DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.1.2021.16>
УДК 343.98+581.6

А. Н. Хох,

заведующий лабораторией исследования материалов, веществ и изделий
Научно-практического центра Государственного комитета
судебных экспертиз Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4633-0163>, e-mail: lann1hoh@gmail.com

В. Л. Шалабода,

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории
исследования материалов, веществ и изделий
Научно-практического центра Государственного комитета
судебных экспертиз Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5466-0352>,
e-mail: shalaboda_valya@mail.ru

Судебно-экспертные сравнительные исследования почв методом спорово-пыльцевого анализа с использованием дискриминантного анализа проекции на латентные структуры

В статье рассмотрены практические подходы к использованию спорово-пыльцевого анализа в установлении принадлежности почвенных наслоений на загрязнённых предметах конкретному локальному участку местности. Показана возможность интерпретации палинологических данных с применением дискриминантного анализа проекций на латентные структуры. По результатам проведённого исследования сделан вывод, что пыльца и споры растений наряду с комплексом морфологических признаков почвы можно использовать как информативный показатель при решении задач судебной почвоведческой экспертизы.

Ключевые слова: судебная палинология, почва, микроскопия, таксономический состав, процентное содержание, дискриминантный анализ проекций на латентные структуры.

Постановка научной проблемы. Расширение возможностей судебной экспертизы зависит, главным образом, от внедрения в практику экспертной работы новых методов исследования. Обнаружение большого количества признаков, характеризующих свойства исследуемых объектов, имеет особенно большое значение при групповой идентификации, поскольку более полное изучение сравниваемых объектов даёт возможность сузить группу предметов, к которой они относятся, и этим приблизить групповую идентификацию к индивидуальной.

При проведении экспертиз различных вещественных доказательств специалисты обычно широко используют методы исследования, применяемые в биологии, химии и физике. Одним из методов, применение

которого может иметь важное значение для судебной экспертизы в области почвоведческих исследований, является спорово-пыльцевой анализ (далее — *СПА*), заключающийся в определении растений на основании изучения их спор или пыльцы.

Анализ основных исследований и публикаций. Специалисты используют спорово-пыльцевой анализ для исследования всех видов и типов почв уже на протяжении многих десятков лет ¹. Зарубежные авторы описывают различные методы и примеры использования палинологии для решения криминалистических задач ². Объектами исследования являются пыльца голосеменных и покрытосеменных растений и споры споровых растений.

Основными задачами судебно-почвоведческой экспертизы являются индивидуальная идентификация локального участка местности по наслоениям на загрязнённых почвой предметах или установление источника происхождения почвенных наслоений, то есть определение территориальной принадлежности почвенных наслоений, если участок места происшествия не установлен. Решение первой задачи возможно в случае выделения неповторимой совокупности идентификационных признаков. При этом чем больше признаков изучается, тем успешнее решается эта задача.

Необходимость в решении задачи по установлению территориальной принадлежности почвенных наслоений на одежде и обуви, транспортных средствах или других предметах возникает, когда место обнаружения трупа или предмета не соответствует месту совершения преступления, которое является искомым участком, при необходимости установления пути следования транспортного средства, места хищения материальных ценностей и др. ³

¹ Horrocks M., Coulson S. A., Walsh K. A. J. Forensic palynology: variation in the pollen content of soil surface samples. *Journal of Forensic Science*. 1998. Vol. 43. Is. 2. P. 320—323. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS16139J> (дата обращения: 20.02.2021) ; Marumo Y. Forensic examination of soil evidence. *Japanese Journal of science and technology for identification*. 2003. No 7. Is. 2. P. 95—111. DOI: <https://doi.org/10.3408/jasti.7.95> (дата обращения: 20.02.2021).

² Walter O. J., Adekanmbi O. H., Olowokudejo J. D. Palynological and Lithological Investigation of Forensic Materials at the University of Lagos, Nigeria: First Experimental Palynological Approach in Nigeria. *Journal of Forensic Science & Criminology*. 2019. Vol. 7. Is. 1. P. 104 ; Pereira J. S. R., Ribeiro H., Abreu I. Spatial and temporal environmental pollen analysis of footwear worn in the area of Barcelos, North-West Portugal, in a forensic context. *Aerobiologia*. 2019. Vol. 36. No 3. P. 1—6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09598-8> (дата обращения: 20.02.2021) ; Reis C. I., Coimbra-Dores M. J., Rebelo M. T., Faria, M. S. Palynological analysis of soil in Portugal: potential for forensic science. *Palynology*. 2019. Vol. 43. Is. 4. P. 585—595. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2018.1503199> (дата обращения: 20.02.2021).

³ Wiltshire P. E. J. Protocols for forensic palynology. *Palynology*. 2016. Vol. 40. Is. 1. P. 4—24. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2015.1091138> (дата обращения: 20.02.2021).

Преимущество СПА, по сравнению с другими методами, применяемыми в комплексной экспертизе почв, заключается в том, что он является многокомпонентным анализом ¹, позволяющим оценивать как состав палинофлоры, так и процентное содержание сразу нескольких десятков компонентов спорово-пыльцевых спектров, содержащихся в почвенных образцах. Поэтому в решении задач судебно-почвоведческой экспертизы зачастую именно данные спорово-пыльцевого анализа позволяют экспертам на основании определённого таксономического состава пыльцы и спор и процентного содержания компонентов спектров сделать наиболее обоснованные выводы.

Следует отметить, что в последние годы для оценивания результатов исследования выявленных спорово-пыльцевых комплексов специалисты начали применять методы многомерного статистического анализа ².

Цель статьи — рассмотреть практические подходы к установлению принадлежности почвенных наслоений (с загрязнённых предметов) конкретному локальному участку местности с помощью СПА с применением элементов математической статистики.

Изложение основного материала исследования. На разрешение судебно-почвоведческой экспертизы в числе прочих был поставлен вопрос: «*Имеют ли общую родовую (групповую) принадлежность наслоения почвы с представленных для исследования 2 штыковых лопат и полимерного пакета с образцами почвы, отобранными для сравнительного исследования на 2 участках леса, где выявлено хищение верхнего плодородного слоя почвы?*». Наряду с другими методами исследования, было проведено сравнительное изучение состава спорово-пыльцевых комплексов.

Для извлечения пыльцы и спор из почвы применяли сепарационный метод, разработанный В. П. Гричуком ³. В качестве тяжёлой жидкости

¹ Хох А. Н., Рылова Т. Б. Доказательственное значение спорово-пыльцевого анализа при исследовании вещественных доказательств. *Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы*. 2018. № 1 (43). С. 148—155.

² Ochando J. et al. Forensic palynology revisited: Case studies from semi-arid Spain. *Review of palaeobotany and palynology*. 2018. Vol. 259. P. 29—38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.09.015> (дата обращения: 20.02.2021) ; Kumari M., Sankhla M. S., Nandan M., Sharma K., Kumar R. Role of forensic palynology in crime investigation. *Journals: International Journal of Social Relevance & Concern*. 2017. Vol. 5. Is. 3. P. 1—13 ; Abdulrahman A. A., Al Sahli A. A., Okoli J. U. The use of soil palynomorphs in forensics. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2018. Vol. 22. No. 1. P. 85—89. DOI: <https://doi.org/10.4314/jasem.v22i1.15> (дата обращения: 20.02.2021) ; Riding J. B. A guide to preparation protocols in palynology. *Palynology*. 2021. Vol. 45. Is. 1. P. 1—110. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2021.1878305> (дата обращения: 20.02.2021).

³ Ларина Т. В. Использование метода спорово-пыльцевого анализа при криминалистическом исследовании почв для локализации участков местности // Проблемы экспертизы растительных объектов. Москва, 1972. С. 104—106.

использовали хлористый цинк, растворённый в 2 % соляной кислоте, с удельным весом 1,9. Определение пыльцы и спор проводили на подвижном препарате с использованием светового микроскопа МИКМЕД 6 (ЛОМО), оснащённого цифровой камерой, при увеличении 400х и 1000х (с иммерсией). Это делали для того, чтобы каждое пыльцевое зерно или спору можно было повернуть как в полярное, так и экваториальное положение, хорошо рассмотреть морфологические особенности строения поверхности. в каждом препарате проводили подсчёт всех пыльцевых зёрен и спор, встречающихся при последовательном просмотре препарата параллельными рядами, начиная с верхнего левого угла покровного стекла и заканчивая правым нижним углом.

Во всех образцах обнаружено большое количество пыльцы и спор (от 246 до 383), что позволило вычислить достоверное процентное содержание компонентов спектров. Состав определённых таксонов, количество пыльцевых зёрен каждого таксона и их процентное содержание в каждой изученной пробе представлены в таблице 1.

Таблица 1

Таксономический состав, количество и процентное содержание пыльцы и спор

Таксономический состав пыльцы и спор	Полимерный пакет		Лопата № 1		Лопата № 2		Участок леса № 1		Участок леса № 2	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Пыльца древесных и кустарниковых пород	42,0	17,0	297,0	77,5	281,0	87,0	265,0	87,0	44,0	16,9
Пыльца травянистых растений и кустарничков	203,0	82,5	15,0	4,0	23,0	7,0	24,0	8,0	216,0	82,8
Споры	1,0	0,5	71,0	18,5	18,0	6,0	15,0	5,0	1,0	0,4
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. (ель европейская)	—	—	1,0	0,3	7,0	2,2	8,0	2,6	—	—
<i>Pinus sylvestris</i> L. (сосна обыкновенная)	40	16,3	164,0	42,8	243,0	75,5	218,0	71,5	42,0	16,1
<i>Betula sp.</i> (берёза)	—	—	41,0	10,7	4,0	1,2	6,0	1,9	—	—
<i>Alnus sp.</i> (ольха)	1,0	0,4	57,0	14,9	17,0	5,3	23,0	7,5	1,0	0,4

Таксономический состав пыльцы и спор	Полимер- ный пакет		Лопата № 1		Лопата № 2		Участок леса № 1		Участок леса № 2	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
<i>Quercus robur</i> L. (дуб черешчатый)	—	—	9,0	2,3	4,0	1,2	3,0	1,0	—	—
<i>Ulmus</i> sp. (вяз)	—	—	1,0	0,3	—	—	—	—	—	—
<i>Carpinus betulus</i> L. (граб обыкновенный)	1,0	0,4	9,0	2,3	—	—	—	—	1,0	0,4
<i>Corylus avellana</i> L. (орешник обыкновенный)	—	—	12,0	3,1	1,0	0,3	1,0	0,3	—	—
<i>Salix</i> sp. (ива)	—	—	3,0	0,8	5,0	1,6	7,0	2,3	—	—
<i>Amaranthaceae</i> subgen. <i>Chenopodioideae</i> (маревые)	43,0	17,5	—	—	6,0	1,9	7,0	2,3	45,0	17,2
<i>Polygonaceae</i> (гречишные)	2,0	0,8	—	—	—	—	—	—	2,0	0,8
<i>Ariaceae</i> (сельдерейные)	—	—	1,0	0,3	2,0	0,6	1,0	0,3	—	—
<i>Artemisia</i> sp. (полынь)	2,0	0,8	2,0	0,5	1,0	0,3	—	—	2,0	0,8
<i>Asteraceae</i> (астровые)	3,0	1,2	—	—	1,0	0,3	1,0	0,3	3,0	1,1
<i>Asteraceae</i> subgen. <i>Cichorioideae</i> (цикориевые)	3,0	1,2	1,0	0,3	—	—	—	—	4,0	1,5
<i>Poaceae</i> (мятликовые))	15,0	61,0	11,0	2,9	6,0	1,9	6,0	2,0	16,0	61,3
<i>Superaceae</i> (осоковые)	—	—	—	—	1,0	0,3	1,0	0,3	—	—
<i>Typha angustifolia</i> L. (рогоз узколистный)	—	—	—	—	5,0	1,6	6,0	2,0	—	—

Таксономический состав пыльцы и спор	Полимер- ный пакет		Лопата № 1		Лопата № 2		Участок леса № 1		Участок леса № 2	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
<i>Myriophyllum spicatum</i> L. (уруть колосистая)	—	—	—	—	1,0	0,3	2,0	0,7	—	—
<i>Bryales</i> (зеленые мхи)	—	—	4,0	1,0	4,0	1,2	5,0	1,6	—	—
<i>Sphagnum</i> sp. (сфагнум)	—	—	67,0	17,5	10	3,1	7,0	2,3	—	—
<i>Lycopodium clavatum</i> L. (плаун булавовидный)	—	—	—	—	1,0	0,3	—	—	—	—
<i>Polypodiaceae</i> (многоножковые)	1,0	0,4	—	—	3,0	0,9	2,0	0,7	1,0	0,4
<i>Salvinia natans</i> (L.) <i>All.</i> (сальвиния плавающая)	—	—	—	—	—	—	1,0	0,3	—	—

В общем составе спектров проб со штыковой лопаты № 2 (3 образца) и отобранных на участке леса № 1 (10 образцов), где выявлено хищение верхнего плодородного слоя почвы, пыльца древесных пород составляет 86—91 %, травянистых растений и кустарничков — 6—8 %, споры — 3—7 %.

В составе пыльцы древесных пород преобладает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — 71—76 %. Пыльцы ольхи (*Alnus* sp.) — 5—8 %, ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) — 2—3 %, берёзы (*Betula* sp.) — 0,3—1,6 %. Присутствует также пыльца дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) — 1—1,5 %, орешника обыкновенного (*Corylus avellana* L.) — 0,3—0,35 % и ивы (*Salix* sp.) — 1,1—2,5 %.

Среди пыльцы травянистых растений в препаратах в основном выявлены пыльцевые зёрна маревых (*Amaranthaceae* subgen. *Chenopodioideae*) — 1,8—2,6 % и мятликовых (*Poaceae*) — 1,4—2,3 %. Характерно постоянное присутствие в каждой пробе пыльцы водных и прибрежно-водных растений: рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.) — 1,5—2,2 %, урути колосистой (*Meniantus spicatum* L.) — 0,3—0,7 %, осоковых (*Cyperaceae*) — 0,3—0,35 %.

Споровые растения представлены небольшим количеством спор сфагновых мхов (*Sphagnum sp.*) — 2—3,3 %, зелёных мхов (*Bryales*) — 0,9—2 %, многоножковых (*Polypodiaceae*) — 0,4—1,1 %; встречаются единичные микроспорангии сальвинии плавающей (*Salvinia natans (L.) All.*) и плауна булавовидного (*Lycopodium clavatum L.*) — 0—0,3 %.

В составе пыльцы древесных пород для проб с полимерного пакета (3 образца) и отобранных на участке леса № 2 (10 образцов) имеется сосна обыкновенная — 16—16,5 %, а также единичные пыльцевые зёрна ольхи — 0,4 % и граба обыкновенного (*Carpinus betulus L.*) — 0,4—0,6 %.

В составе пыльцы травянистых растений, в свою очередь, выявлены преимущественно представители семейств мятликовых — 60,7—61,8 % и маревые — 17,0—17,8 %. Единично встречаются пыльцевые зёрна полыни (*Artemisia sp.*), гречишных (*Polygonaceae*), астровых (*Asteraceae*), цикориевых (*Asteraceae subgen. Cichorioideae*).

Споровые растения представлены единичными спорами многоножковых — 0—0,4 %.

В пробах со штыковой лопаты № 1 (3 образца) в общем составе спектров пыльца древесных пород составляет 77,5 %, травянистых растений — 4 %, спор — 18,5 %.

Среди пыльцы древесных пород преобладает пыльца сосны обыкновенной — 53 %. Пыльцы ольхи — 15 %, берёзы — 11,5 %, дуба черешчатого — 3 %, граба обыкновенного — 3 %, орешника обыкновенного — 4 %, ивы — 1 %, вяза (*Ulmus sp.*) — 0,3 %.

Пыльцы травянистых растений отмечено незначительное количество: мятликовые — 3,5 %, единично — сельдерейные (*Ariaceae*), полынь, цикориевые.

Споровые растения представлены в основном спорами сфагновых мхов — 18 %, изредка отмечены споры зелёных мхов (*Bryales*) — 1,5 %.

Далее полученные палинологические данные анализировали с помощью метода главных компонент (далее — PCA)¹. Для этого использовали специализированную программу *The Unscrambler X v.10.4.1 (CAMO, США)*.

На основании проведённого анализа все исследованные пробы объединили в 3 класса:

- 1) пробы со штыковой лопаты № 1;
- 2) пробы со штыковой лопаты № 2 и отобранные на участке леса № 1;
- 3) пробы с полимерного пакета и отобранные на участке леса № 2.

На рис. 1 видно, что точки, являющиеся отражением исследованных проб и соответствующие одному классу, не перекрываются и находятся в разных областях модели относительно 1-й и 2-й главных компонент, что свидетельствует о достоверных различиях между ними.

¹ Kherif F., Latypova A. Principal component analysis. *Machine Learning*. 2020. P. 209—225.

Рис. 1. График МГК-счетов для 29 исследованных проб

Затем мы проводили дискриминантный анализ проекций на латентные структуры (далее — *PLS-DA*)¹. Использовали те же данные, что и для PCA, но при этом пробы со штыковых лопат и полимерного пакета были отнесены к тестовому набору данных (*test*), а пробы с двух участков леса, где было выявлено хищение верхнего плодородного слоя почвы, были отнесены к обучающему набору данных (*training*) и предварительно разделены на 2 класса: участок № 1 — класс «1»; участок № 2 — класс «-1».

Точность построенной *PLS-DA*-модели, оценённая по методу перекрёстной проверки, составила 99,8 %.

В таблице 2 показаны коэффициенты значимости идентифицированных проб со штыковых лопат и полимерного пакета. Указанные коэффициенты имеют как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от их вклада в положительную или отрицательную области модели, их значимость при этом не зависит от знака и определяется только отклонением от нуля.

¹ Sampaio P. S. et al. Identification of rice flour types with near-infrared spectroscopy associated with PLS-DA and SVM methods. *European Food Research and Technology*. 2020. Vol. 246. Is. 3. P. 527—537. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03419-5> (дата обращения: 20.02.2021) ; Ruiz-Perez D. et al. So you think you can PLS-DA? *BMC bioinformatics*. 2020. Vol. 21. Is. 1. P. 1—10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12859-019-3310-7> (дата обращения: 20.02.2021).

Таблица 2

Рассчитанные коэффициенты значимости

№ образца	Коэффициент значимости	Отклонение
Полимерный пакет № 1	-0,9494005	0,085706
Полимерный пакет № 2	-0,9619232	0,264547
Полимерный пакет № 3	-0,9708145	0,049738
Лопата № 1_1	3,621863	8,977525
Лопата № 1_2	3,662567	9,069019
Лопата № 1_3	3,703678	9,161437
Лопата № 2_1	0,9100758	0,603048
Лопата № 2_2	0,9250175	0,297527
Лопата № 2_2	0,9394305	0,148326

По результатам проведённого исследования исследованные пробы с полимерного пакета были отнесены к классу «-1», соответствующему участку леса № 2 (средний коэффициент значимости составил -0,96), а пробы со штыковой лопаты № 2 — к классу «1», соответствующему участку леса № 1 (средний коэффициент значимости составил 0,92). в свою очередь, пробы со штыковой лопаты № 2 не были отнесены ни к одному из 2 классов, то есть участков местности, на которых произошло хищение верхнего плодородного слоя почвы (средний коэффициент значимости составил 3,7; рис. 2).

Рис. 2. Разделение проб из тестового набора данных

Для оценивания степени влияния вариабельности таксономического состава пыльцы и спор на распределение объектов из тестового набора (test) данных в пространстве главных компонент и определения наиболее информативных параметров проведён анализ нагрузок на первую и вторую главные компоненты. Результаты приведены на рис. 3.

Рис. 3. Графики нагрузок на первую и вторую главные компоненты

Как можно видеть, наиболее информативными (вариабельными) параметрами полученных спорово-пыльцевых спектров являются общий состав спорово-пыльцевого спектра (количественное соотношение пыльцы трёх основных групп растений (древесных пород, травянистых растений и кустарничков, а также спор), а также количественное и процентное содержание следующих таксонов: сосна обыкновенная, берёза, ольха, маревые и мятликовые; то есть именно эти показатели в большей степени отвечают за разделение исследуемых проб на 3 разные группы.

Выводы. В рассматриваемом в данной работе случае обилие пыльцы и спор в исследуемых пробах и возможность определения этих растительных остатков позволили статистически обработать данные микроскопического изучения образцов. Сравнение спорово-пыльцевых спектров для проб со штыковой лопаты № 1 с остальными исследованными образцами показало имеющиеся резкие различия, что было подтверждено результатами дискриминантного анализа проекций на латентные структуры. в то же время спорово-пыльцевые спектры (1) для проб со штыковой лопаты № 2 и отобранных на участке леса № 1, а также (2) для проб с полимерного пакета и отобранных на участке леса № 2 имели аналогичное процентное соотношение пыльцы и спор основных групп растений в общем составе спектров, кроме того, для них характерно совпадение состава таксонов древесных пород (региональных компонентов), травянистых и споровых растений (локальных компонентов) и их количественного содержания. По результатам классификации методом PLS-DA был сделан вывод о том, что пробы со штыковой лопаты № 2 и отобранные на участке леса № 1 имеют

общую групповую принадлежность; общую групповую принадлежность имели также пробы с полимерного пакета и участка леса № 2. При этом следует отметить, что (1) и (2) имеют разную родовую принадлежность. Точность классификации получилась высокой и составила 99,8 %. Таким образом, пыльца и споры растений являются неотъемлемой составляющей почв любого типа, а потому (наряду с комплексом морфологических признаков почвы) их можно эффективно использовать при решении задач судебной почвоведческой экспертизы.

References

- Abdulrahman, A. A., Al Sahli, A. A., Okoli, J. U. (2018). The use of soil palynomorphs in forensics. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. Vol. 22. No. 1. P. 85—89. DOI: <https://doi.org/10.4314/jasem.v22i1.15> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Horrocks, M., Coulson, S. A., Walsh, K. A. J. (1998). Forensic palynology: variation in the pollen content of soil surface samples. *Journal of Forensic Science*. Vol. 43. Is. 2. P. 320—323. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS16139J> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Kherif, F., Latypova, A. (2020). Principal component analysis. *Machine Learning*. P. 209—225.
- Khokh, A. N., Ryl'ova, T. B. (2018). Dokazatel'stvennoe znachenie sporovo-pyl'tseвого analiza pri issledovanii veshchestvennykh dokazatel'stv. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoi ehkspertizy*. № 1 (43) [in Russian].
- Kumari, M., Sankhla, M. S., Nandan, M., Sharma, K., Kumar, R. (2017). Role of forensic palynology in crime investigation. *IJournals: International Journal of Social Relavance & Concern*. Vol. 5. Is. 3. P. 1—13.
- Larina, T. V. (1972). Ispolzovanie metoda sporovo-pyl'tseвого analiza pri kriminalistich-eskom issledovanii pochv dlia lokalizatsii uchastkov mestnosti. *Problemy ehkspertizy rastitel'nykh obiektov*. Moskva [in Russian].
- Marumo, Y. (2003). Forensic examination of soil evidence. *Japanese Journal of science and technology for identification*. No 7. Is. 2. P. 95—111. DOI: <https://doi.org/10.3408/jasti.7.95> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Ochando, J. et al. (2018). Forensic palynology revisited: Case studies from semi-arid Spain. *Review of palaeobotany and palynology*. Vol. 259. P. 29—38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.09.015> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Pereira, J. S. R., Ribeiro, H., Abreu, I. (2019). Spatial and temporal environmental pollen analysis of footwear worn in the area of Barcelos, North-West Portugal, in a forensic context. *Aerobiologia*. Vol. 36. No 3. P. 1—6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09598-8> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Reis, C. I., Coimbra-Dores, M. J., Rebelo, M. T., Faria, M. S. (2019). Palynological analysis of soil in Portugal: potential for forensic science. *Palynology*. Vol. 43. Is. 4. P. 585—595. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2018.1503199> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Riding, J. B. (2021). A guide to preparation protocols in palynology. *Palynology*. Vol. 45. Is. 1. P. 1—110. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2021.1878305> (data obrashcheniia: 20.02.2021).

- Ruiz-Perez, D. et al. (2020). So you think you can PLS-DA? *BMC bioinformatics*. Vol. 21. Is. 1. P. 1—10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12859-019-3310-7> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Sampaio, P. S. et al. (2020). Identification of rice flour types with near-infrared spectroscopy associated with PLS-DA and SVM methods. *European Food Research and Technology*. Vol. 246. Is. 3. P. 527—537. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03419-5> (data obrashcheniia: 20.02.2021).
- Walter, O. J., Adekanmbi, O. H., Olowokudejo, J. D. (2019). Palynological and Lithological Investigation of Forensic Materials at the University of Lagos, Nigeria: First Experimental Palynological Approach in Nigeria. *Journal of Forensic Science & Criminology*. Vol. 7. Is. 1. P. 104.
- Wiltshire, P. E. J. (2016). Protocols for forensic palynology. *Palynology*. Vol. 40, Is. 1. P. 4—24. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2015.1091138> (data obrashcheniia: 20.02.2021).

Г. М. Хох, В. Л. Шалабода

**Судово-експертні порівняльні дослідження ґрунтів методом
спорово-пилкового аналізу з використанням
дискримінантного аналізу проєкцій на латентні структури**

Уже понад 50 років у всьому світі під час розслідування злочинів використовують дані спорово-пилкового аналізу. Найчастіше пилки і спори досліджують під час виконання комплексної криміналістичної експертизи ґрунтів.

Широке застосування спорово-пилкового аналізу зумовлено значною мірою такими специфічними особливостями пилку та спор, як величезна кількість їх продукування рослинами, здатність зберігатися в ґрунтах, наявність характерних морфологічних особливостей, що дають змогу розрізняти й визначати окремі таксони і т. ін.

У Білорусі метод спорово-пилкового аналізу також знайшов застосування під час виконання судової ґрунтознавчої експертизи: його частіше застосовують для вирішення ідентифікаційних завдань під час порівняльних досліджень для встановлення належності ґрунтових нашарувань на речових доказах ділянці місцевості. Його головна перевага полягає в тому, що це багатокомпонентний аналіз, який дає змогу оцінювати як склад палінофлори, так і відсотковий вміст одразу декількох десятків компонентів спорово-пилкових спектрів, що містяться в ґрунтових зразках. Тому для визначення належності ґрунтових нашарувань певній локальній ділянці місцевості найбільш інформативними є саме дані спорово-пилкового аналізу, що дають змогу експертам на підставі певного таксономічного складу пилку і спор та процентного вмісту компонентів спектрів дійти найбільш обґрунтованих висновків.

Виявлення пилку і спор у досліджуваних пробах у кількості, достатній для порівняльного дослідження, дає змогу статистично обробити дані мікроскопічного вивчення зразків. Статистичне оброблення результатів —

одна з характерних ознак спорово-пилкового аналізу як методу, що відрізняє його від решти методів, які застосовують у комплексній експертизі ґрунтів.

Ключові слова: судова палінологія, ґрунт, мікроскопія, таксономічний склад, відсотковий вміст, дискримінантний аналіз проєкцій на латентні структури.

A. Khokh, V. Shalaboda

Forensic comparative analysis of soils by the method of sporo-pollen analysis using projection to latent structures discriminant analysis

For more than 50 years, sporo-pollen analysis data have been used around the world to investigate crimes. Pollen and spores are most often studied while complex forensic examination of soils.

Extensive use of sporo-pollen analysis is largely conditioned by such specific features of pollen and spores as their very-large-scale production in plants, the ability to preserve in soils, presence of characteristic morphological features enabling to distinguish and identify individual taxa, etc.

In Belarus, the method of sporo-pollen analysis has also been implemented while forensic soil examination: it is increasingly applied to solve identification tasks in comparative analysis to establish the belonging of soil layers on physical evidence to the searched area. Its main advantage is that it is a multicomponent analysis allowing to evaluate both the composition of palynoflora and the percentage of several dozen components of sporo-pollen spectra contained in soil samples. Therefore, to determine the belonging of soil layers on physical evidence to the searched area, most informative are data obtained while sporo-pollen analysis, helping forensic experts on the basis of a specific taxonomic composition of pollen and spores and percentage of spectra components to draw the most valid conclusions.

Detection of pollen and spores in studied samples in a quantity sufficient for comparative analysis enables to statistically process data of samples microscopic examination. Statistical processing of results is one of the characteristic features of sporo-pollen analysis as a method that distinguishes it from other methods implemented in multidisciplinary forensic examination of soil.

Keywords: forensic palynology, soil, microscopy, taxonomic composition, percentage, projection to latent structures discriminant analysis.

Надійшла до редколегії 31.03.2021 р.

Хох А. Н., Шалабода В. Л. Судебно-экспертные сравнительные исследования почв методом спорово-пыльцевого анализа с использованием дискриминантного анализа проекций на латентные структуры. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики* : зб. наук. пр. / редкол.: О. М. Ключев, В. Ю. Шепітько та ін. Харків : Право, 2021. Вип. 23. С. 212—224. DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.1.2021.16>.