



ОТЗЫВ

зарубежного научного консультанта

PhD, ассоциированного профессора аграрно-индустриального факультета Русенского университета Филиповы Маргаритки Василевы на диссертационную работу PhD докторанта Тогисбаевой Айнуры Мухтаровны на тему «Разработка IT-технологии интеллектуального экологического мониторинга агроэкосистемы плодовых культур в условиях юго-восточного Казахстана», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05204 – «Экология»

Обоснование актуальности выполненных работ, её значимости для современной науки и практики. Диссертационная работа PhD докторанта Тогисбаевой Айнуры Мухтаровны посвящена разработке IT-технологии интеллектуального экологического мониторинга агроэкосистемы яблоневых садов в условиях юго-востока Казахстана. Избранная тема исследования затрагивает одну из ключевых экологических проблем современности – обеспечение устойчивого функционирования агроэкосистем в условиях нарастающей климатической нестабильности.

Предгорная зона Заилийского Алатау, где расположен экспериментальный участок (село Турген, Алматинская область, высота 980–1020 м над уровнем моря), характеризуется сочетанием высокого продуктивного потенциала плодовых культур и нарастающей климатической уязвимости. За период исследований (2021–2024 гг.) среднегодовая температура воздуха превышала климатическую норму на 2,6–3,7°C, а дефицит осадков за вегетационный период достигал 15–30% относительно среднегодовых значений. Частота поздневесенних заморозков увеличилась на 35% за последнее десятилетие, что обуславливает потери урожая от 15 до 70% в зависимости от года. В этих условиях внедрение цифровых технологий мониторинга экосистем является необходимым инструментом для оптимизации управления агроэкосистемой.

Следует подчеркнуть, что абсолютное большинство существующих решений в области интеллектуального сельского хозяйства (FarmBeats, CropX, Pessl Instruments) ориентировано на крупные зернопроизводящие хозяйства Северной Америки и Западной Европы. Комплексная система мониторинга, интегрирующая наземные IoT-датчики, спутниковые данные дистанционного зондирования Земли и алгоритмы машинного обучения и учитывающая физиологические особенности многолетних плодовых насаждений в засушливых регионах Центрально-Азиатского субконтинента, ранее не создавалась. Данное обстоятельство определяет безусловную актуальность диссертационного исследования.



Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям Стратегии «Казахстан-2050», Национального проекта «Жасыл Қазақстан» и Целям устойчивого развития Организации Объединённых Наций в области продовольствия, водных ресурсов и экосистем (SDG 2, 6, 12, 15).

Теоретическое значение работы. Теоретическая значимость диссертации определяется комплексом впервые полученных научных результатов. Докторантом разработана шестиуровневая IoT-архитектура мониторинга «MOM SENSOR», адаптированная к специфике многолетних плодовых культур: сенсорный уровень (ESP32 + SHT31/BME280/DS18B20), уровень передачи данных (MQTT/HTTP через GSM/GPRS), геопространственное хранилище (PostgreSQL 15 с расширениями TimescaleDB и PostGIS), аналитический модуль ML, модуль спутникового мониторинга (EOSDA Crop Monitoring, Sentinel-2) и образовательный портал.

Разработан набор из пяти предиктивных ML-моделей, ориентированных на прогноз агроклиматических угроз: прогнозирование заморозков (Random Forest, $F1 = 0,64$, $AUC-ROC = 0,82$, горизонт 24 часа), оценка водного стресса (Gradient Boosting, $R^2 = 0,85$, горизонт 48 часов), оценка риска заболеваний (Logistic Regression, $AUC = 0,78$, горизонт 72 часа), оптимизация орошения (MLP, $MAE = 15\%$, горизонт 7 дней) и прогнозирование активности вредителей (Gradient Boosting, $AUC = 0,72$). Модели интегрированы с данными IoT-датчиков и спутниковыми вегетационными индексами (NDVI, NDWI, MSAVI, NDRE) в единую систему поддержки принятия решений.

В числе значимых теоретических результатов – выявленные впервые зависимости водного баланса почвы, зарегистрированные благодаря круглосуточному IoT-мониторингу. Интегральный вегетационный индекс $iNDVI$ продемонстрировал тесную связь с урожайностью ($r = 0,91$, $p < 0,01$); индекс NDWI оказался высоко скоррелирован с измерениями почвенной влаги датчиками ($r = 0,81$). Эти результаты вносят существенный вклад в развитие методологии экологического мониторинга агроэкосистем и создают научную основу для перехода к цифровому управлению садоводством.

Практическая значимость работы. Практическая ценность исследования подтверждена конкретными количественными результатами, полученными на экспериментальном участке площадью 10 га (четыре сорта яблони: Golden Delicious 40%, Американка 30%, Апорт 20%, Симиренко 10%). За четырёхлетний период эксплуатации (2021–2024 гг.) сеть из четырёх IoT-станций обеспечила сбор более двух миллионов телеметрических измерений; средний показатель полноты валидированных данных достиг 96,5%, а коэффициент доступности сервиса – 97,2%.

Применение IT-технологии обеспечило: увеличение урожайности яблони на четверть (с 168 до 212 ц/га), снижение объёмов ирригационного водозабора с 6,2 до 4,6 тыс. м³/га, уменьшение числа химических обработок с восьми до шести



за сезон, четырёхкратное сокращение потерь плодовой продукции от поздневесенних заморозков, а также положительную динамику почвенного плодородия – прирост гумуса с 3,78 до 4,02% и активизацию биологических процессов в почве на 34–50%.

Экономическая эффективность ИТ-технологии выражается в рентабельности 1396%, сроке окупаемости менее одного месяца и совокупном годовом экономическом эффекте 16128 тыс. тенге на 10 га. Эти показатели доказывают безусловную целесообразность внедрения разработки в производственную практику садоводческих хозяйств юго-востока Казахстана.

Установлена оптимальная доза внесения гидрогеля AQUASORB (40 г/дереву), обеспечивающая максимальную прибавку урожая при экономической целесообразности. Разработана методика размещения IoT-станций для интенсивного садоводства с рекомендуемой плотностью 0,2–0,5 станций/га.

Достоверность и точность научных результатов. Достоверность полученных результатов обеспечена применением современных методов исследований и стандартизированных методик. Точность показаний IoT-станций подтверждена сравнительным анализом с данными метеорологического поста «Казгидромет», расположенного в 12 км от участка: для температуры воздуха получен коэффициент корреляции 0,98, для относительной влажности – 0,95, что свидетельствует о метрологической надёжности сенсорной сети. Статистическая обработка данных проведена с оценкой достоверности при 5%-ном уровне значимости (HSP_{05}). Эксперименты выполнены по методике Б.А. Доспехова с использованием дисперсионного анализа.

Результаты исследования нашли отражение в 11 научных публикациях. Две из них размещены в рецензируемых журналах базы Scopus – J. Biodiversity and Conservation (квартиль Q1) и J. Water and Land Development; ещё две – в изданиях, рекомендованных КОКНВО. Кроме того, материалы доложены на семи международных конференциях в Испании, Германии, Болгарии и Казахстане.

Личное участие автора. Докторант Тогисбаева Айнура Мухтаровна обладает обширными знаниями и научными интересами в области экологии, информационных технологий и сельскохозяйственных наук. Личный вклад докторанта охватывает полный цикл исследования: от проектирования аппаратно-программной архитектуры «MOM SENSOR» и построения геопространственной базы данных до обучения и валидации пяти ML-моделей, настройки интеграции со спутниковой платформой EOSDA, разработки веб-портала, а также самостоятельного проведения четырёхлетнего полевого эксперимента с последующей статистической обработкой данных.

Необходимо отметить, что во время обучения в докторантуре Тогисбаева Айнура под моим руководством проходила научную стажировку в Русенском университете имени Ангела Кънчева (Болгария, г. Русе) с 14 ноября по 15



декабря 2022 года. Стажировка была организована для ознакомления с современными методами разработки экологического интеллектуального мониторинга IT-технологии агроэкосистемы и методами экологических исследований почв и растений. Докторант подошла к выполнению задач с исключительной ответственностью, проявила инициативу и самостоятельно адаптировала методологические подходы к специфическим условиям юго-востока Казахстана. По результатам стажировки была подготовлена статья, представленная на Международной научной конференции Русенского университета.

Заключение. В целом, диссертационная работа PhD докторанта Тогисбаевой Айнуры Мухтаровны на тему «Разработка IT-технологии интеллектуального экологического мониторинга агроэкосистемы плодовых культур в условиях юго-востока Казахстана» является завершённым научным исследованием, выполненным на высоком методическом уровне, отличающимся актуальностью, обладающим значительной теоретической и практической значимостью. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а докторант Тогисбаева Айнура Мухтаровна достойна присвоения учёной степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05204 – Экология.

На основании вышеизложенного рекомендую диссертационную работу Тогисбаевой А.М. к открытой защите в диссертационный совет.

Зарубежный научный консультант:
Филипова Маргаритка Василева
PhD, ассоциированный профессор
Аграрно-индустриального факультета
Русенского университета

К. Стоянов,
ассоциированный профессор
Декан Аграрно-индустриального факультета
Русенского университета



г. Русе, Болгария
12.02.2026 г.