

## ПОСТРОЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВРЕДИТЕЛЕЙ ПШЕНИЦЫ

\*А. В. Осипова, Р. М. Уалиева, М. М. Каверина, А. А. Фаурат

Торайгыров университет, г. Павлодар, Казахстан

\*aanastasiyaaa@internet.ru

### Аннотация

Исследование демонстрирует возможности применения гиперспектральной визуализации для определения вредителей пшеничного агроценоза. В работе были описаны спектральные характеристики кузьки-крестоносца (*Anisoplia agricola*) и черной пшеничной мухи (*Phorbia fumigata*) и создана классификационная модель PLS-DA для этих видов с общей точностью классификации для назначенных пикселей 100%, что делает её надёжной для практического применения в биологических исследованиях и мониторинге вредителей. Использование гиперспектральной визуализации открывает новые возможности для определения эффективной стратегии борьбы с вредителями и мониторинга состояния полей в режиме реального времени, снизит часы работы и повысит эффективность производства. Предложенная методика показывает перспективу внедрения гиперспектральной технологии и технологии компьютерного зрения в сельское хозяйство и академические исследования в области энтомологии.

**Ключевые слова:** гиперспектральная визуализация, насекомые, вредители пшеницы, *Anisoplia agricola*, *Phorbia fumigata*.

**Введение.** Заболевания пшеницы вызывают значительные экономические убытки в сельском хозяйстве. Ежегодно во всем мире теряется более 25% потенциального урожая продовольственных культур из-за болезней растений и вредителей. Урожайность яровой пшеницы может сокращаться на 23,2% в период активного размножения вредителей и сни-

жаться на 40–60% во время эпифитотий [1]. Мониторинг полевых процессов имеет решающее значение для оценки безопасности продовольствия и своевременной ликвидации зараженных сельскохозяйственных культур, что позволяет избежать экономических потерь.

Для улучшения борьбы с вредителями можно применять технологии гиперспектральной визуализации и беспилотные летательные аппараты, что позволит контролировать состояние полей в реальном времени, снизит часы работы и повысит эффективность производства. Гиперспектральная визуализация представляет собой метод анализа данных дистанционного зондирования, который значительно расширяет и совершенствует возможности мультиспектрального исследования изображений [2]. В области энтомологии гиперспектральная визуализация может использоваться для точной идентификации близкородственных видов насекомых, изучения их морфологии и мониторинга сельскохозяйственных полей на предмет заражения вредителями.

Она нашла широкое применение, включая таксономический анализ родов *Orthoptera* [10], выявление зараженной пшеницы тлями семейства *Aphididae* (*Hemiptera*) [6], исследование структуры кутикулы и фенотипических изменений у *Sitophilus oryzae* [5].

Этот метод также использовался для классификации видов *Anastrepha fraterculus*, *Anastrepha obliqua*, *Anastrepha sororcula* Zucchi, *Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea*, *Drosophila melanogaster* и *Drosophila simulans*, для обнаружения паразитических ос рода *Trichogramma* и инвазий *Cryptolestes ferrugineus* в зернах пшеницы [8].

Ближняя инфракрасная гиперспектральная визуализация продемонстрировала высокую точность в определении видов муравьев *Tetramorium caespitum* и *Tetramorium impurum* [3].

Хотя гиперспектральные методы использовались для изучения многих аспектов сельскохозяйственной практики и в классификации многих видов насекомых, потенциальное использование методов для идентификации видов *Anisoplia agricola*, *Phorbia fumigata* и их обнаружения в полевых условиях становится объектом исследования впервые.

Цель исследования – предварительная оценка на лабораторном уровне гиперспектральной визуализации как технологии для автоматизированного распознавания и классификации вредителей с целью повышения эффективности мониторинга сельскохозяйственных полей и минимизации ущерба зерновым культурам.

**Материалы и методы.** Сбор вредителей яровой пшеницы проходил в период вегетации культуры в 2024 году в основных районах зерносеяния Павлодарской области (северо-восток Казахстана): Теренкольский район (ТОО «Агро-Даму»), Железинский район (ТОО «Жумабек агро»). Объектами исследования являются *Anisoplia agricola*, *Phorbia fumigata*. Гиперспектральная съемка исследуемых объектов была выполнена с использованием гиперспектральной камеры FigSpec FS-13 VNIR (400–1000 нм) сканирующего типа, обеспечивающей не менее 250 спектральных каналов с разрешением 2,5 нм. Исследование проводилось на базе Лаборатории биологических исследований НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар, Казахстан).

Для предварительной оценки качества гиперспектральных изображений применялось специализированное программное обеспечение Prediktera, работающее на языке программирования IDL. Для каждого изображения формировался гиперкуб данных. Первичная обработка снимков включала спектральную калиб-

ровку с использованием «черных» и «белых» эталонов, а также создание и применение «масок» для устранения фона. Обработанные гиперспектральные изображения загружались в программу Breeze (Prediktera), которая позволяет систематизировать анализ данных, визуализировать спектральную информацию, а также проводить классификацию и интерпретацию полученных материалов. В ней были созданы модели Principal component analysis (PCA) и Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA).

**Результаты и обсуждение.** Перед созданием PLS-DA мы проанализировали спектральные характеристики с учетом морфологических особенностей насекомых.

*Anisoplia agricola* имеет выпуклую овальную форму тела длиной до 13 мм, надкрылья обычно коричневого цвета с крестообразными черными отметинами. *Phorbia fumigata* имеет длину до 6 мм, черное тело и прозрачные крылья с серым или коричневым оттенком.

График Raw Spectrum показывает спектральные кривые. Спектры каждого вида имеют схожую форму. Образцы насекомых и линии пронумерованы: например, первая линия красного цвета на графике Raw spectrum соответствует первому номеру образца на гиперспектральном изображении.

Диапазон длин волн среди образцов *Anisoplia agricola* составляет 500–800 нм (Рисунок 1). Максимальный пик находится в области длины волны 600–750 нм, средний пик в области 750–800 нм, что указывает на небольшое отражение в ближнем инфракрасном диапазоне. Падение интенсивности связано с поглощением света участками тела с большим количеством меланина. Первый и второй спектры имеют наибольшую интенсивность среди всех, что связано с отражательной способностью бурых надкрыльев, при этом первый образец имеет наиболее светлую поверхность, поэтому его спектр имеет больший коэффициент отражения. Вариации между спектрами

также могут указывать на различия в гладкости поверхности хитинового покрова. Третий и четвертый спектры принадлежат образцам, повернутых темным шероховатым брюшком вверх и поглощают больше света, чем отражают, поэтому их коэффициент отражения меньше.

Пики интенсивности спектров *Phorbia fumigata* находятся в диапазоне 500–780 нм, имея отражение в ближнем инфракрасном спектре за счет отражательной способности крыльев (Рисунок 2). Четвертый спектр имеет выше коэффициент отражения в сравнении с другими за счет ракурса расположения мухи.

Он выше, так как крылья за счет своей структуры отражают большую часть падающего света, а не поглощают. Мембрана крыльев может создавать оптические эффекты – блеск или переливы за счет интерференции света, что увеличивает отражение света. Основу крыла составляет тонкая прозрачная мембрана, которая также обеспечивает коэффициент отражения выше. Остальные спектры характеризуется меньшей интенсивностью в ближнем инфракрасном диапазоне, что связано с поглощающей способностью темных пигментов и углом расположения мух.

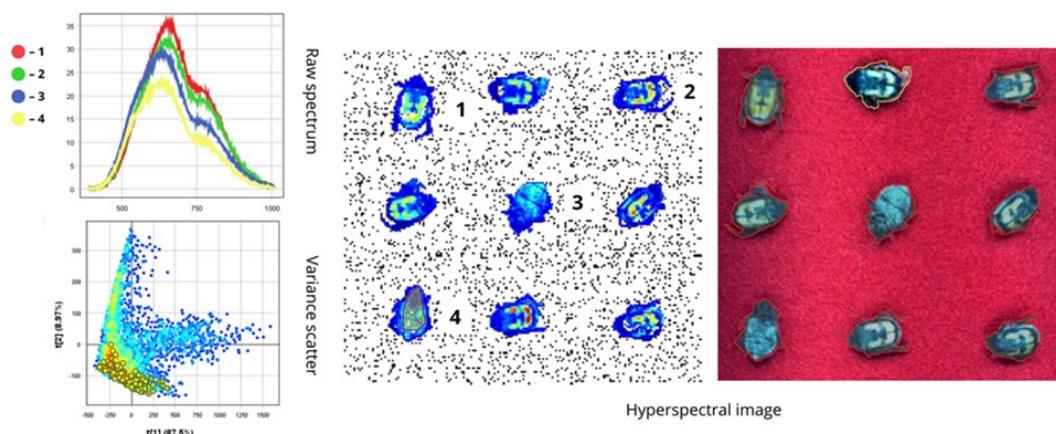


Рисунок 1. Спектральные характеристики *Anisoplia agricola*

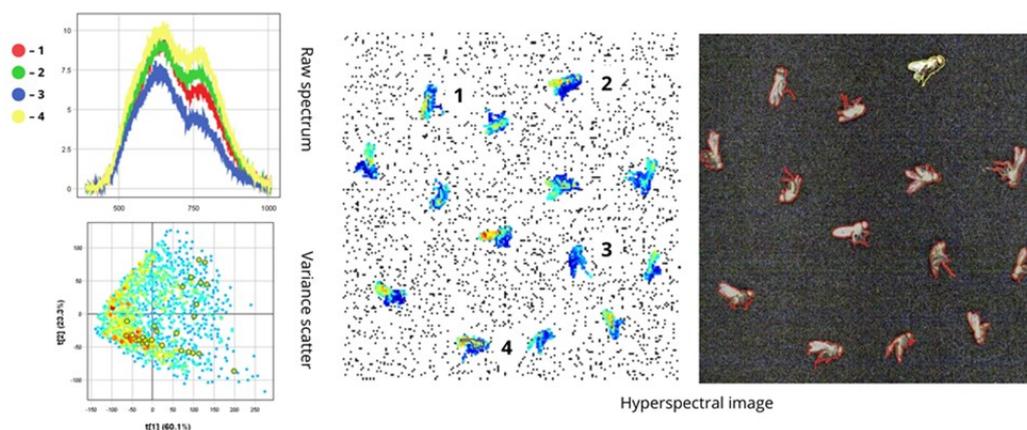


Рисунок 2. Спектральные характеристики *Phorbia fumigata*

На данных гиперспектральных изображениях большой коэффициент отражения имеет *Anisoplia agricola* из-за более светлого пигмента и гладкой поверхности. Также на спектры влияют время суток, освещение и ракурс, при

которых происходила съемка.

После обработки спектральных данных были добавлены категории для каждого гиперспектрального изображения. Затем на основе всех пикселей мозаичного изображения была создана

модель PCA. Чтобы исключить фон, были выделены только области, содержащие образцы насекомых. Далее была построена модель PLS-DA, и отобраны образцы, подлежащие включению в анализ.

Система классифицирует объекты на две категории. Матрица ошибок (Confusion Matrix) демонстрирует высо-

кую точность классификации: 100% объектов *Anisoplia agricola* и *Phorbia fumigata* были правильно идентифицированы (Рисунок 3).

Actual classes	Total	<i>Anisoplia austriaca</i>	<i>Phorbia fumigata</i>	No class
<i>Anisoplia austriaca</i>	9 (39.1%)	9 (100%)		
<i>Phorbia fumigata</i>	14 (60.9%)		14 (100%)	
# Predicted	23 (100%)	9 (39.1%)	14 (60.9%)	0
Correctly	23 (100%)			
Incorrectly				
Precision		100%	100%	
Recall		100%	100%	
F-score		100%	100%	

Рисунок 3. Матрица ошибок классификационной модели

Метрики качества включают полноту (recall), точность предсказаний (precision) и F1-меру. Precision указывает долю корректно классифицированных объектов среди всех предсказанных в каждом классе, Recall отражает долю правильно классифицированных объектов среди всех фактических экземпляров данного класса, а F-score (среднее между Precision и Recall) подтверждает точность и полноту модели. Построенная модель успешно функционирует в режиме реального времени, эффективно распознавая насекомых.

Ошибки классификации отсутствуют, что делает ее надежным инструментом для практического использования. Благодаря высокой точности модель может применяться для автоматизированного мониторинга популяций и идентификации вредителей.

**Выводы.** Данная работа представляет описание спектральных характеристик насекомых и классификационной модели для видов *Anisoplia agricola*

и *Phorbia fumigata*.

Разнообразие интенсивности отражает изменчивость между различными частями тела и морфологическими особенностями особей, такими как пигментация, плотность и структура хитинового покрова, возраст насекомых и насколько долго хранится образец в энтомологической коллекции. Высоким коэффициентом отражения обладают более светлые и гладкие участки тела насекомых, низким — темные участки с большим количеством меланина. Из структуры экзоскелета и его состава складываются уникальные особенности каждого вида, что лежит в основе их идентификации с помощью гиперспектральной визуализации.

Мы создали классификационную модель PLS-DA для *Anisoplia agricola* и *Phorbia fumigata* с общей точностью классификации для назначенных пикселей 100%. Важным аспектом, который необходимо учитывать для широкого

внедрения гиперспектральной визуализации в сельское хозяйство, является обеспечение доступности данных и их систематизация с целью обучения программ и более точного определения видов. Сгенерированная модель PLS-DA продемонстрировала потенциал технологии гиперспектральной визуализации. Подход, использованный в этом исследовании, эффективно различал виды насекомых, что подчеркивает его потенциальную полезность в этой области. Он открывает возможности для оптимизации сельского хозяйства: автоматический анализ данных с камер и дронов в реальном времени может сократить количество химических обработок за счет точечного выявления пораженных зон и сократить часы работы для выявления вредителей. Также открывается возможность применения подхода как неразрушающего метода анализа живых организмов, в частности для изучения морфоанатомических особенностей насекомых.

**Благодарности.** Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP22784689 «Разработка интегрированной системы дистанционного мониторинга агроценозов яровой пшеницы на основе технологии спектральной визуализации для создания прецизионного земледелия»).

#### Список использованных источников

1. Тимофеев В. Н., Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Фитосанитарное состояние посевов яровой пшеницы в зависимости от системы обработки почвы в условиях Северного Зауралья / В. Н. Тимофеев, Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина // *Земледелие*. – 2016. – С. 18–22.

2. Chang, C.-I. *Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification* / C.-I. Chang // Kluwer, New York. – 2003. – P. 386 <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-9170-6>

3. Calvini R., Ulrici A., Amigo J. M. *Growing applications of hyperspectral and multispectral imaging* / R. Calvini, A. Ulrici, J. M. Amigo // *In Data Handling in*

*Science and Technology, Hyperspectral Imaging*. – 2019. – P. 605–629. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63977-6.00024-9>

4. Ferrari V., Calvini R., Boom B., Menozzi C., Rangarajan A. K., Maistrello L., Offermans P., Ulrici A. *Evaluation of the potential of near-infrared hyperspectral imaging for monitoring the invasive brown marmorated stink bug* / V. Ferrari, R. Calvini, B. Boom, C. Menozzi, A. K. Rangarajan, L. Maistrello, P. Offermans, A. Ulrici // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. – 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.104751>

5. Lacotte V., Dell’Aglio E., Peignier S., Benzaoui F., Heddi A., Rebollo R., Silva P. *A comparative study revealed hyperspectral imaging as a potential standardized tool for the analysis of cuticle tanning over insect development* / V. Lacotte, E. Dell’Aglio, S. Peignier, F. Benzaoui., A. Heddi, R. Rebollo, P. Silva // *Heliyon*. – 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e01169>

6. Mirik M. *Hyperspectral Spectrometry as a Means to Differentiate Uninfested and Infested Winter Wheat by Greenbug (Hemiptera: Aphididae)* / M. Mirik // *Econ. Entomol.* – 2006. – 1682–1690 P. <https://doi.org/10.1093/jee/99.5.1682>

7. Mielewczik M., Liebisch F., Walter A., Greven H. *Near-infrared (NIR) reflectance in insects – Phenetic studies of 181 species* // *Entomologie Heute*. – 2012. – P. 183–216.

8. Nansen C., Elliott N. *Remote Sensing and Reflectance Profiling in Entomology*. / C. Nansen, N. Elliott // *Annu Rev Entomol.* – 2016. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023834>

9. Prabhakar M., Prasad Y., Vennila S., Thirupathi M., Sreedevi G., Rao G. R., Venkateswarlu B. / M. Prabhakar, Y. Prasad, S. Vennila, M. Thirupathi, G. Sreedevi, G. R. Rao, B. Venkateswarlu // *Hyperspectral indices for assessing damage by the solenopsis mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) in cotton Computers and Electronics in Agriculture*. – 2013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.004>

10. Tavares G. C., Silva N. C. *Images in red: A methodological and integrative approach for the usage of Near-infrared Hyperspectral Imaging (NIR-HSI) on collection specimens of Orthoptera (Insecta)* / G. C. Tavares, N. C. Silva. – 2024. <https://doi.org/10.1101/2024.10.12.617997>

### References

1. Timofeev V. N., Perfiliev N.V. *Fitosanitarnoe sostoyanie posevov yarovoj pshenicy v zavisimosti ot sistemy obrabotki pochvy v usloviyah Severnogo Zaural'ya [Phytosanitary state of spring wheat crops depending on the tillage system in the conditions of the Northern Trans-Urals]* / V. N. Timofeev, N. V. Perfiliev // *Zemledelie*. – 2016. – С. 18-22. [in Russian].

2. Chang, C.-I. *Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification* / C.-I. Chang // *Kluwer, New York*. – 2003. – P. 386 <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-9170-6>

3. Calvini R., Ulrici A., Amigo J. M. *Growing applications of hyperspectral and multispectral imaging* / R. Calvini, A. Ulrici, J. M. Amigo // *In Data Handling in Science and Technology, Hyperspectral Imaging*. – 2019. – P. 605–629. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63977-6.00024-9>

4. Ferrari V., Calvini R., Boom B., Menozzi C., Rangarajan A. K., Maistrello L., Offermans P., Ulrici A. *Evaluation of the potential of near-infrared hyperspectral imaging for monitoring the invasive brown marmorated stink bug* / V. Ferrari, R. Calvini, B. Boom, C. Menozzi, A. K. Rangarajan, L. Maistrello, P. Offermans, A. Ulrici // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. – 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.104751>

5. Lacotte V., Dell'Aglio E., Peignier S., Benzaoui F., Heddi A., Rebollo R., Silva P. *A comparative study revealed hyperspectral imaging as a potential standardized tool for the analysis of cuticle tanning over insect development* / V. Lacotte, E. Dell'Aglio, S. Peignier, F. Benzaoui., A. Heddi, R. Rebollo, P. Silva // *Heliyon*. – 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e01169>

6. Mirik M. *Hyperspectral Spectrometry as a Means to Differentiate Uninfested and Infested Winter Wheat by Greenbug (Hemiptera: Aphididae)* / M. Mirik // *Econ. Entomol.* – 2006. – 1682-1690 P. <https://doi.org/10.1093/jee/99.5.1682>

7. Mielewczik M., Liebisch F., Walter A., Greven H. *Near-infrared (NIR) reflectance in insects – Phenetic studies of 181 species* // *Entomologie Heute*. – 2012. – P. 183–216.

8. Nansen C., Elliott N. *Remote Sensing and Reflectance Profiling in Entomology*. / C. Nansen, N. Elliott // *Annu Rev Entomol.* – 2016. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715.023834>

9. Prabhakar M., Prasad Y., Vennila S., Thirupathi M., Sreedevi G., Rao G. R., Venkateswarlu B. / M. Prabhakar, Y. Prasad, S. Vennila, M. Thirupathi, G. Sreedevi, G. R. Rao, B. Venkateswarlu // *Hyperspectral indices for assessing damage by the solenopsis mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) in cotton Computers and Electronics in Agriculture*. – 2013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.004>

10. Tavares G. C., Silva N. C. *Images in red: A methodological and integrative approach for the usage of Near-infrared Hyperspectral Imaging (NIR-HSI) on collection specimens of Orthoptera (Insecta)* / G. C. Tavares, N. C. Silva. – 2024. <https://doi.org/10.1101/2024.10.12.617997>

**Материал поступил в редакцию  
20.02.2025**

**Бидай зиянкестерін  
идентификациялау үшін  
классификациялық  
моделін құру**

**Аңдатпа**

Бұл зерттеу бидай агроценозындағы зиянкестерді анықтау үшін гиперспектралды визуализацияны қолдану мүмкіндіктерін көрсетеді. Жұмыста кресті қоңызы (*Anisoplia agricola*) және қара бидай шыбынының (*Phorbia fumigata*) спектралдық қасиеттері сипатталып, осы түрлер үшін PLS-DA классификациялық моделі жасалды. Белгіленген пикселдер үшін жалпы классификациялау дәлдігі 100% құрап, бұл оны биологиялық зерттеулер мен зиянкестерді мониторингілеу саласында тәжірибелік қолдану үшін сенімді құралға айналдырады. Гиперспектралды визуализацияны қолдану зиянкестермен күресуге арналған тиімді стратегиясын анықтауға және егіс алқаптарының жағдайын нақты уақыт режимінде бақылауға жаңа мүмкіндіктер тудызды, жұмыс уақытын қысқартып, өндіріс тиімділігін арттырады. Ұсынылған әдістеме гиперспектралды технология мен компьютерлік көру технологияларын ауыл шаруашылығына және энтомология саласындағы академиялық зерттеулерге енгізудің келешегін көрсетеді.

**Түйінді сөздер:** гиперспектралды визуализация, жәндіктер, бидай зиянкестері, *Anisoplia agricola*, *Phorbia fumigata*.

**Материал баспаға 20.02.25 түсті**

**Building a classification model for  
identifying wheat pests**

**Summary**

This study demonstrates the potential of hyperspectral imaging for identifying pests in wheat agrocenosis. The spectral characteristics of *Anisoplia agricola* and the *Phorbia fumigata* were described, and a PLS-DA classification model was developed for these species. The overall classification accuracy for the designated pixels was 100%, making the model reliable for practical applications in biological research and pest monitoring. Hyperspectral imaging offers new opportunities for determining effective pest control strategies and real-time field condition monitoring, reducing labor hours and increasing production efficiency. The proposed methodology highlights the potential of integrating hyperspectral technology and computer vision into agriculture and academic research in entomology.

**Keywords:** hyperspectral imaging, insects, wheat pests, *Anisoplia agricola*, *Phorbia fumigata*.

**Material received on 20.02.25**

**Вклад авторов.**

**А. В. Осипова** провела общий анализ, занималась написанием рукописи.

**Р. М. Уалиева** участвовала в корректуре, редактировании рукописи для публикации.

**М. М. Каверина** отвечала за сбор данных и статистический анализ.

**А. А. Фаурат** работала над литературным обзором рукописи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.