



А. Н. Хох
(A. N. Khokh)

УДК 674.032:520.84

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУДЕБНО-БОТАНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

(THE WAYS OF IMPROVING THE FORENSIC-BOTANICAL
EXAMINATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS)



В. Б. Звягинцев
(V. B. Zvyagintsev)

Самостоятельный вид судебно-ботанических экспертиз для Республики Беларусь является относительно новым, только формируемым, что требует поиска результативных методов и приемов для получения доказательственной информации. В представленной работе нами оценен потенциал использования информации об анатомическом строении и химическом составе в сочетании с методами многомерного статистического анализа для установления принадлежности фрагментов древесины (на примере сосны обыкновенной) единому целому. Сделан вывод о необходимости использования в указанных целях комплексного подхода, который ранее к решению подобных задач не применялся.

Ключевые слова: судебно-ботаническая экспертиза; древесина; анатомические признаки; кластерный анализ; ИК-спектроскопия в ближней области; хемометрические алгоритмы; метод главных компонент

На месте происшествия, а также на предметах, контактировавших с преступником или потерпевшим, зачастую остаются части тех или иных растений, которые могут являться либо орудиями совершения преступления, либо объектами преступного посягательства. В этой связи в настоящее время одним из важнейших направлений деятельности Научно-практического центра Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь является разработка новых подходов к исследованию объектов растительного происхождения.

Судебно-ботаническая экспертиза (далее – СБЭ) призвана оказать помощь следствию при раскрытии самых разнообразных преступлений: убийств, изнасилований, дорожно-транспортных происшествий, пожаров, незаконных рубок леса и многих других. Проведение СБЭ обладает рядом преимуществ: сокращение сроков расследования, получение весомых доказательств, а также дополнительные гарантии против необоснованного привлечения граждан к уголовной и административной ответственности. Большая часть таких экспертиз назначается в ходе досудебного расследования, оставшееся количество приходится непосредственно на судебное разбирательство.

Одной из основных задач СБЭ является идентификация целого по частям при отсутствии общих линий разделения, что до настоящего времени возможно лишь в отношении весьма ограниченного числа растений. Большие

Хох Анна Николаевна, заведующий лабораторией исследования материалов, веществ и изделий научного отдела технических и специальных исследований Научно-практического центра Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь (Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Филимонова, 25; e-mail: 1ann1hoh@gmail.com; тел./факс: +375173166384)

Звягинцев Вячеслав Борисович, заведующий кафедрой лесозащиты и древесиноведения Белорусского государственного технологического университета (Беларусь, 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а; e-mail: mysolog@tut.by), кандидат биологических наук, доцент

Anna N. Khokh, Scientific and Practical Center of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus (Minsk, Belarus)

Vyacheslav B. Zvyagintsev, Belarusian State Technological University (Minsk, Belarus), Ph. D. in Biology, Associate Professor



Рисунок 1. Исследуемые фрагменты древесины

сложности представляет решение такого рода задач в случае поступления на исследование мелких фрагментов древесины. В связи с этим представляет практический интерес поиск новых подходов к экспертному исследованию данных объектов растительного происхождения, поскольку дальнейшее внедрение в практику судебно-ботанических исследований инструментальных методов позволит выявить новые признаки строения растительных тканей.

Цель исследования заключалась в изучении возможности увеличения разрешающей способности СБЭ за счет привлечения данных о клеточных структурах и химическом составе древесины (на примере сосны обыкновенной).

В данной работе на конкретном примере приводится подробное описание хода исследования при решении вопроса о том, составляли ли ранее единое целое деревянный брус и два фрагмента древесины, изъятые у подозреваемого.

Фрагменты размером 3x5 мм и 2x7 мм имели 3-4 годичных слоя (рисунок 1), а потому вследствие недостаточности информации провести их отождествление при помощи дендрохронологического анализа не представлялось возможным.

Исследования древесины проводили в определенной последовательности, начиная с установления ее видовой принадлежности [1-3].

Так, видовую принадлежность деревянного бруса устанавливали на основании макроскопических (видимых невооруженным глазом) признаков древесины. В результате анализа установлено следующее:

наличие ядра, которое ясно отличимо по цвету от заболони;

небольшое количество сучков по всей поверхности бруса;

цвет древесины: заболонь имеет желто-коричневый цвет, ядро – грязно-коричневый;

степень твердости: мягкая;

наличие блеска древесины на торцевых поверхностях;

хорошая степень видимости годичных слоев и их очертания;

светлая ранняя древесина плавно переходит в темную позднюю;

выраженная граница между ранней и поздней древесиной.

Установление видовой принадлежности фрагментов древесины проводили с помощью атомического анализа. Для приготовления срезов использовали санный микротом Leica SM2010R, срезы готовили в поперечном, радиальном и тангенциальном направлениях. Толщина срезов составляла ≈ 20 мкм. Срезы не окрашивали.

Изучение анатомических деталей строения древесины проводили в поле зрения биологического микроскопа МИКМЕД 6 (ЛОМО), оснащенного цифровой камерой (ув. 400x, свет искусственный проходящий).

В результате проведенного исследования анатомического строения установлено:

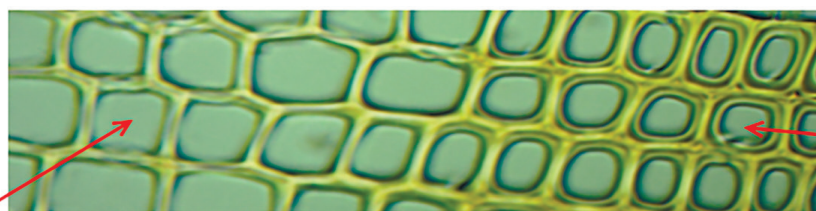
- поперечный срез древесины представлен трахеидами (расположенные радиальными рядами вытянутые клетки с кососрезанными концами):

- ранние трахеиды – тонкостенные и широкополостные;

- поздние трахеиды – толстостенные, вытянуты в тангенциальном и несколько сдавлены в радиальном направлении.

Переход от ранних к поздним трахеидам не резкий (рисунок 2). Встречаются вертикальные смоляные ходы-каналы (преимущественно в поздней древесине), окруженные выстилающими тонкостенными клетками. На срезе заметны сердцевинные лучи в виде темных полос, идущих в радиальном направлении и представляющих структуру из вытянутых в направлении луча клеток;

- на радиальном срезе хорошо различимы трахеиды в виде длинных клеток. В ранней древесине они широки и имеют на радиальных стенках много крупных окаймленных пор в виде двух концентрических светлых пятен.



Ранняя трахеида

Поздняя трахеида

Рисунок 2. Поперечный срез деревянного бруса, ув. 400x

Поздние трахеиды узки, окаймленных пор в них мало и они мельче, чем в ранних трахеидах, а вместо внутреннего круга имеют косую щель. Трахеиды пересекают сердцевинные лучи. Выглядят они как темные полоски и состоят из краевых (мертвых) с мелкими окаймленными порами клеток, служащих для проведения воды от слоя к слою по радиусу и средних (живых) с простыми порами, имеющими вид больших светлых пятен (рисунок 3);

- на тангенциальном срезе видны сердцевинные лучи, перерезанные поперек, в виде вертикальных цепочек разной длины. Трахеиды на радиальных стенках имеют окаймленные поры в виде вилочек.

Смоляные ходы, перерезанные поперек, можно видеть в крупных сердцевинных лучах в виде вертикальных веретен. Это горизонтальные смоляные ходы, состоящие из тех же элементов, что и вертикальные. Они соединяют вертикальные смоляные ходы различных годовичных слоев. Иногда на тангенциальном разрезе можно увидеть продольный разрез вертикального смоляного хода (рисунок 4).

Таким образом, на основании выявленного комплекса макро- и микроскопических признаков исследуемые объекты относятся к хвойным породам, а именно к семейству Сосновые (Pinaceae), роду Сосна (Pinus), виду Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Для ответа на вопрос идентификации целого по частям были проведены исследования фрагментов древесины и деревянного бруса с помощью метода БИК-спектроскопии [4-7], позволяющего производить исследования без разрушения объекта и не требующего использования дорогостоящих расходных материалов.

На деревянном бруске было выбрано четыре наиболее характерных участка с деформированной поверхностью, с которой потенциально могли быть отколоты имеющиеся в нашем распоряжении фрагменты древесины.

Также в исследование были включены два других сосновых бруса (образцы N и N1), которые использовались в качестве сравнительных образцов.

Спектры были получены с использованием портативного БИК-спектрометра MicroNIR OnSite (VIAMI, США) в диапазоне 950-1650 нм в режиме диффузного отражения. Все измерения проводились в контролируемой влажности (<60%) и при 20°C.

Для каждого исследуемого участка, а также каждого из фрагментов проводили по 20 последовательных измерений.

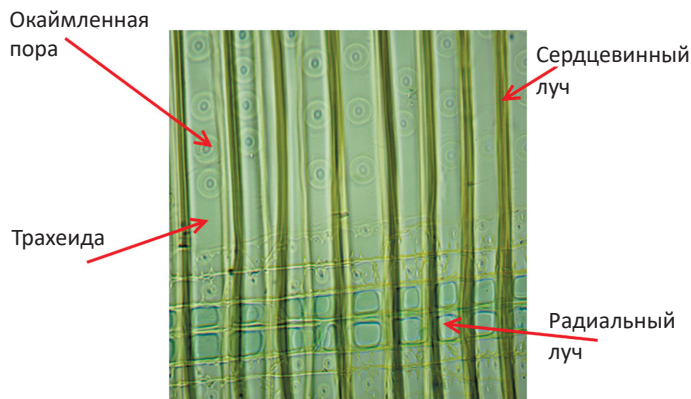


Рисунок 3. Радиальный срез деревянного бруса, ув. 400х

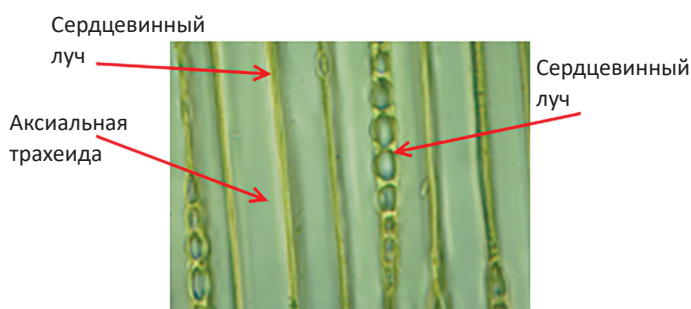


Рисунок 4. Тангенциальный срез деревянного бруса, ув. 400х

Для дальнейшего анализа полученные измерения спектров усреднялись.

Обработка сигналов и анализ данных проводился с использованием программного обеспечения The Unscrambler X (CAMO, США) [8]. Предварительная обработка сигнала включала вычисление второй производной по алгоритму Савицкого-Голея.

В результате проведенных исследований было показано, что БИК-спектры всех исследованных образцов имеют схожий вид, однако применение статистических методов анализа позволило осуществить их дифференциацию.

Таким образом, с учетом скорректированных данных была построена предсказательная классификационная модель, позволяющая выявить сходство и различия между образцами.

Поскольку анализировалось достаточно небольшое количество образцов, проверка модели осуществлялась с помощью метода кросс-валидации, т. е. из общего массива данных сначала изымали один образец (имеется в виду одно измерение из 20-ти проведенных), после чего модель перестраивали. Затем данный образец подставляли в модель как контрольный и вычисляли разницу между его первоначальным положением в модели и положением после изъятия. Процедура повторялась для всех образцов, включенных в модель.

На рисунке 5 представлены результаты проведенного анализа методом главных компонент [9]. Как можно видеть, на графике отчетливо выделяются три группы образцов: 1) образец N (для сравнения); 2) образец N1 (для сравнения); 3) исследуемые фрагменты: участки деревянного бруса № 1 - № 4. При этом образцы N и N1 локализованы в области отрицательных значений по фактору 1, в то время как образцы с деревянного бруса

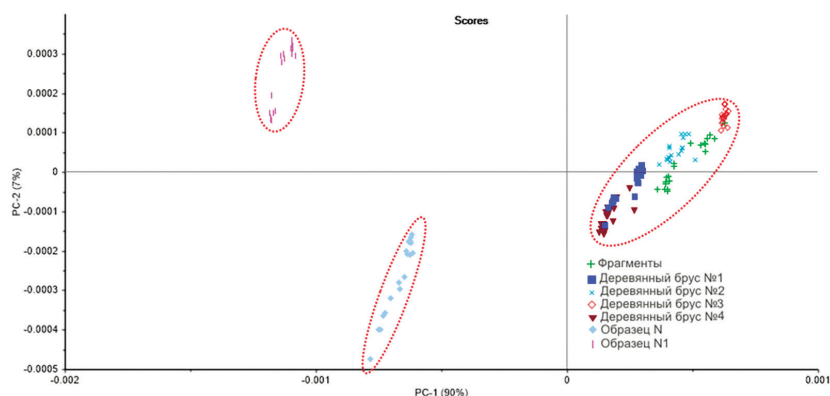


Рисунок 5. Результаты PCA-анализа данных

(участки № 1 - № 4) и фрагменты древесины имеют положительные значения счетов по оси фактора 1 (определяющий фактор, которым объясняется 90%).

Результаты данного эксперимента позволяют сделать вывод о том, что исследованные методом БИК-спектроскопии фрагменты древесины и деревянный брус ранее составляли единое целое.

Однако для подтверждения полученных результатов на поперечных срезах с исследуемых фрагментов древесины и тех же зон деревянного бруса, которые были исследованы с помощью метода БИК-спектроскопии, проводилось исследование анатомического строения трахеид.

Изучали и анализировали следующие размерные характеристики [10-13]: радиальный размер полости трахеид ранней древесины (D_{early}); тангенциальный размер полости трахеид ранней древесины (T_{early}); радиальный размер полости трахеид поздней древесины (D_{late}); тангенциальный размер полости трахеид поздней древесины (D_{late}); толщина стенок трахеид ранней древесины (CWT_{early}); толщина стенок трахеид поздней древесины

(CWT_{late}); площадь клеточной стенки трахеид ранней древесины ($CWT_{area\ early}$); площадь клеточной стенки трахеид поздней древесины ($CWT_{area\ late}$); площадь полостей трахеид ранней древесины ($LUM_{area\ early}$); площадь полостей трахеид поздней древесины ($LUM_{area\ late}$).

Их измерения проводили в программе MCVIEW (LOMO-Microsystems, Россия). Полученные данные далее автоматически преобразовывались в сводную электронную таблицу формата Microsoft Office Excel.

Расчет площади клеточной стенки (CWT_{area}) и площади полости (S_p) проводили по следующим формулам:

$$CWT_{area} = 2 \times CWT \times (T_{клетки} + D_{клетки} - 2 \times CWT) \quad [1];$$

$$LUM_{area} = D_{клетки} \times T_{клетки} - CWT_{area} \quad [2].$$

В таблице 1 суммированы полученные в ходе исследования результаты.

Далее проводился кластерный анализ с целью объединения сравниваемых образцов в группы, обладающие сходными характеристиками (кластеры).

Таблица 1. Количественные характеристики анатомического строения трахеид древесины *Pinus sylvestris* L. на поперечном разрезе

Признак	Измеряемый параметр	Фрагменты	Деревянный брус				Образец	
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	N	N1
Ранние трахеиды = исследовали 146 клеток в каждой группе	$D_{early} \mu m$	35,11	34,97	34,67	35,37	35,24	44,71	32,87
	SD	5,60	5,10	4,73	5,80	5,40	10,71	4,67
	$Cv_x (\%)$	15,95	14,58	13,64	16,40	15,32	23,95	14,21
	$T_{early} \mu m$	27,13	27,23	26,98	27,01	27,20	28,76	24,55
	SD	4,90	4,70	4,22	4,60	5,00	4,99	3,86
	$Cv_x (\%)$	18,06	17,26	15,64	17,03	18,38	17,35	15,72
	$CWT_{early} \mu m$	2,10	2,00	2,00	2,20	2,10	2,50	1,90
	SD	0,22	0,31	0,20	0,18	0,19	0,56	0,34
	$Cvx (\%)$	10,48	15,50	10,00	8,18	9,05	22,40	17,89
	$CWT_{area\ early} \mu m^2$	279,05	264,80	276,57	279,64	279,89	392,35	232,64
	$LUM_{area\ early} \mu m^2$	952,53	952,23	935,40	955,34	958,53	1285,86	806,96

окончание таблицы

Признак	Измеряемый параметр	Фрагменты	Деревянный брус				Образец	
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	N	N1
Поздние трахеиды=исследовали 88 клеток в каждой группе	D _{late} μm	7,90	8,00	7,60	7,92	7,80	9,10	8,80
	SD	1,62	1,70	1,88	2,08	1,99	4,78	4,22
	Cv _x (%)	20,51	21,25	24,74	26,26	25,51	52,53	47,95
	T _{late} μm	12,90	13,20	12,60	12,80	13,00	17,01	16,40
	SD	4,41	3,78	4,38	4,43	4,46	4,56	5,12
	Cv _x (%)	34,19	28,64	35,00	34,45	33,92	26,81	31,22
	CWT _{late} μm	4,95	4,90	4,87	5,00	4,75	5,61	5,40
	SD	0,77	0,70	0,81	0,69	0,57	1,13	1,06
	Cv _x (%)	15,56	14,29	16,63	13,80	12,00	20,14	19,63
	CWT _{area early} μm ²	303,93	303,80	291,61	307,20	287,85	418,84	388,80
	LUM _{area early} μm ²	101,91	105,60	95,76	101,38	101,40	154,79	144,32

Метрика для учета различий в динамике – евклидовое расстояние, алгоритм кластеризации – метод Уорда [14]. Полученные результаты представлены на дендрограмме (рисунок 6).

Как видно из рисунка 6, при пороговом расстоянии 270 (определено по графику процесса объединения и таблице объединения объектов) выделяются три кластера: первый (образец N), второй (образец N1), третий (деревянный брус № 1 - № 4, фрагменты). Таким образом, результаты, полученные с помощью БИК-спектроскопии, подтвердились. На основании рассчитанных значений размерных характеристик трахеид ранней и поздней древесины фрагменты и деревянный брус ранее составляли единое целое.

На основании приведенных выше экспериментальных исследований можно констатировать, что для ответа на вопрос, принадлежат ли объекты одному растительному организму, в подавляющем большинстве случаев должен применяться комплексный подход, который ранее к решению такого рода задач не применялся. Потому в настоящее время, очевидно, следует признать оправданным дальнейшее расширение комплекса взаимодополняющих методов для идентификации целого

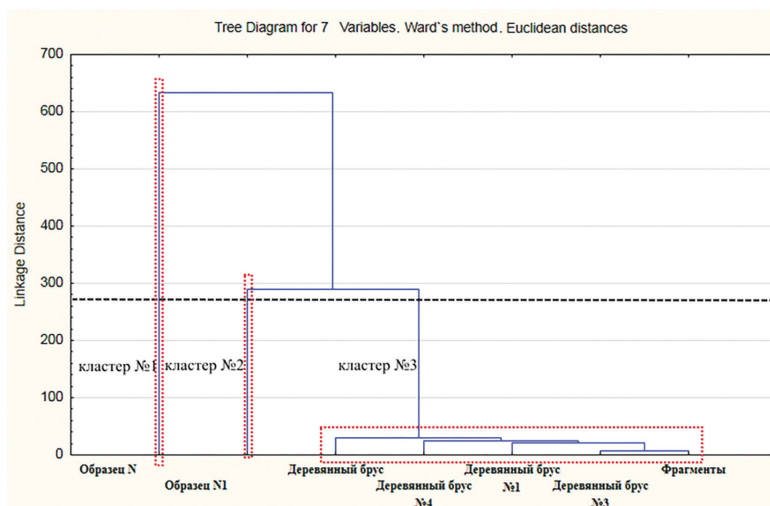


Рисунок 6. Результаты PCA-анализа данных

по частям при отсутствии общих линий разделения, которые позволят разносторонне оценить совокупность признаков и выделить важнейшие критерии, по которым с большой достоверностью можно будет судить о принадлежности исследуемых объектов.

В целом следует отметить, что представленные нами в данной статье алгоритмы, базирующиеся на сведениях о клеточных структурах и химическом составе древесины, подходят для решения экспертных задач, связанных с идентификацией целого по частям, и могут помочь практикующим экспертам-биологам в их работе.

Список литературы

1. Вихров, В. Е. Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР / В. Е. Вихров // Изд-во Акад. наук СССР, 1959. - 131 с.
2. Яценко-Хмелевский, А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины / А. А. Яценко-Хмелевский // Изд-во Акад. наук СССР, 1954. - 335 с.

3. Бордонос, Т. Г. Судебно-биологическая экспертиза мелких частиц древесины: методическое пособие для судебных экспертов / Т. Г. Бордонос, Д. С. Рудич // Изд-во МВД УССР, 1970. - 84 с.
4. Dormontt, E. E. 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. Russ, A. Preliminary study of wood species identification by NIR spectroscopy / Russ, A., Fišerová, M., Gigac, J. // *Wood Research (Bratislava)*. - 2009. - Vol. 54. - № 4. - P. 23-32.
6. Tsuchikawa, S. A review of recent near infrared research for wood and paper / S. Tsuchikawa // *Applied Spectroscopy Reviews*. - 2007. - Vol. 42. - № 1. - P. 43-71.
7. Sandak, A. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber / A. Sandak, J. Sandak, M. Negri // *Wood science and technology*. - 2011. - Vol. 45. - № 1. - P. 35-48.
8. Kessler W. A Handy Tool for Chemometrics: The Unscrambler X / W. Kessler // *Scientific Computing*. - 2010. - Vol. 27. - Iss. 4. -13 p.
9. Cross, R. *Principal Component Analysis Handbook* / R. Cross // NJ: Clarye International, 2015. - 232 p.
10. Crang, R. *Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants* / R. Crang, S. Lyons-Sobaski, R. Wise. - Springer International Publishing, 2018. - 725 pp.
11. Kudo, K. Formation of new networks of earlywood vessels in seedlings of the deciduous ring-porous hardwood *Quercus serrata* in springtime / K. Kudo, Y. Utsumi, K. Kuroda, Y. Yamagishi // *Trees*. - 2018. - Vol. 32. - № 3. - P. 725-734.
12. Babushkina, E. A. Earlywood and Latewood Features of *Pinus sylvestris* in Semiarid Natural Zones of South Siberia / E. A. Babushkina, L. V. Belokopytova // *Russian journal of ecology*. - 2018. - Vol. 49. - № 3. - P. 209-217.
13. Блохина, Н. И. Анатомическое строение древесины лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr) из разных условий произрастания в Приамурье / Н. И. Блохина, О. В. Бондаренко, С. В. Осипов // ХБЗ. - 2012. - № 1-2. - С. 21-27.
14. Brusco, M. J. Cluster analysis in empirical OM research: survey and recommendations / M. J. Brusco [et al.] // *International Journal of Operations & Production Management*. - 2017. - Vol. 37. - № 3. - P. 300-320.

References

1. Vihrov V. E. Diagnosticheskie priznaki drevesiny glavnejshih lesohozyajstvennyh i lesopromyshlennyh porod SSSR [Diagnostic signs of timber of the main forestry and timber industry of the USSR]. *Akademiya Nauk SSSR*, 1959. 131 p. (Russian).
2. Yacenko-Hmelevskij A. A. *Osnovy i metody anatomicheskogo issledovaniya drevesiny* [Fundamentals and methods of anatomical examination of wood]. *Akademiya nauk SSSR*, 1954. 335 p. (Russian).
3. Bordonos T. G., Rudich D. S. *Sudebno-biologicheskaya ekspertiza melkih chastic drevesiny* [Forensic biological examination of small particles of wood]. *MVD SSSR*, 1970. 84 p. (Russian).
4. Dormontt E. E. Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biological Conservation*. 2015;191:790-798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.038>.
5. Russ A., Fišerová M., Gigac J. Preliminary study of wood species identification by NIR spectroscopy. *Wood Research (Bratislava)*. 2009;54(4):23-32. DOI: <https://doi.org/10.1080/20426445.2016.1242270>.
6. Tsuchikawa S. A review of recent near infrared research for wood and paper. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2007;42(1):43-71. DOI: <https://doi.org/10.1080/05704920601036707>.
7. Sandak A., Sandak J., Negri M. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. *Wood science and technology*. 2011;45(1):35-48. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-010-0313-y>.
8. Kessler W. A Handy Tool for Chemometrics: The Unscrambler X. *Scientific Computing*. 2010;27(4):13.
9. Cross R. *Principal Component Analysis Handbook*. NJ: Clarye International, 2015. 232 p.
10. Crang R., Lyons-Sobaski S., Wise R. *Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants*. *Springer International Publishing*. 2018. 725 pp.
11. Kudo K., Utsumi Y., Kuroda K., Yamagishi Y. Formation of new networks of earlywood vessels in seedlings of the deciduous ring-porous hardwood *Quercus serrata* in springtime. *Trees*. 2018;32(3):725-734. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1667-2>.
12. Babushkina E. A., Belokopytova L. V. Earlywood and Latewood Features of *Pinus sylvestris* in Semiarid Natural Zones of South Siberia. *Russian journal of ecology*. 2018;49(3):209-217. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1067413618030013>.
13. Blohina N. I., Bondarenko O. V., Osipov S. V. Anatomicheskoe stroenie drevesiny listvennicy Kayandera (*Larix cajanderi* Mayr) iz raznyh uslovij proizrastaniya v Priamur'ю HBZ [Anatomical structure of Cajander larch wood (*Larix cajanderi* Mayr) from different growing conditions in the Amur region]. *Journal of Cell Science*. 2012;1-2:21-27. (Russian).
14. Brusco M. J. Cluster analysis in empirical OM research: survey and recommendations. *International Journal of Operations & Production Management*. 2017;37(3):300-320. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2015-0493>.

Abstract. Keywords

For the Republic of Belarus, a separate kind of forensic-botanical examination is still new, just forming one. In this regard, there is a growing need to find new and more effective methods and techniques for obtaining evidentiary information. In the presented work, we have tried to evaluate the usage potential of the information about anatomical structure and chemical composition combined with the multivariate statistical analysis to establish that the pieces of wood (on the example of Scots pine) were once part of a whole. On the basis of the analysis performed the conclusion was made that the attainment of the said goal requires the use of a complex and comprehensive method which was described in the article and which was not earlier used to solve the issues described.

Keywords: forensic-botanical examination; wood; anatomical signs; cluster analysis; near infrared spectroscopy; chemometric algorithms; principal component analysis

Received (дата поступления): 25.06.2019