

# ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫМИ МЕРОПРИЯТИЯМИ НА ПШЕНИЦЕ ОТ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БОЛЕЗНЕЙ

**О.Ю. Кремнева**

Федеральный научный центр биологической защиты растений  
Россия, 350039, Краснодар п-о 39  
E-mail: kremenoks@mail.ru

**К.Э. Гасиян**

Федеральный научный центр биологической защиты растений  
Россия, 350039, Краснодар п-о 39  
E-mail: gasiyankkk@mail.ru

**Ключевые слова:** пшеница, болезни пшеницы, управление, споры фитопатогенов, автоматизированная система, глубокое обучение.

**Аннотация:** Возбудители болезней пшеницы такие как бурая и жёлтая ржавчина, жёлтая пятнистость листьев, мучнистая роса и др. являются причиной серьезных потерь урожая (20 – 80 %). Для разработки эффективной защиты культуры от экономически значимых возбудителей болезней важен точный и своевременный мониторинг вредных объектов. Одним из способов управления фитосанитарным мониторингом является применение спороулавливателей различных конструкций. Целью данных исследований являлось создание базы данных разметки спор грибных болезней пшеницы на изображениях для создания автоматизированной системы их подсчета и идентификации. База данных может использоваться в качестве информационного ресурса фитопатологами для диагностики и подсчета спор фитопатогенов озимой пшеницы, что важно для прогнозирования и управления защитными мероприятиями.

## 1. Введение

Возбудители болезней пшеницы являются причиной серьезных потерь урожая. Мировые потери урожая пшеницы от возбудителей бурой ржавчины (*Puccinia triticina* Erikss.), жёлтой ржавчины (*Puccinia striiformis* West.), жёлтой пятнистости листьев (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechslera) и мучнистой росы (*Erysiphe graminis* (DC.) Speer) достигают 20 – 80 % [1, 2].

Для разработки эффективной защиты культуры от экономически значимых возбудителей болезней важен точный и своевременный мониторинг вредных объектов. Большие посевные площади делают классический фитосанитарный метод неактуальным, так как он требует больших затрат трудовых ресурсов и не всегда точен, в связи с огромными расстояниями [3].

Одним из перспективных направлений в области фитосанитарного мониторинга является применение спороулавливателей. С помощью данных устройств можно быстро и точно производить количественную и качественную оценку грибных фитопатогенов на посевах пшеницы до видимых проявлений заболеваний или их минимальном развитии [4-6]. Однако, работа, связанная с анализом под микроскопом

полученных образцов спор, достаточно тяжела и трудоёмка. Это связано с тем, что количество спор отлавливаемых спороулавливателями может превышать 1000 штук на одну пробу. Идентификация и подсчёт такого количества спор фитопатогенов занимает длительное время. Решить данную проблему позволит автоматизация процесса подсчёта и идентификации спор фитопатогенов с использованием технологий глубокого обучения.

Прогнозирование фитосанитарной ситуации, предполагает оценку рисков, связанных с заболеваниями, и является ключевым аспектом мониторинга и управления защитой растений. В этой области существует достаточно перспективных методов прогнозирования, таких как искусственные нейронные сети, деревья решений, ассоциации, кластеризация, генетические алгоритмы, многомерная визуализация и другие.

В связи с чем целью данных исследований являлось создание автоматизированной системы подсчета и идентификации спор грибных болезней озимой пшеницы.

## 2. Материалы и методы

Исследования проводились на опытных полях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР). Объектами исследований являлись споры возбудителей болезней пшеницы: *B. graminis*, *P. striiformis*, *P. tritici-repentis*. Для проведения исследований были выбраны сорта озимой пшеницы, характеризующиеся разной степенью устойчивости к листовым болезням. На делянках был создан искусственный инфекционный фон экономически значимых листовых болезней, с целью получения инфекционного материала в достаточном количестве. Для инокуляции тестовых участков с растениями озимой пшеницы были проведены работы по сбору, выделению и размножению инфекционного материала возбудителей болезней [7].

Отбор проб воздуха осуществлялся устройством для определения заспоренности растений [8] в период максимального развития и разнообразия болезней (май – июнь) в стадии развития пшеницы флаг лист (Z 47) – цветение (Z 61-69). Устройство для отлова спор является импактором, внутри которого расположено предметное стекло с нанесённым удерживающим составом (вазелин). Пробы отбирались по диагонали каждой делянки в пяти точках. Полученные пробы изучались под световым микроскопом для обнаружения, идентификации и подсчёта спор фитопатогенных грибов. Обнаруженные споры фотографировали посредством видеокуляра на разных увеличениях – 10x и 40x, и систематизировали их по видам для создания базы данных с изображениями спор.

## 3. Результаты исследований

В результате проведённых исследований на разных сортах озимой пшеницы спороулавливающим устройством было отобрано около 200 проб воздуха со спорами грибных фитопатогенов. Количественный учёт и идентификация полученного материала позволили обнаружить споры экономически значимых возбудителей болезней пшеницы: мучнистой росы, желтой ржавчины, желтой пятнистости листьев, бурой ржавчины.

Морфология спор каждого вида гриба обладает специфическими особенностями, что делает их хорошо различимыми для машинного зрения. Споры *B. graminis*

эллиптической формы, бесцветные. Урединиоспоры *P. striiformis* шаровидные или овальные, имеют яркую жёлто-лимонную окраску. Урединиоспоры *P. recondita* более шаровидны, имеют жёлто-бурую окраску, часто коричневую или тёмно-оранжевую. Споры *P. tritici-repentis* одиночные, прямые и удлинённые, имеют от 1 до 9 ложных перегородок. Основание спор имеет коническую форму напоминающую змеиную голову, верхушка закруглена. По цвету споры *P. tritici-repentis* либо бесцветные, либо окрашены в бледно-зелёный или соломенный цвет.

В результате проведения научно-исследовательских работ был наработан материал, в виде фотоизображений спор каждого отдельного фитопатогена в количестве необходимом для создания обучающей выборки (500-1000 шт.) полученном при 40х увеличении микроскопа. Помимо крупных изображений спор каждого вида патогенов были сделаны фотографии при общем увеличении микроскопа 100х, для того, чтобы на одной фотографии размещались споры разных видов возбудителей болезней вместе. Проведена разметка на фотоизображениях спор, полученных для создания базы данных.

В итоге создана база данных, которая содержит структурированную визуальную информацию о спорах возбудителей листовых болезней озимой пшеницы: желтой пятнистости, желтой ржавчины и мучнистой росы, и их всевозможных пересечений. Каждая спора на изображении с камеры микроскопа размечена прямоугольной рамкой. База данных состоит из размеченных изображений спор патогенов в количестве 8830 и соответствующих им связанных трех таблиц, содержащих разметку: данные о положении и видовой принадлежности спор патогенов на изображении. Целью создания базы данных являлось обучение на ее основе алгоритмов глубокого обучения и компьютерного зрения, осуществляющих распознавание и подсчёт спор возбудителей болезней пшеницы на изображениях. База данных нужна, чтобы делать необходимые выборки данных, например, разметку только возбудителя желтой ржавчины, и дальше эту выборку отправлять на обучение нейронной сети.

На фотографиях с микроскопа образцов проб со спорами грибных болезней различались как изображения самих патогенов, так и разнородных микрочастиц, не относящихся к изучаемым патогенам, но сильно «зашумляющим» снимок. Поэтому для решения поставленных задач была проведена классификация спор и сторонних объектов на фотоизображениях, а также их локализация. Соответственно решалась задача детектирования объектов, т.е. определение места расположения объекта и его конкретного типа.

Разметка изображений производилась в полу-ручном и автоматическом режиме с помощью инструмента аннотирования изображений LabelImg и предобученной модели нейросети. Прямоугольная рамка вокруг объекта выделялась вручную, полу-автоматизация процесса заключалась в создании макроса, который сохраняет метки созданной рамки. Часть изображений была получена в автоматическом режиме распознавания предобученной моделью, после чего изображения были проверены вручную на предмет ошибки. Метки рамок сохранялись в двух форматах: 1) координаты левого верхнего угла и координаты нижнего правого угла в пикселях; 2) координаты центра рамки, высота рамки и ширина рамки в координатах, нормированных от 0 до 1.

На одном изображении размечались все наблюдаемые объекты и их принадлежность к одному из четырех классов (0 – *P. striiformis*, 1 – *B. graminis*, 2 – *P. tritici-repentis*, 3 – «мусор», т.е. микрочастицы, не относящиеся к исследуемым патогенам). В результате получилось 8830 размеченных объектов, из них 1487 – желтой ржавчины, 1202 – мучнистой росы, 562 – желтой пятнистости и 5578 – «мусора».

В результате создана и зарегистрирована база данных, содержащая размеченные изображения с указанием класса выделенного объекта и геометрические данные прямоугольных рамок [9].

Созданная база данных может использоваться в качестве информационного ресурса фитопатологами для диагностики и подсчета спор возбудителей болезней пшеницы, что важно для прогнозирования и управления защитными мероприятиями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № НИП-20.1/22.8.

## Список литературы

1. Figueroa M, Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S. A review of wheat diseases-a field perspective // *Mol Plant Pathol.* 2018. Vol. 19, No. 6. P. 1523-1536.
2. Kremneva O. Yu., Mironenko N. V., Volkova G.V., Baranova O.A., Kim Y.S., Kovalenko N.M. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia // *Saudi Journal of Biological Sciences.* 2021. Vol. 28, No. 3. P. 1787-1794.
3. Волкова Г.В., Ариничева И.В., Ариничев И.В. и др. Идентификация ржавчины пшеницы с помощью фитопатологического исследования и технологий машинного зрения // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* 2021. № 2 (54). С. 109-120.
4. Kremneva O., Danilov R., Gasiyan K., Ponomarev A. Spore-Trapping Device: An Efficient Tool to Manage Fungal Diseases in Winter Wheat Crops // *Plants.* 2023. Vol. 12, No. 2. P. 391.
5. Кремнева О.Ю., Гасиян К.Э., Зеленский Р.А., Селиванов В.Г. Испытание пробоотборника воздуха ПСЛ-3 для дистанционного обнаружения возбудителей болезней озимой пшеницы // *Техника и оборудование для села.* 2020. № 11 (281). С. 9-11.
6. Araujo G.T., Amundsen E., Frick M., et al. Detection and quantification of airborne spores from six important wheat fungal pathogens in southern Alberta // *Canadian Journal of Plant Pathology.* 2021. Vol. 43, No. 3. P. 439-454.
7. Волкова Г. В., Кремнева О. Ю., Анпилогова Л. К., Шумилов Ю. В. Методические указания по изучению структуры популяций возбудителей желтой, стеблевой, бурой ржавчины, септориоза, желтой пятнистости листьев пшеницы // Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений РАСХН. 2012. 44 с.
8. Кремнева О. Ю., Пономарев А. В., Пачкин А. А., Ермоленко С. А. Патент № 202119 Российская Федерация. Устройство для определения заспоренности растений // Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», 2020.
9. Кремнева О.Ю., Данилов Р.Ю., Пономарев А.В., Гасиян К.Э., Голуб М.В., Дорошенко О.В., Лагутин И.Н., Постовой В.К., Щербань П.С. Свидетельство о регистрации базы данных № 2023623143 от 18.09.23 «База данных разметки спор грибных болезней озимой пшеницы на изображениях».