,02 | 0,06 |
| | 10б_1 | 1,71 | 0,23 | 0,54 | 0,02 | 30,24 | 2,22 | 38,30 | 4,82 | 2,31 | 0,01 | 26,67 | 0,36 | 20,33 | 0,37 | 5,16 | 0,07 |
| | 10б_2 | 1,36 | 0,002 | 0,43 | 0,01 | 28,11 | 0,37 | 33,11 | 0,17 | 2,29 | 0,02 | 21,76 | 0,28 | 19,88 | 0,77 | 5,07 | 0,05 |

Примечание: ±SD — стандартное отклонение, ШГК — ширина годичного кольца, ШПК — ширина поздней древесины в годичном кольце.

Далее проводился кластерный анализ данных из таблицы 4 с целью объединения сравниваемых участков в группы, обладающие сходными характеристиками (кластеры). Полученные результаты представлены на рисунке 5. Как можно видеть из дендрограммы 1, во всех случаях участки, усредненные в зависимости от исследованных ГК (1–5 или 21–25), и т. д. объединились в пары, соответствующие спилам (например, пара 1а_1 и 1б_1 и пара 1а_2 и 1б_2). Из-за того, что исследовались участки с разной шириной ГК, объединение участков 1 и 2 в спилах в один кластер не предполагалось и отмечено только в некоторых случаях. На дендрограмме 2 показано, что исследованные участки 1 и 2 для спилов № 1 и № 2 разбились на 2 кластера с расстоянием между ними 151,66; при этом расстояние между участками 1 и 2 для спила № 1 составило 13,13, а для спила № 2 — 113,98 соответственно. Таким образом, полученная при исследовании морфолого-анатомических параметров ГК информация может быть использована для уста-

новления целого по частям. Однако в данном случае, в отличие от анализа БИК-спектров, принципиальное значение имеет первоначальное совпадение сравниваемых объектов по основным параметрам радиального прироста, в том числе интенсивности окраски, ширине и конфигурации ГК.

Заключение

Таким образом, проведенное комплексное исследование морфолого-анатомических параметров ГК и спектральных характеристик позволило установить принадлежность целого по частям для исследованных пар спилов №№ 1–10 (а и б).

В работе экспериментально доказано, что индивидуальные особенности в строении и составе ксилемы сосны обыкновенной могут быть использованы при проведении судебно-экспертных исследований по установлению групповой принадлежности и целого по частям. Прослеживается следующая тенденция: чем

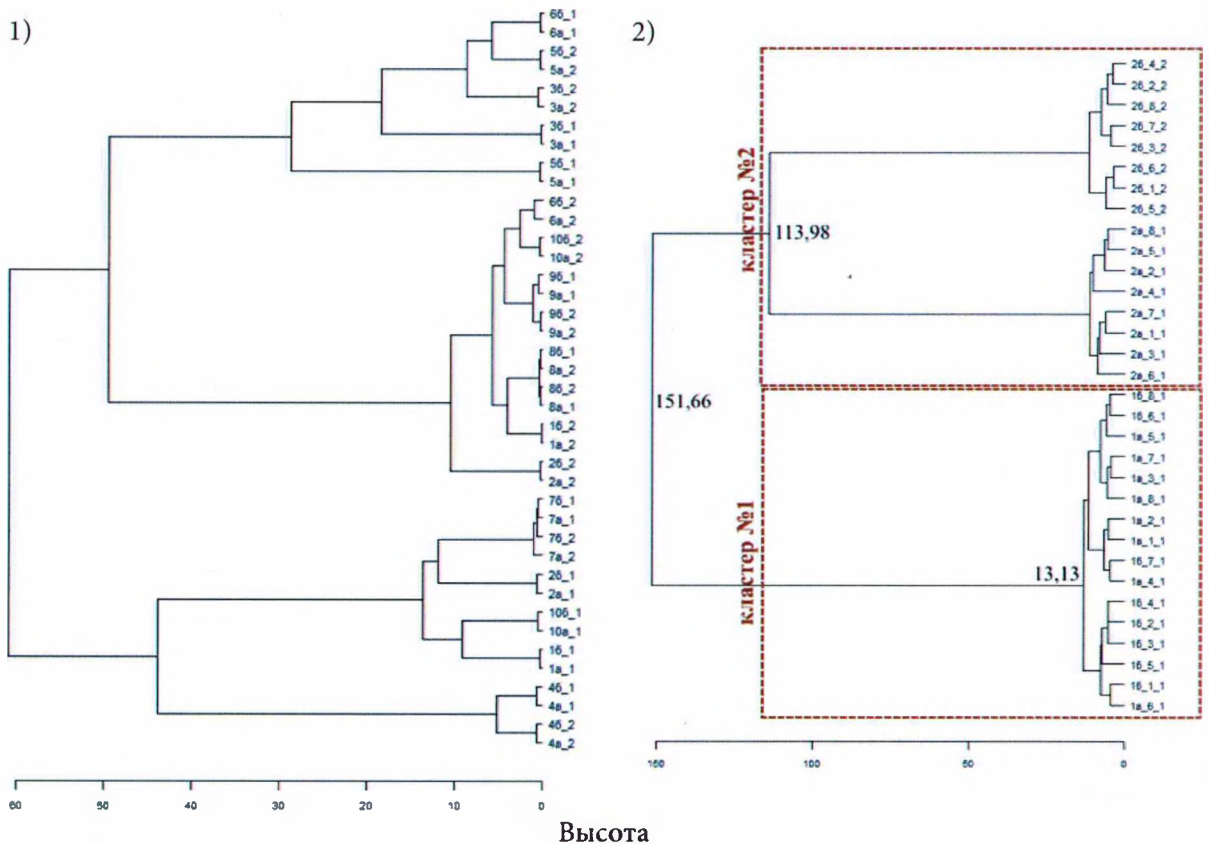


Рисунок 5 — Горизонтальные дендрограммы распределения исследованных объектов по кластерам: 1) усредненная по участкам 1 и 2 для спилов №№ 1–10; 2) по участкам 1_1–1_8 и 2_1–2_8 для спилов № 1 и № 2

больше параметров анализируется, тем больше вероятность того, что эксперт сможет установить целое по частям. Однако даже в том случае, если выявленная совокупность признаков позволила установить только общую групповую принадлежность сравниваемых объектов, это имеет важное значение для расследования.

Предложенная схема исследования позволила получить разноплановую информацию об объектах исследования, а также набрать необходимое и достаточное количество совпадающих признаков, комплекс которых может быть признан неповторимым (уникальным), для проведения идентификации; она может быть применена и для других ОПИ. При этом эксперту следует тщательно оценить идентификационную значимость каждого установленного признака. Анализ морфолого-анатомических параметров ГК обеспечил проверку достоверности ранее полученной на основе спектральных данных LDA-модели и, одновременно, дополнил информацию об исследуемых

объектах. Такой подход, расширяющий экспертные возможности, уже зарекомендовал себя в экспертной практике Беларуси [3].

Следует отметить, что комплексный подход к решению экспертных задач как проявление прогрессивной тенденции интеграции знаний значительно расширяет возможности судебной экспертизы и тем самым повышает ее эффективность как средства доказывания. Автор полагает, что полученные результаты имеют значение и с точки зрения методологических аспектов изучения индивидуальной изменчивости, в том числе для выявления закономерностей и закономерностей формирования морфолого-анатомических параметров годичных колец в зависимости от климатических факторов, техногенного загрязнения и др., а изложенные подходы могут быть востребованы для решения теоретических и практических задач в области систематики, селекции, при изучении механизмов адаптации сосны к неблагоприятным условиям среды.

Список использованных источников

1. Луферов, А. О. Распространение естественного возобновления сосны обыкновенной в зависимости от расстояния до потенциальных источников обсеменения / А. О. Луферов // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. — 2022. — № 1 (252). — С. 26–35.
2. Новаковский, А. Б. Exstat — расширение Excel для статистической обработки данных в экологии / А. Б. Новаковский, И. В. Новаковская // Цианопрокариоты / цианобактерии: систематика, экология, распространение. — 2019. — С. 41–44.
3. Хох, А. Н. Пути совершенствования судебно-ботанической экспертизы в Республике Беларусь / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Судебная экспертиза Беларуси. — 2019. — № 2. — С. 67–72.
4. Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging/ E. E. Dormontt [et al.] // Biological Conservation. — 2015. — Vol. 191. — P. 790–798.
5. Gärtner, H. New perspectives for wood anatomical analysis in dendrosciences: the GSL1-microtome / H. Gärtner, S. Lucchinetti, F.H. Schweingruber // Dendrochronologia. — 2014. — Vol. 32, № 1. — P. 47–51.
6. Iannucci, L. Chemometrics for data interpretation: Application of principal components analysis (PCA) to multivariate spectroscopic measurements / L. Iannucci // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. — 2021. — Vol. 24, № 4. — P. 42–48.
7. Ochoa-Muñoz, A. F. Missing data in multiple correspondence analysis under the available data principle of the NIPALS algorithm / A. F. Ochoa-Muñoz, V.M. González-Rojas, C. E. Pardo // Dyna. — 2019. — Vol. 86, № 211. — P. 249–257.
8. Sharma, A. Review of clustering methods: toward phylogenetic tree constructions / A. Sharma, S. Jaloree, R. S. Thakur // Proceedings of International Conference on Recent Advancement on Computer and Communication. — Springer, Singapore, 2018. — P. 475–480.
9. Swofford, H. J. Lay Understanding of “Identification”: How Jurors Interpret Forensic Identification Testimony / H. J. Swofford, J. G. Cino // Journal of Forensic Identification. — 2018. — Vol. 68, № 1. — P. 29–41.
10. Linear discriminant analysis: A detailed tutorial / A. Tharwat [et al.] // AI communications. — 2017. — Vol. 30, № 2. — P. 169–190.

Дата поступления: 15.04.2024