В диссертационный совет 6D.KOA-091,
созданный на базе Таджикского технического университета
имени академика М.С. Осими

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Хакдодова Акбарджона Махмадшарифовича на тему «Совершенствование системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха в условиях города Душанбе», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. Экология

С точки зрения практической природоохранной деятельности тема диссертационной работы Хакдодова Акбарджона Махмадшарифовича представляется весьма своевременной. Действующая система экологического мониторинга качества атмосферного воздуха города Душанбе, как справедливо отмечает автор, опирается на ограниченную сеть стационарных постов (одна автоматическая станция Агентства по гидрометеорологии, пять постов с ручным управлением и одна станция при Посольстве США), что объективно не обеспечивает необходимой пространственно-временной детализации наблюдений, требуемой для оперативного принятия управленческих решений природоохранными органами.

Автором предложена архитектура автоматизированной информационной системы, объединяющей стационарные, мобильные и специализированные (в том числе размещаемые на беспилотных летательных аппаратах) источники данных, с автоматическим формированием уведомлений при превышении ПДК и инициацией дополнительных измерений посредством БПЛА. Подобный подход к адаптивному мониторингу, ориентированному не только на фиксацию, но и на оперативную локализацию источника загрязнения, представляет несомненный практический интерес для природоохранных служб и органов управления городским хозяйством.

Особую практическую ценность, на наш взгляд, имеют результаты обоснования применимости низкобюджетных оптических датчиков SPS30 в качестве вспомогательного средства измерения концентраций PM2.5 – при условии среднечасового усреднения, влажностной калибровки и периодической поверки по референсным станциям. Такое решение потенциально позволяет расширить пространственный охват наблюдательной сети без существенных капитальных затрат на государственные автоматические станции, что особенно актуально в условиях ограниченного финансирования природоохранных мероприятий.

Сформулированные автором рекомендации по практическому использованию результатов адресованы непосредственно Комитету охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан и Агентству по гидрометеорологии, что подтверждает прикладную направленность

диссертации. Результаты работы получили признание – на архитектуру системы получен малый патент Республики Таджикистан №1744, работа апробирована на профильных научно-практических конференциях, опубликовано 7 научных работ, из них 4 – в изданиях перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Наряду с положительной оценкой диссертационной работы необходимо отметить следующие замечания:

1. В автореферате отсутствует ориентировочная оценка стоимости развёртывания и последующей эксплуатации предложенной распределённой системы мониторинга (сенсорная сеть, БПЛА, серверная и блокчейн-инфраструктура) в сопоставлении с затратами на расширение сети государственных автоматических станций, что затруднит обоснование экономической целесообразности внедрения перед принимающими решения органами.

2. Не рассмотрены организационно-правовые аспекты регулярного применения беспилотных летательных аппаратов для детализированного обследования зон превышения ПДК в условиях городской застройки Душанбе (получение разрешений на полёты, ограничения по высоте и зонам, требования безопасности), что является существенным практическим ограничением предложенного решения.

Отмеченные замечания носят частный характер, не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и могут быть учтены автором в его дальнейшей научной деятельности.

Заключение

Представленная диссертационная работа **Хакдодова Акбарджона Махмадшарифовича** на тему **«Совершенствование системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха в условиях города Душанбе»** является завершённым научным исследованием, выполненным на актуальную тему, обладающим научной новизной и практической значимостью. Предложенные решения имеют явно выраженную прикладную направленность и представляют практический интерес для природоохранных органов и коммунальных служб города Душанбе.

По своему содержанию, структуре и оформлению автореферат соответствует требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а диссертация в целом соответствует специальности 2.9.6. Экология (пункты 3.8, 3.9, 4.3, 4.8 паспорта специальности). Автор диссертации, **Хакдодов Акбарджон Махмадшарифович,** заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. Экология.

Сведения, содержащиеся в настоящем отзыве, а также согласие на обработку персональных данных лица, подписавшего отзыв, в порядке, установленном законодательством Республики Таджикистан, предоставлены добровольно.

Фамилия, имя, отчество: ***Гуломова Гулнора Мухитдиновна***

Учёная степень, учёное звание: *доктор философии (PhD) по химическим наукам, доцент*

Должность: *Заведующая кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»*

Полное наименование организации: *Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова*

Почтовый адрес организации:

100095, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, д. 2.

Телефон: 99890 909-76-77 E-mail: tstu_info@tdtu.uz

«19» октябрь 2026 г.

Подпись: _____

IMZOSINI TASDIQLAYMAN
TDTU IRB BOSHLIG'I _____
(imzo)
"____" _____ 2026 y.

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI ● TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI ● ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
INSON RESURSLARI BO'LIMI

В диссертационный совет 6D.KOA-091,
созданный на базе Таджикского технического университета
имени академика М.С. Осими

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Хакдодова Акбарджона Махмадшарифовича** на тему «**Совершенствование системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха в условиях города Душанбе»,** представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. Экология

Диссертационная работа Хакдодова А.М. посвящена переходу от фрагментарных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха к интегрированной цифровой системе мониторинга. Для быстро растущего города с высоким уровнем загрязнения PM2.5 и ограниченным финансированием наблюдательной сети такая задача имеет прямое значение для охраны здоровья населения и природоохранного управления. Тематика работы согласуется с Государственной экологической программой Республики Таджикистан на 2023–2028 годы и с объявленными годами развития цифровой экономики и инноваций.

К основным научным результатам, полученным лично автором, следует отнести:

1. обоснование применимости низкобюджетных оптических датчиков SPS30 в качестве вспомогательного измерительного средства с установлением условий достоверности их показаний (среднечасовое усреднение, влажностная калибровка, периодическая поверка по референсным станциям);

2. выявление закономерностей пространственной, суточной и сезонной изменчивости PM2.5 в Душанбе, включая двукратное сезонное увеличение загрязнения (158,7 мкг/м³ в декабре против 82,3 мкг/м³ в апреле), инерционный характер загрязнения (ACF(1) = 0,727) и слабый положительный тренд около +0,82 мкг/м³ в год;

3. разработку модульной архитектуры автоматизированной информационной системы, объединяющей сенсорный сбор данных, метеоинформацию, блокчейн-верификацию, ансамблевое прогнозирование, контроль ПДК и адаптивное привлечение БПЛА;

4. алгоритм слияния данных разнородных источников с учётом коэффициентов качества и пространственно-временной релевантности, позволяющий корректно оценивать концентрации при неоднородной плотности датчиков.

Практическая ценность работы подтверждается малым патентом Республики Таджикистан, разработанным комплектом проектной документации (20 функциональных и 7 нефункциональных требований, диаграмма из 31 класса, 8 диаграмм последовательности) и 13 прототипами пользовательских интерфейсов. Рекомендации автора по развитию наблюдательной сети могут быть непосредственно использованы Комитетом охраны окружающей среды и Агентством по гидрометеорологии.

Вместе с тем по автореферату возникают следующие вопросы и замечания:

1. Для ансамбля моделей Random Forest, XGBoost и LSTM не приведены показатели точности прогноза на тестовой выборке, хотя ряд из 2269 наблюдений позволял выполнить такую оценку.
2. Не обоснован выбор блокчейн-технологии по сравнению с более простыми средствами контроля целостности данных (журналы с хеш-подписями), а также не оценены затраты на её эксплуатацию.

3.Не рассмотрены правовые ограничения на полёты БПЛА над городской территорией Душанбе, которые могут повлиять на реализуемость модуля автоматической отправки дронов.

Отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на научную и практическую значимость полученных результатов. Диссертационная работа Хакдодова А.М. выполнена на актуальную тему, отличается научной новизной и практической направленностью, а её содержание соответствует паспорту специальности 2.9.6. Экология.

Считаю, что работа удовлетворяет требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Хакдодов Акбарджон Махмадшарифович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. Экология.

Фамилия, имя, отчество: Гулаёзов Маджид Шоназарович
Учёная степень, учёное звание: кандидат географических наук
Должность: Содиректор
Полное наименование организации: Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе)
Почтовый адрес организации: 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 267
Телефон: (+992 37) 225-78-16
E-mail: majid1983@mail.ru

«26» 10 2026 г.

Подпись: _____

Подпись Гулаёзова Маджида Шоназаровича удостоверяю.

Должность и Ф.И.О. удостоверяющего лица: Учёный секретарь Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе) Исмоилов Хасан Махмадсафарович.

М.П.

МАРКАЗИ ИЛМӢ-ТАҲҚИҚОТИИ ЭКОЛОГИЯ ВА МУҲИТИ ЗИСТИ ОСИЁИ МАРКАЗӢ (ДУШАНБЕ) • RESEARCH CENTER FOR ECOLOGY AND ENVIRONMENT OF CENTRAL ASIA (DUSHANBE) •

САРДОРИ МАЪМУРИЯТИ МАРКАЗ

В диссертационный совет 6D.KOA-091,
созданный на базе Таджикского технического
университета имени академика М.С. Осими

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Хакдодова Акбарджона Махмадшарифовича** на тему **«Совершенствование системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха в условиях города Душанбе»,** представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. Экология.

Загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами PM2.5 остаётся одной из наиболее острых экологических проблем города Душанбе. Расположение города в межгорной котловине, температурные инверсии холодного периода и регулярные пылевые вторжения формируют здесь неблагоприятные условия рассеивания примесей. Существующая наблюдательная сеть, состоящая из одной автоматической станции Агентства по гидрометеорологии, пяти постов с ручным отбором проб и станции при Посольстве США, не обеспечивает необходимой пространственно-временной детализации. Поэтому тема диссертационной работы, направленной на научное обоснование совершенствования системы экологического мониторинга, является актуальной и практически значимой.

Автором выполнен содержательный анализ методов измерения концентраций загрязняющих веществ и методик расчёта индексов качества воздуха, принятых в странах СНГ, США, ЕС, Китае и других государствах. Обоснованный вывод о методической корректности определения итогового индекса по максимальному подиндексу заслуживает поддержки.

Наибольший научный интерес представляют результаты второй главы. Автором экспериментально оценена пригодность оптических датчиков SPS30 для измерения PM2.5: показано снижение межсенсорного коэффициента вариации с 27,8 % до 17,7 % при переходе к часовому усреднению, получена калибровочная модель с учётом относительной влажности ($R^2 = 0,88$; RMSE =

= 3,05 мкг/м³). Натурные измерения выявили выраженную суточную динамику PM2.5 в городе (среднее 49,4 мкг/м³) при фоновом уровне 8,8 мкг/м³ в бассейне реки Варзоб, а также более чем восьмикратный рост загрязнения при пылевом вторжении. Статистический анализ временного ряда из 2269 среднесуточных наблюдений (2019–2026 гг.) установил стабильно высокий уровень загрязнения (среднее 120,9 мкг/м³), доминирование сезонной компоненты с максимумами в ноябре–январе и стационарность ряда, что создаёт обоснованную основу для краткосрочного прогнозирования.

Предложенная архитектура автоматизированной информационной системы мониторинга, защищённая малым патентом Республики Таджикистан, логично вытекает из выявленных закономерностей. Результаты работы апробированы на четырёх международных конференциях и опубликованы в 7 научных работах, в том числе 4 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. Не указан источник многолетнего ряда среднесуточных концентраций PM2.5 (2269 наблюдений). Следовало пояснить, с какой станции получены данные и как обрабатывались пропуски.

2. Не указано, какой норматив PM2.5 (национальная ПДК или рекомендации ВОЗ) используется в блоке контроля превышений проектируемой системы.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация Хакдодова А.М. является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научно-практической задачи совершенствования системы экологического

мониторинга атмосферного воздуха. Работа соответствует требованиям Порядка присуждения учёных степеней ВАК при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. Экология.

Рецензент: доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры прикладной химии
химического факультета, Таджикского
национального университета Рузиев Д.Р.

Подлинность подписи д.т.н., профессора
Рузиева Д.Р. заверяю:
Начальник УК и СЧ Таджикского
национального университета Шодихонзода Э.Ш.

Служебный адрес: 733036, Республика Таджикистан, г. Душанбе,
проспект Рудаки, 17. Тел.: +992917 -36-15-13 E-mail: ruzievgura71@mail.ru

В диссертационный совет 6D.KOA-091,
созданный на базе Таджикского технического университета
имени академика М.С. Осими

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Хакдодова Акбарджона Махмадшарифовича на тему «Совершенствование системы экологического мониторинга качества
атмосферного воздуха в условиях города Душанбе», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.9.6.Экология

Проблема загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами PM2.5 относится к числу приоритетных экологических проблем, поскольку, по данным Всемирной организации здравоохранения, воздействие данного поллютанта связано с ростом заболеваемости сердечно-сосудистой, дыхательной и эндокринной систем населения. Для города Душанбе, расположенного в межгорной котловине с неблагоприятными условиями рассеивания примесей (слабые ветра, температурные инверсии холодного периода), задача совершенствования системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха особенно актуальна. В этой связи тема диссертационной работы Хакдодова А.М., посвящённая совершенствованию системы экологического мониторинга на основе автоматизированной информационно-аналитической системы, является актуальной и практически востребованной.

Диссертант при выполнении научной квалификационной работы проводит систематизацию существующих методов и средств измерения концентраций загрязняющих веществ, сравнительный анализ методик расчёта индексов качества воздуха (ИЗА, КИЗА, AQI, DAQI, CAQI, AQHI, PSI, API), подробное изучение действующей системы мониторинга Агентства по гидрометеорологии с обоснованным указанием её основных ограничений, комплексную оценку и анализ источников загрязнения, их доли во взаимосвязи с климатическими и географическими/топографическими условиями.

На основании результатов натурных измерений концентраций PM2.5 (ведущий загрязнитель воздушного бассейна) обосновывается использование низкобюджетных датчиков SPS30, включая оценку их метрологической пригодности относительно эталонного монитора Fidas 200S. Отдельного внимания заслуживает проведенный автором статистический анализ многолетних данных по загрязнению воздуха (2269 наблюдений за период 2019–2026 гг.), что позволяет составить достоверную картину динамики загрязне-

ния, выделить дни и сезоны с пиковыми значениями загрязненности и чистоты и подтверждает актуальность перманентного мониторинга и прогнозирования на основании инерционности загрязнения/накопления частиц PM2.5 в воздухе, сезонности и климатических/погодных условий.

Преимущества разработанной автором архитектуры автоматизированной информационной системы мониторинга качества атмосферного воздуха, обеспечивающей связь между измерительными устройствами, базой данных, аналитическим модулем, прогнозной подсистемой, модулем контроля ПДК, системой уведомлений и пользовательскими интерфейсам, несомненны: интеграция стационарных, мобильных и специализированных источников данных в единую автоматизированную информационную систему мониторинга; применение низкобюджетных оптических датчиков для измерения концентраций PM2.5 в городской среде с учётом влажностной калибровки; возможность прогнозирования превышения ПДК на основании обширной базы данных, возможность автоматического дополнительного контроля с помощью мобильных датчиков, установленных на БПЛА; четкий и понятный для пользователя интерфейс.

Однако, по автореферату диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. Каким образом модель обеспечивает переход к проактивному управлению экологической ситуацией? Например, какие меры предполагаются при получении прогноза превышения ПДК?
2. Проводилась ли апробация, эксперименты в полевых условиях хотя бы с ограниченным количеством датчиков, или разработка ограничена только моделью?
3. Каков ожидаемый экономический, социальный или иной эффект от внедрения данной разработки в сопоставлении с затратами на ее реализацию.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и могут быть учтены автором в его дальнейшей научной деятельности.

Заключение

Представленная диссертационная работа **Хакдодова Акбарджона Махмадшарифовича** на тему **«Совершенствование системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха в условиях города Душанбе»** является завершённым научным исследованием, выполненным на актуальную тему, обладающим научной новизной и практической значимостью. Результаты работы имеют самостоятельную ценность для решения задач охраны атмосферного воздуха города Душанбе и могут быть использованы природоохранными органами Республики Таджикистан.

По своему содержанию, структуре и оформлению автореферат соответствует требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а диссертация в целом соответствует специальности 2.9.6. Экология (пункты 3.8, 3.9, 4.3, 4.8 паспорта специальности). Автор диссертации, Хакдодов Акбарджон Махмадшарифович, заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6. Экология.

Сведения, содержащиеся в настоящем отзыве, а также согласие на обработку персональных данных лица, подписавшего отзыв, в порядке, установленном законодательством Республики Таджикистан, предоставлены добровольно.

Пантелеенко Федор Иванович д.т.н., профессор,
чл.-корр. НАН Беларуси, заслуженный деятель
науки Республики Беларусь, профессор кафедры
«Порошковая металлургия, сварка и технология
материалов» Белорусского национального
технического университета
Республика Беларусь, 220013, г.Минск, пр-т Независимости,65
Телефон:+3752959442878 E-mail: fedorpanteleyenko@yandex.ru
«30» октября 2026 г.Подпись: _____

Лазаренков Александр Михайлович д.т.н., профессор,
профессор кафедры «Охрана труда» Белорусского
национального технического университета
Республика Беларусь, 220013, г.Минск, пр-т Независимости,65
Телефон:+375296699098 E-mail: lazarenkov@bntu.by
«30» октября 2026 г.Подпись: _____

Подписи Пантелеенко Ф.И., Лазаренкова А.М.
удостоверяю.

Должность и Ф.И.О. удостоверяющего лица:

_____

_____

_____

М.П.

Свидетельствую подлинность подписи
Управление по работе с персоналом
» 20 г.