

ОТЗЫВ

**отечественного научного консультанта
д.с.-х.н., академика НААН РК, профессора кафедры «Почвоведение,
агрехимия и экология» НАО КазНАИУ Сулейменовой Назии Шукеновной
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 Тогисбаевой Айнуры Мухтаровны посвящена разработке IT-технологии интеллектуального экологического мониторинга агроэкосистемы плодовых культур в условиях юго-востока Казахстана. Актуальность исследования определяется нарастающими темпами аридизации климата в предгорной зоне Заилийского Алатау и необходимостью перехода от традиционных методов управления агроэкосистемами к цифровым технологиям, позволяющим принимать обоснованные решения на основе непрерывного потока данных.

Анализ современного состояния проблемы, проведённый в диссертации, убедительно показывает, что существующие мировые решения (FarmBeats, CropX, Pessl Instruments) ориентированы преимущественно на зерновые культуры в условиях Северной Америки и Западной Европы. Адаптированная к специфике многолетних плодовых культур в аридных условиях Центральной Азии система, интегрирующая наземные IoT-датчики, спутниковые данные Sentinel-2 и алгоритмы машинного обучения, до начала данного исследования отсутствовала. Этот факт определяет научную новизну и безусловную актуальность представленной работы.

Исследование выполнено в рамках приоритетных направлений Стратегии «Казахстан-2050», Национального проекта «Жасыл Қазақстан», программы «Цифровой Казахстан» и соответствует целям устойчивого развития ООН (SDG 2, 6, 12, 15). Экспериментальный участок площадью 10 га расположен в предгорной зоне Заилийского Алатау (село Турген, Алматинская область, 43°24'N, 77°35'E, высота 980–1020 м над уровнем моря) на тёмно-каштановых почвах с содержанием гумуса 3,78% и наименьшей влагоёмкостью 32,4%.

Теоретическая значимость диссертации определяется рядом впервые полученных результатов, обогащающих методологию экологического мониторинга агроэкосистем. Докторантом разработана шестиуровневая IoT-архитектура: сенсорный уровень (четыре автономные станции с датчиками, анемометром и FDR-датчиком влажности почвы), уровень передачи данных, геопространственное хранилище, аналитический модуль ML, модуль спутникового мониторинга и образовательный портал.

Создание комплекса из пяти моделей машинного обучения для прогнозирования агроклиматических рисков является существенным научным

вкладом. Модель прогнозирования заморозков (Random Forest, $F1 = 0,64$, $AUC-ROC = 0,82$) обеспечивает упреждающее оповещение за 18–24 часа, что позволило сократить потери урожая с 15–20% до 3–5%. Модели оценки водного стресса (Gradient Boosting, $R^2 = 0,85$), риска заболеваний (Logistic Regression, $AUC = 0,78$), оптимизации орошения (MLP, $MAE = 15\%$) и прогнозирования активности вредителей (Gradient Boosting, $AUC = 0,72$) интегрированы с данными IoT-датчиков и спутниковых индексов в единую систему поддержки принятия решений.

Впервые установлены количественные закономерности динамики водного режима почвы методом непрерывного IoT-мониторинга с 15-минутным разрешением. Выявлена сильная корреляция интегрального индекса iNDVI с урожайностью ($r = 0,91$, $p < 0,01$) и корреляция NDWI с IoT-данными влажности почвы ($r = 0,81$), что создаёт научную основу для перехода к прецизионному управлению садоводством на региональном уровне.

Практическая значимость работы. Практическая ценность диссертации подтверждена результатами четырёхлетних полевых экспериментов (2021–2024 гг.) на участке площадью 10 га с четырьмя сортами яблони: Golden Delicious (40%), Американка (30%), Апорт (20%) и Смирненко (10%). Четыре IoT-станции накопили свыше 2,1 млн телеметрических записей при средней полноте данных 96,5% и среднем uptime 97,2%, что свидетельствует о высокой надёжности разработанной системы.

Применение IT-технологии обеспечило прибавку урожая 26% (212 против 168 ц/га), экономию оросительной воды 26% (4600 против 6200 м³/га), сокращение пестицидных обработок на 25% (с 8 до 6 обработок за сезон), предотвращение потерь от заморозков на 75%, рост содержания гумуса на 6,3% (с 3,78 до 4,02% в слое 0–30 см) и повышение биологической активности почвы на 34–50% (целлюлозолитическая и каталазная активность). Водопотребление на единицу продукции снизилось на 41% (с 36,9 до 21,7 м³/т).

Экономическая эффективность IT-технологии характеризуется рентабельностью 1396%, сроком окупаемости менее одного месяца и совокупным годовым экономическим эффектом 16,128 тыс. тенге на 10 га. Установлена оптимальная доза внесения гидрогеля AQUASORB (40 г/дерево) и разработана методика размещения IoT-станций для интенсивного садоводства (0,2–0,5 станций/га). Результаты внедрены в практику управления яблоневым садом в предгорной зоне Заилийского Алатау.

Достоверность и точность научных результатов. Достоверность результатов обеспечена применением стандартизированных методик исследований, метрологической верификацией IoT-оборудования и корректной статистической обработкой данных. Показания IoT-станций верифицированы путём сопоставления с эталонными данными метеопоста «Казгидромет» (г. Алматы): коэффициент корреляции по температуре воздуха составил $r = 0,98$, по относительной влажности – $r = 0,95$, что соответствует рекомендациям ISO 17025. За четырёхлетний период сравнение проведено по 5 840 парным наблюдениям (4 станции × 1 460 суток). Полевые эксперименты выполнены по

методике Б. А. Доспехова с дисперсионным анализом и оценкой достоверности при 5%-ном уровне значимости (NSP_{05}).

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus (Journal of Biodiversity and Conservation, Q1; Journal of Water and Land Development, PAN), 2 статьи в журналах, рекомендованных КОКНВО при МНВО РК (журнал «Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты» КазНАИУ), 7 публикаций в материалах международных научно-практических конференций. Результаты доложены на конференциях в Испании, Германии, Болгарии, Узбекистане, а также на семинарах кафедры «Экология» КазНАИУ (2021–2024 гг.).

Личное участие автора. Докторант Тогисбаева Айнура Мухтаровна на протяжении всего периода обучения в докторантуре продемонстрировала высокий уровень научной подготовки, инициативность и самостоятельность в постановке и решении исследовательских задач. Автором лично выполнены: разработка архитектуры и программного обеспечения, проектирование базы данных, реализация ML-моделей прогнозирования, интеграция спутниковых данных Sentinel-2 через платформу EOSDA Crop Monitoring, создание веб-портала, проведение полевых экспериментов на 10-гектарном участке в 2021–2024 гг., статистическая обработка и интерпретация результатов.

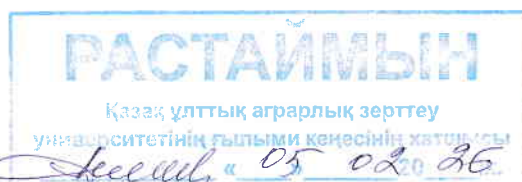
Докторант прошла зарубежную научную стажировку в Русенском университете имени Ангела Кънчева (Болгария), освоив современные методы экологических исследований. Экспериментальный материал получен и обработан автором самостоятельно. Вклад докторанта состоит в теоретическом обосновании, практической реализации и комплексной апробации разработанной IT-технологии.

Заключение. В целом, диссертационная работа PhD докторанта Тогисбаевой А.М. на тему «Разработка IT-технологии интеллектуального экологического мониторинга агроэкосистемы плодовых культур в условиях юго-восточного Казахстана» является завершённым научным исследованием, выполненным на высоком методическом уровне, отличающимся актуальностью, обладающим значительной теоретической и практической значимостью. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание степени доктора философии (PhD), а докторант Тогисбаева А.М. 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.

Отечественный научный консультант
д.с.-х.н., академик НААН РК,
профессор кафедры «Почвоведение,
агрохимия и
экология» НАО КазНАИУ

Н.Ш. Сулейменова



04.02.2026 г.