



Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь

УСТАНОВА АДУКАЦЫІ  
«ПОЛАЦКІ  
ДЗЯРЖАЎНЫ ЎНІВЕРСІТЭТ»

вул. Блахіна, 29

211446, г. Наваполацк Віцебскай вобл.

Тэл.: (8 0214) 50 57 00; факс: (8 0214) 59 95 36

E-mail: post@psu.by; вэб-рэсурс: www.psu.by

р/р ВУ68АКВВ36049000028952100000 (бюджэт)

ВУ32АКВВ36329000028962100000 (пазабюджэт)

у ЦБП № 214 ААТ «ААБ Беларусбанк»

г. Наваполацк, вул. Дружбы, 4, БИК АКВВВУ2Х

АКПА 02071694, УНП 300220696

Министерство образования Республики Беларусь

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ул. Блохина, 29

211446, г. Новополоцк Витебской обл.

Тел.: (8 0214) 50 57 00; факс: (8 0214) 59 95 36

E-mail: post@psu.by; веб-ресурс: www.psu.by

р/с ВУ68АКВВ36049000028952100000 (бюджет)

ВУ32АКВВ36329000028962100000 (внебюджет)

в ЦБУ № 214 ОАО «АСБ Беларусбанк»

г. Новополоцк, ул. Дружбы, 4, БИК АКВВВУ2Х

ОКПО 02071694, УНП 300220696

24.01.2025 № 73-01-80

На № \_\_\_\_\_ ад \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ

члена диссертационного совета, доктора технических наук Богуша Рихарда Петровича на диссертацию Молина Александра Евгеньевича на тему «Нейросетевые методы анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА в точном земледелии»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Современный подход в агрономии предполагает внедрение инновационных технологий для повышения урожайности и минимизации потерь ресурсов. Для этого используются технологии точного земледелия, среди которых обработка данных дистанционного зондирования Земли на основе искусственных нейронных сетей. Применение нейросетевых алгоритмов обеспечивает высокую точность анализа и приемлемую скорость обработки больших объемов данных, получаемых с помощью мультиспектральных снимков. Это значительно упрощает процесс мониторинга уровня азота в сельскохозяйственных культурах, что имеет важное значение для рационального использования удобрений. Нейронные сети актуальны для алгоритмов сегментации изображений с целью определения уровней азота на полях и позволяют получать более детальную картину его распределения. Следовательно, предоставляется возможность для более точного внесения удобрений, что позволит снизить затраты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, данная диссертационная работа, направленная на разработку новых решений для анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам беспилотных летательных аппаратов с использованием нейронных сетей в точном земледелии, является актуальной.

К основным научным результатам работы можно отнести:

- алгоритм формирования обучающего набора данных для нейронных сетей, использующий мультиспектральные изображения, которые получены посредством закладки тестовых площадок с различными дозами внесенных азотных удобрений на

опытных сельскохозяйственных полях, мультиспектральной съемки беспилотных летательных аппаратов таких полей в течение периода созревания растений и построения ортофотопокрытий на их основе;

- алгоритм расширения обучающей выборки, использующий фрагменты изображений тестовых площадок на мультиспектральных снимках беспилотных летательных аппаратов, необходимых для тренировки и тестирования методов сегментации азотного статуса зерновых культур;

- технологию анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам беспилотных летательных аппаратов, основанную на современных нейросетевых архитектурах в задаче сегментации изображений, которая обеспечивает возможность глобального и локального анализа поля с сельскохозяйственными культурами;

- комплекс программ на основе разработанных подходов для анализа состояния азотного питания растений зерновых культур сельскохозяйственного поля и построения карты заданий дифференцированного внесения азотных удобрений автономной сельскохозяйственной техникой.

Обоснованность и достоверность выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается хорошим теоретическим анализом, методическим обеспечением проведения экспериментов и практической апробацией полученных результатов.

Практическая значимость заключается в том, что разработанный специализированный программный комплекс может быть использован в фермерских организациях и хозяйствах, применяющих технологию точного земледелия. Кроме этого, возможна его интеграция в единую систему интернета вещей, анализирующую состояние азотного питания зерновых культур на сельскохозяйственных полях и позволяющую получить карту заданий автономной сельскохозяйственной технике для дифференцированного внесения азотных удобрений. Практическая значимость данного комплекса направлена на увеличение урожайности зерновых культур, оптимизацию затрат азотных удобрений, а также сокращение негативного влияния на экологию и здоровье человека за счет снижения количества нитратов.

Диссертация Молина А. Е. состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 124 наименований использованных источников. Общий объем текста на русском языке составляет 97 страниц, включая 29 рисунков и 13 таблиц. Материалы диссертации опубликованы в 7 печатных работах, из них 3 статьи в изданиях Scopus и WoS, 4 работ в тезисах докладов конференций.

По диссертации хочу отметить следующие замечания:

1 Блок-схема на рисунке 2.2 не соответствует общим правилам описания алгоритмов с помощью блок-схем.

2 В п.2.2.1 представлен алгоритм генерации синтетических данных на основе рядов, в котором использован статически заданный тип низкочастотного фильтра размером  $5 \times 5$ . Однако, разнообразие синтетических данных было бы более широким при применении различных типов и размеров низкочастотных фильтров.

3 Представленная на стр.54 формула не может быть применена, так как нет вообще никаких пояснений для использованных в ней обозначений.

4 Не понятно назначение п.3.3.3, так как в нем всего лишь одно предложение и два рисунка архитектур нейронных сетей без пояснений. Это значит, что отличие между рисунками нужно искать самостоятельно?

5 Нет четкого обоснования выбранным значениям батча для экспериментов при обучении нейронных сетей.

6 Работа была бы более полной при наличии результатов сравнения предложенного алгоритма анализа азотного питания с уже существующими.

### Заключение

Диссертация представляет собой целостную и законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, выполненную автором самостоятельно на хорошем научно-техническом уровне. Основные выводы по результатам исследований достоверны и обоснованы. Опубликованные научные работы подробно отражают основное содержание диссертации и полученные выводы.

Диссертационная работа Молина Александра Евгеньевича «Нейросетевые методы анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА в точном земледелии» по теоретическому уровню и практической значимости соответствуют требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Молин Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертация Молина Александра Евгеньевича «Нейросетевые методы анализа азотного статуса зерновых культур по снимкам БПЛА в точном земледелии» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Молин Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,  
доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой вычислительных систем и сетей  
Полоцкого государственного университета  
имени Евфросинии Полоцкой



Р.П. Богущ

Подпись Богуща Р.П.  
Специалист по к

Шамская

