

увидеть явные ростовые отличия мицелия на средах. Так на питательной среде WPM к этому времени мицелий польского гриба стал плотным и дал стабильную культуру 27 мм в диаметре, в то время как на питательной среде WPM ростовые показатели мицелия польского гриба достигли только 19 мм.

Таким образом, на основании полученных результатов установлено, что выделение и поддержание польского гриба *in vitro* следует проводить на плотной питательной среде Woody Plant Medium. Питательные среды ½ MS и MMN можно использовать при длительном беспересадочном хранении чистой культуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Molina R., Palmer J.G. Isolation, maintenance and pure culture manipulation of ectomycorrhizal fungi // Methods and principles of mycorrhizal research. – St. Paul, MN: American Phytopathological Society. – 1982. P. 115–129.

2. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа. 2004. С. 149–165.

3. Gardes M., Bruns T. D. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes application of the identification of mycorrhizae and rusts. Molecular Ecology, 1993, vol. 2, no. 2, pp. 113–118.

4. National Center for Biotechnological Information, NCBI. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (accessed 24.11.2023)

УДК 58.002+ 343.98

А.Н. Хох, зав. лабораторией
(НПЦ ГКСЭ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИК-СПЕКТРОСКОПИИ В СОЧЕТАНИИ С ХЕМОМЕТРИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОВ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

Древесина мягких лиственных пород имеет ряд недостатков, которые ограничивают ее применение в строительстве. Так, она быстро загнивает из-за отсутствия смолистых веществ, растрескивается при высыхании и, как правило, имеет достаточно низкие прочностные показатели. Для устранения указанных недостатков применяются различные способы модификации древесины, в том числе и термическая модификация. Термически модифицированная древесина является экологически безопасным материалом, имеет повышенную био- и из-

носостойкость и может являться альтернативой многообразию тропических пород. При этом стоит такая древесина дороже обычной, а потому наиболее часто подвержена фальсификации.

Цель работы заключалась в оценке возможности применения БИК-спектроскопии для установления фактов фальсификации термически модифицированной древесины мягких лиственных пород.

Объектами исследования являлись не отличимые по цветовым характеристикам образцы пиломатериалов березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), изготовленных по технологиям «Thermowood» (вариант №1) и «Вакуум плюс» (вариант №2), а также экспериментально полученные образцы (160°C, 6 часов) (вариант №3).

БИК-спектры были получены 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 регистрации спектров использовали программный пакет MicroNIR™ Pro 1700 (версия 2.5.1) (VIAVI, США). На первом этапе БИК-спектры после стандартизации нормировкой вариации (SNV-коррекция) из-за избыточной («шумовой») информации были проанализированы с помощью метода главных компонент [1] (рисунок 1).

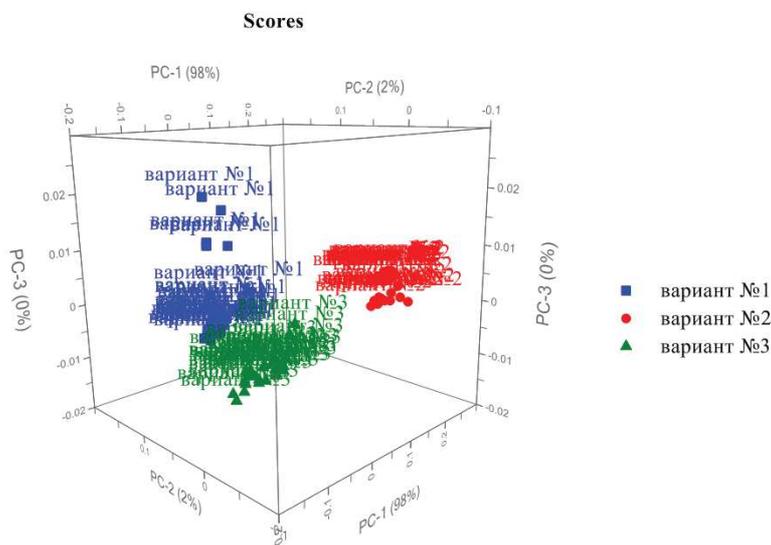


Рисунок 1 – Матрица счетов для исследованных образцов в 3d проекции

Согласно матрице счетов наиболее информативной является первая главная компонента, так как на нее приходится наибольшая доля разброса (ГК-1 объясняет 98% общей дисперсии). Вторая и последующие компоненты в основном содержат шум, а потому могут не рассматриваться в дальнейшем (вторая главная компонента объясняет 2% исходной вариации). В целом все исследованные образцы объеди-

нились в 3 группы в зависимости от технологии изготовления.

Далее проводилось формальное независимое моделирование аналогий классов (далее – SIMCA) [2]. Для этого БИК-спектры, полученные для каждого варианта термической модификации были случайным образом пятикратно разделены на обучающие (градуировочные наборы, 2/3 спектров) и тестовые (валидационные наборы, 1/3 спектров) выборки. Аномальных образцов в наборах на основании расчетов расстояния Махаланобиса [3] не обнаружено.

На основе обучающих выборок проводилось построение классификационных SIMCA-моделей с применением пятиблочной перекрестной проверки. Каждая выборка (целевой класс) моделировалась методом PCA обособленно, независимо от остальных и проверялась на возможные выбросы. Расчет расстояний между исследуемыми выборками в относительных единицах составил от 6,89 до 52,7, что считается подходящим для надежного различия исследуемых объектов [2]. Результаты SIMCA-классификации обучающих выборок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты SIMCA-классификации обучающих выборок

	Правильно классифицированы, %	Мультиклассифицированы, %	Неклассифицированы, %	Количество РС	Дисперсия РС-1, %
Вариант №1	90/90/95/100/100	10/10/0/0/0	0/0/0/0/0	2/2/4/4/5	79/88/71/71/76
Вариант №2	95/100/95/100/95	0/0/5/0/0	5/0/0/0/5	3/4/2/4/4	82/84/74/79/84
Вариант №3	100/95/100/100/95	0/5/0/0/0	0/0/0/0/5	5/4/3/3/3	71/67/72/77/81
Средняя точность ± SD (%) = 96,7±3,6					

В таблице 2 представлены полученные результаты классификации для валидационных выборок.

Таблица 2 – Результаты SIMCA-классификации валидационных выборок

	Правильно классифицированы, %	Мультиклассифицированы, %	Неклассифицированы, %
Вариант №1	90/90/95/95/100	10/5/5/5/0	0/5/0/0/0
Вариант №2	95/95/100/95/95	5/5/0/5/0	0/0/0/0/5
Вариант №3	95/90/100/95/95	5/5/0/5/0	0/5/0/0/5
Средняя точность ± SD (%) = 95±3,3			

Таким образом, не отличимые по цветовым характеристикам термомодифицированные пиломатериалы березы пушистой, изготовленные по технологиям «Thermowood», «Вакуум плюс», а также полученные экспериментально образцы, можно отличить друг от друга с помощью метода БИК-спектроскопии в сочетании с SIMCA. Разработанные классификационные модели позволили провести объективную

идентификацию с достаточно высокой точностью. Средняя точность классификации составила $96,7 \pm 3,6$ (%) для обучающих выборок, $95 \pm 3,3$ (%) – для валидационных. В будущем классификационные модели могут быть улучшены путем включения в них большего числа образцов. Необходимо отметить, что помимо мягких лиственных пород БИК-спектроскопия может быть применена и для исследования других, в том числе коммерчески ценных, пород древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хох А. Н. Выявление фактов фальсификации термически модифицированной древесины сосны обыкновенной методом БИК-спектроскопии / А. Н. Хох // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. – 2023. – № 53. – С. 124–129.
2. Bächle, H. Classification of thermally modified wood by FT-NIR spectroscopy and SIMCA / H. Bächle, // Wood Science and Technology. – 2012. – Vol. 46. – P. 1181–1192.
3. Brereton, R. G. Re-evaluating the role of the Mahalanobis distance measure. / R. G. Brereton, G. R. Lloyd // Journal of Chemometrics. – 2016. – Vol. 30. – №4. – 134-143.

УДК 630*587

С.С. Цай, ст. преп., канд. с.-х. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НА ЛЕСОСЕКАХ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ УГЛОВ НАКЛОНА МЕСТНОСТИ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСНЫХ МАШИН

Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в различных отраслях экономики непрерывно увеличивается, находя новые сферы применения. Это связано с улучшением технических характеристик самих БЛА, внедрением автоматизированных алгоритмов пилотирования, расширением видов навесного оборудования, а также совершенствованием возможностей этого оборудования вследствие уменьшения веса и линейных размеров, увеличения функциональности. Несомненно, использование беспилотных комплексов в интересах лесной отрасли перспективно и может способствовать решению ряда практических задач лесного хозяйства и лесоустройства.

Рассматриваемая работа посвящена вопросам использования материалов лидарной съемки с беспилотных летательных аппаратов для целей определения на участках лесосечного фонда углов наклона