На правах рукописи



Нурмехамитова Виолетта Алмазовна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА УРБОЭКОСИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХЕМОМЕТРИКИ

1.5.15. Экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Казань – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» и в Институте проблем экологии и недропользования (обособленном подразделении Государственного научного бюджетного учреждения «Академия наук Республики Татарстан»).

Научный руководитель: доктор химических наук, доцент, **Шагидуллина Раиса Абдулловна**

Официальные оппоненты:
Сафарова Валентина Исаевна, доктор химических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», заведующий кафедрой «Экоинжиниринг, природообустройство и экологические технологии»;
Азаров Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск

Защита состоится «16» декабря 2026 г. в 17:00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.028.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, Зал заседаний Ученого совета (А-330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=599581

Автореферат диссертации разослан «___» октября 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
99.2.028.02  Хабибрахманова
Венера Равилевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Атмосферный воздух является главным фактором формирования экологической ситуации и связующим звеном, через которое загрязняющие вещества мигрируют и воздействуют на все остальные элементы урбоэкосистемы. Урбоэкосистема, формирующаяся на территории г. Казани, характеризуется высокой антропогенной нагрузкой на атмосферный воздух, особенно в тех районах, где сосредоточены основные источники выбросов. Пространственно-временная неоднородность химического состава приземного слоя атмосферного воздуха требует учета природно-климатических и градостроительных условий рассеивания выбросов при организации системного экологического мониторинга качества атмосферного воздуха.

В настоящее время, в действующей системе инструментального экологического мониторинга качества атмосферного воздуха на территории г. Казани существуют значительные пространственно-временные, количественные и качественные ограничения. Инструментальные наблюдения, основанные на сети стационарных станций, дополнены расчетными методами, основным преимуществом которых является их относительно низкая стоимость и высокая скорость получения результатов по сравнению с развертыванием сети стационарных станций наблюдений. Однако применяемые в настоящее время модели рассеивания требуют введения многочисленных эмпирических поправочных коэффициентов для повышения качества моделирования, либо требуют учета большого количества входных параметров, что приводит к существенному увеличению трудоемкости и вычислительной сложности расчетов. Ключевые ограничения действующей системы государственного экологического мониторинга могут быть преодолены за счет использования и интеграции хемометрических методов исследования.

Хемометрические методы исследования позволяют получить достоверную пространственно-временную картину распределения загрязняющих веществ, что особенно важно для решения задач прогнозирования и управления качеством атмосферного воздуха, а также оптимизировать структуру самих сетей инструментального мониторинга, повышая их репрезентативность. Актуальность хемометрических методик заключается в возможности проведения корректного анализа текущей, ретроспективной и прогнозной информации и обеспечения решения задач риск-ориентированных технологий управления качеством атмосферного воздуха. Внедрение хемометрических методик в практику экологического мониторинга позволит перейти к системе «интеллектуального» мониторинга, способной выдавать рекомендации по управлению воздействием на приземный слой атмосферного воздуха, которая обеспечит экологическую безопасность на территориях, подвергающихся влиянию промышленных объектов. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» подчеркивает важность достижения экологического благополучия как одной из национальных целей, что свидетельствует о необходимости минимизации антропогенного воздействия на живую природу.

Степень разработанности темы. Формирование приземных концентраций примесей в зоне влияния стационарных источников выбросов описано в работах Израэля Ю.А., Безуглой Э.Ю., Гениховича Е.Л., Оникула Р.И., Марчука Г.И.,

Белолипецкого В.М. и др., но разработанные ими теоретические или полуэмпирические модели являются детерминированными и, как следствие, содержат недостаточное количество значимых параметров и имеют невысокую точность.

В последние десятилетия для повышения точности прогнозов активно применяются нейросетевые и гибридные подходы. Можно отметить значимые работы в этом направлении авторов: Karul C., Soypak S., Cilesiz A.F., Germen E.; Круглов В.В., Борисов В.В., С. Осовский, Zade L.A., Звягин Л.С., Castro J., Емалетдинова Л.Ю. и др. В последние годы появились более сложные модели, разработанные Борисовым Д.В., Кузнецовым И.Н.; Fornasaro S., Astel A., Barbieri P., Licen S.; Kohila C. и др., а также подходы «машинного образования» для построения карт загрязнения территорий диоксидом азота и взвешенными веществами, разработанные Geltman A., Levy I., Fishbain B. Тем не менее, перечисленные современные работы применяют только классические методы для обработки данных, не предлагают хемометрические способы для обработки мониторинговой информации по качеству атмосферного воздуха. Таким образом, предложенные нами хемометрические подходы восполняют существующие пробелы.

Целью работы является создание хемометрических методик для совершенствования экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, обеспечивающих минимизацию антропогенного воздействия предприятий химической отрасли промышленности на урбоэкосистемы.

Задачи, решаемые в работе:

1. Оценить уровень загрязненности приземного слоя атмосферного воздуха и выделить факторы, приводящие к повышению приземных концентраций компонентов выбросов на территории урбоэкосистемы.
2. Создать методику разработки программы производственного экологического контроля качества атмосферного воздуха, в условиях методических ограничений, для минимизации антропогенного воздействия предприятия химической отрасли на урбоэкосистему.
3. Разработать нейросетевую модель для прогноза среднесуточных концентраций оксидов азота при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях.
4. Усовершенствовать нормативную базу путем идентификации и учета залповых выбросов для снижения химического загрязнения атмосферного воздуха территорий (на примере предприятия химической отрасли).
5. Создать методику оперативного прогноза роста концентраций диоксида азота на основе кластеризации данных с дальнейшим применением искусственных нейронных сетей.
6. Разработать способ расчета концентраций парникового газа диоксида углерода с использованием нейросетевого каскадного моделирования.

Научная новизна заключается в следующем:

1. На основе ретроспективного анализа данных мониторинга выявлены загрязняющие вещества, приоритетные в настоящее время для контроля на территории г. Казани, и метеорологические условия формирования наиболее высоких уровней загрязнения. Часто фиксируются превышения максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДК) для оксида азота (до 10,5

ПДК), диоксида азота (до 3,5 ПДК), оксида углерода (до 18,4 ПДК), сероводорода (до 17,6 ПДК), аммиака (до 7,5 ПДК). Превышения среднегодовых ПДК отмечены преимущественно для диоксида азота (до 1,8 ПДК). Доказано, что при формировании приземных концентраций, наряду с режимом работы источников выбросов, значимую роль играют вторичные химические реакции примесей в атмосфере с трансформацией в новые продукты, что обосновывает включение дополнительных предикторов (гамма-фон, озон, коэффициент трансформации) в нейросетевые модели для повышения их адекватности.

2. Впервые разработаны методики оперативной оценки и прогнозирования уровней загрязнения атмосферного воздуха на основе хемометрических подходов (на примере предприятия химической отрасли г. Казани). Предложен метод оперативного прогноза концентраций диоксида азота на основе кластеризации данных совместно с применением искусственных нейронных сетей, учитывающий особенности формирования приземных концентраций при увеличении мощности эмиссии данного вещества. Среднее значение коэффициента детерминации гибридной модели превысило $R^2 = 0,75$, что более чем в три раза выше точности базовой модели, использующей только метеорологические параметры. В условиях отсутствия данных о параметрах источников выбросов разработан способ нейросетевого расчета приземных концентраций парникового газа диоксида углерода на основе параметров, характеризующих вторичные химические реакции в атмосфере. Средняя погрешность модели по всему набору данных составила 0,9 %.

3. Впервые сформулировано определение термина «залповые выбросы» и предложены подходы для их учета, что позволит минимизировать антропогенное воздействие на качество атмосферного воздуха урбоэкосистемы. Установлено, что максимальные значения приземных концентраций диоксида азота, углерода, оксида углерода и сопутствующих суммаций, рассчитанные с учетом пиковых нагрузок во время залповых выбросов предприятий химической отрасли, на 1-2 порядка превышают соответствующие значения при штатном режиме их работы. Это указывает на высокую вероятность превышения значений показателей качества атмосферного воздуха и подтверждает необходимость обязательного учета залповых выбросов в процедурах инвентаризации и нормирования воздействия на окружающую среду.

4. Разработаны теоретические обоснования для формирования программ производственного экологического контроля в области охраны атмосферного воздуха, которые опробованы на примере предприятия химической отрасли г. Казани, отличающиеся от требований действующей нормативной базы применением предложенных хемометрических методик, для повышения точности и информативности прогнозов уровней химического загрязнения атмосферного воздуха.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается во вкладе диссертационного исследования в развитие научных основ экологического мониторинга качества атмосферного воздуха путем внедрения хемометрики как методологической основы цифровой модернизации, в том числе, с учетом возможности извлечения из массива данных скрытой информации о протекающих вторичных химических реакциях в атмосферной среде на территории урбоэкосистем и в зонах влияния предприятий химической отрасли.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Предложенные хемометрические методики повышают пространственно-временное разрешение действующей системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха и позволяют произвести более точный расчет нормативов допустимых выбросов для стационарных источников, обеспечивающих минимизацию антропогенного воздействия химической отрасли на живую природу. Предложенные методики также уменьшают относительную погрешность результатов, полученных расчетным путем, с 30 % и более до 17,8 % и менее по сравнению с регламентированными расчетными методиками.

2. Разработанный алгоритм формирования программы производственного экологического контроля, опробованный на примере предприятия химической отрасли, позволяет ее усовершенствовать, выявлять залповые выбросы и прогнозировать концентрации приоритетных для контроля загрязняющих веществ (Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ № 2026681973 от 17.07.2026; № 2026681970 от 17.07.2026), в связи с чем рекомендуется для предприятий и других отраслей промышленности, имеющих стационарные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

3. Полученные результаты, переданные в Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, имеют практическую значимость для эффективного проведения государственного экологического мониторинга химического загрязнения атмосферного воздуха и обеспечения экологического благополучия территорий (Справка о передаче результатов диссертационной работы и использовании их в практике для обеспечения экологического благополучия территорий).

4. Материалы диссертации внедрены в учебный процесс Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева-КАИ для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Техносферная безопасность» при изучении дисциплин «Экологический мониторинг и производственный экологический контроль» и «Управление экологической безопасностью территорий» (Акт о внедрении результатов диссертационной работы в образовательный процесс КНИТУ-КАИ).

5. Результаты, описанные в настоящем исследовании, использованы в отчетах о выполнении государственных заданий на 2019-2026 гг. для государственного научного бюджетного учреждения «Академия наук Республики Татарстан» по теме: «Научно-методическое обеспечение исследования антропогенных факторов формирования качества атмосферного воздуха промышленных городов Республики Татарстан» (Акт Академии наук Республики Татарстан о внедрении результатов исследований).

Методология и методы исследования.

Методология проведенного исследования осуществления экологического мониторинга химического загрязнения атмосферного воздуха урбоэкосистемы основана на привлечении хемометрических методов анализа многокомпонентной структуры данных химического анализа со значительным повышением их точности, с извлечением скрытых пространственно-временных закономерностей, в том числе касающихся процессов миграции и трансформации загрязняющих веществ в атмосфере. Данные для исследования получены в ходе работы с литературными и

статистическими данными, изучения проектных документов предприятия, нормативных и правовых актов в области экологического мониторинга качества атмосферного воздуха и оценки антропогенного воздействия на него, обработки результатов инструментальных измерений автоматизированных станций наблюдений за загрязнением атмосферы.

Хемометрические методы включали: нейронные сети типа многослойный персептрон, нейросетевую кластеризацию и анализ главных компонент. Статистическую обработку данных, проектирование и обучение нейросетевых моделей проводили с применением программного пакета Statistica 10 в комплекте поставки «Automated Neural Networks + DataMiner», аналитической платформы KNIME Analytics platform с интеграцией Keras.

Исследования проводились на кафедре общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), лаборатории прикладной экологии Института проблем экологии и недропользования Академии наук РТ (ИПЭН АН РТ).

Объекты исследования: параметры и химический состав выбросов промышленного объекта химической отрасли, результаты измерений метеорологических параметров и концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха на автоматизированных станциях наблюдений.

Предмет исследования: определение и прогноз изменения приземных концентраций компонентов выбросов, совершенствование процессов разработки программ производственного экологического контроля, оценки изменения содержания загрязняющих веществ при залповых выбросах химических веществ от источников загрязнения атмосферного воздуха.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

1. Методические подходы к формированию программы производственного экологического контроля для предприятия химической отрасли промышленности на основе многомерного нейросетевого кластерного анализа с экспертным оцениванием и теории риска.
2. Нейросетевая модель расчета среднесуточных концентраций оксидов азота для государственного и производственного экологического мониторинга качества атмосферного воздуха.
3. Подходы для учета залповых выбросов при их нормировании на примере предприятия химической отрасли промышленности с детализацией понятия «залповые выбросы».
4. Методика расчета содержания приоритетной для контроля примеси диоксида азота с учетом вторичных химических реакций в атмосферном воздухе на основе совместного применения кластеризации данных, анализа главных компонент и нейросетевого моделирования.
5. Методика расчета содержания концентраций парникового газа диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха, в условиях отсутствия данных о параметрах источников выбросов на основе многофакторного учета вторичных химических реакций в атмосфере.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.5.15. Экология согласно: п.2. Комплексная оценка влияния промышленных объектов химической и нефтегазовой отрасли на

природные и искусственные экосистемы. Принципы и механизмы системного экологического мониторинга. п.3. Научное обоснование, разработка и совершенствование методов проектирования технико-технологических систем и нормирования проектной и изыскательской деятельности, обеспечивающих минимизацию антропогенного воздействия на живую природу химической и нефтегазовой отрасли.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается массивом результатов измерений концентраций компонентов выбросов в приземном слое атмосферного воздуха урбоэкосистемы, полученных с применением актуальных физико-химических методов анализа, рекомендуемых для государственного экологического контроля, методов статистической обработки результатов, лицензионных компьютерных программ для обработки данных, инновационных информационных технологий.

Апробация результатов работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях, в том числе на: Международной научной конференции «Экология городской инфраструктуры - 2026» (Санкт-Петербург, 2026); Национальной научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности» (Оренбург, 2026); XX-XXV Международной научной конференции «Химия и инженерная экология» (школа молодых ученых) (Казань, 2021-2025 гг.); Международной научно-технической интернет-конференции «Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика» (Уфа, 2025); Международной молодежной научной конференции «XXVII Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (Казань, 2023); Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования» (Белгород, 2023).

Личный вклад автора. Автором осуществлялись обработка результатов измерений станций контроля загрязнения атмосферного воздуха, определение статистических характеристик загрязнения, формирование баз данных параметров выбросов промышленных объектов и автотранспорта, проведение расчетов рассеивания загрязняющих веществ в воздухе, проведение численных экспериментов по проектированию и обучению нейросетевых моделей. Постановка задач, интерпретация результатов исследований, формулирование выводов, подготовка научных публикаций осуществлены совместно с научным руководителем.

Автор приносит благодарность научному руководителю д.х.н. Р.А. Шагидуллиной за научное руководство и помощь в подготовке диссертации к защите, коллегам д.х.н., профессору Ю.А. Тунаковой, д.т.н., профессору С.В. Новиковой, д.т.н., с.н.с. А.Р. Шагидуллину, с.н.с. В.С. Валиеву за помощь в проведении исследований и ценные рекомендации.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 46 научных работ, из них 9 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 статья в другом рецензируемом научном издании, 34 публикации в

сборниках материалов и тезисов Международных и Всероссийских научных конференций, 2 авторских свидетельства на программы для ЭВМ.

Структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 204 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков и 24 таблицы, состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, 5 приложений. Библиографический список включает 253 источника, в т.ч.72 зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы работы, степень научной проработанности задач расчетного экологического мониторинга качества атмосферного воздуха на территории урбоэкосистемы, в зоне влияния выбросов предприятия химической отрасли и соответствие темы паспорту специальности, приводятся цель, задачи исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, методология исследования.

В первой главе показано влияние уровня загрязненности атмосферного воздуха на состояние сопредельных компонентов урбоэкосистемы, дана характеристика действующей системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха и проанализированы факторы, определяющие формирование уровня загрязнения приземного слоя, приведены отечественные и зарубежные подходы к расчетному экологическому мониторингу качества атмосферного воздуха, дается обоснование необходимости использования хемометрических подходов для оценки качества атмосферного воздуха в урбоэкосистеме, приведен обзор расчетных методов для пространственно-временного, количественного и качественного увеличения объема мониторинговых данных, показаны их преимущества и недостатки.

Во второй главе содержатся характеристика объектов исследования и обоснование использования рассматриваемого методического и программного обеспечения.

Описана система автоматизированных станций контроля загрязнения атмосферного воздуха г. Казань.

Для оценки качества воздуха использованы критерии стандартный индекс (СИ), наибольшая повторяемость превышений (НП), индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА5), метеорологический показатель загрязнения атмосферы (МПЗА), усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферного воздуха (1/УМПА). Для расчетов рассеивания компонентов выбросов использован программный комплекс УПРЗА «Эколог», разработанный фирмой «Интеграл», реализующий «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных веществ» (МРР-2017).

Изложены принципы построения и обучения искусственных нейронных сетей, описана архитектура, функции активации, алгоритм и метрики качества. Дополнительно представлены методы кластеризации, метод главных компонент, программного обеспечения и визуализации результатов. Расчеты и моделирование выполнены в Statistica 10 (Automated Neural Networks + DataMiner) и KNIME Analytics Platform с интеграцией Keras.

В главе представлена методическая и инструментальная база для последующего анализа данных мониторинга, разработки методики формирования программы производственного экологического контроля (ПЭК), учета залповых выбросов и расчета концентраций парникового газа диоксида углерода (CO_2).

В третьей главе на основе данных АСКЗА за 2016-2024 гг. проведена комплексная оценка уровней загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха и выявлены значимые факторы их формирования. Анализ проводился для перечня примесей из 13 наименований, измерения которых проводятся на каждой из пяти станций: азота оксид (NO), азота диоксид (NO_2), аммиак (NH_3), бензол, сероводород (H_2S), м-,п-ксилол, о-ксилол, серы диоксид, стирол, толуол, углерода оксид (CO), фенол, этилбензол.

Установлено, что превышения максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДКм.р.) наиболее часто фиксируются для NO (4,2 мг/м^3 в 2018 г.), NO_2 (0,7 мг/м^3 в 2021 г.), CO (92 мг/м^3 в 2016 г.), H_2S (0,047 мг/м^3 в 2023 г.) и NH_3 (1,5 мг/м^3 в 2016 г.). По среднегодовым концентрациям превышения предельно допустимых концентраций (ПДКс.г.) отмечены для NO_2 (до 0,07 мг/м^3 в 2018 г.).

Комплексный индекс загрязнения атмосферы по 5 веществам (КИЗА5) находился в диапазоне 1,83-2,91 – низкий уровень загрязнения, однако стандартный индекс достигал 18,3 (2016 г.), наибольшая повторяемость для NO_2 достигала 8,86 % (2018 г.), что свидетельствует о локальных пиковых загрязнениях.

Наибольшую опасность в городских условиях представляет сочетание приземных инверсий с низкой скоростью ветра. Наиболее высокие концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) создаются при 0-2 м/с для наземных, низких и средних источников, 4-7 м/с для высоких.

Построены диаграммы для оксидов азота (NO_x) и CO, отражающие зависимость фиксируемых значений концентраций загрязнителей от направления ветра на АСКЗА-1-5 (рисунок 1). Синхронность пиков загрязнения на разных станциях обусловлена общими метеоусловиями, но метеорологические параметры недостаточно полно объясняют изменчивость концентраций, что обосновывает необходимость учета дополнительных предикторов при построении прогнозных моделей.

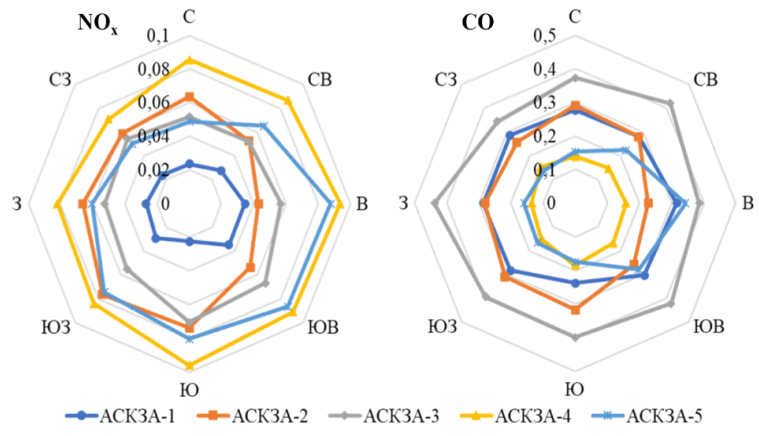


Рисунок 1 – Лепестковые диаграммы средних значений концентраций NO_x и CO в зависимости от направления ветра, мг/м^3

Показано значимое влияние режима работы источников выбросов и вторичных химических реакций в атмосфере. Так, взаимодействие первичных загрязнителей и компонентов среды приводит к образованию вторичных с увеличением их приземных концентраций.

В четвертой главе представлена методика формирования программы ПЭК. Согласно Федеральному закону «Об охране окружающей среды» требования к содержанию программы ПЭК определяются Минприроды России с учетом

категорий объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. С учетом этого предложены количественные нормативы для размещения пунктов наблюдений в зоне влияния объекта: для объектов III категории – не менее 1 пункта, для II категории – не менее 4 пунктов, для I категории – не менее 8 пунктов, размещаемых с учетом сторон света и преобладающего направления ветра, а также результатов расчета рассеивания.

Наилучшей практикой при организации программы ПЭК считается риск-ориентированный подход, при котором особое внимание уделяется мониторингу параметров, выход которых за границы установленных значений может произойти с высокой вероятностью и/или грозит тяжелыми последствиями. Разработан подход к формированию программы ПЭК, восполняющий пробелы нормативных документов, включает в себя несколько последовательных этапов: расчеты рассеивания компонентов выбросов с использованием УПРЗА «Эколог»; нейросетевая кластеризация для выделения однородных зон, определение коэффициента опасности (HQ); определение перечня веществ и периодичности контроля на основе вероятностного критерия (pHQ).

Важным достоинством вероятностного критерия является его устойчивость к различию числа наблюдений случаев превышения референтных величин, что делает его более гибким и объективным при сравнительных оценках коэффициента опасности, что является важнейшей задачей при управлении риском.

Апробация проведена на предприятии химической отрасли промышленности Республики Татарстан. В 30 контрольных точках санитарно-защитной зоны (СЗЗ) основной промышленной площадки предприятия на основе данных инвентаризации стационарных источников и выбросов ЗВ в атмосферный воздух были определены содержания 12 основных загрязняющих ЗВ: диалюминий триоксид, фенол, NO_2, NH_3, кремния диоксид, серы диоксид, бензол, этенилбензол, хлорметан, ацетальдегид, уксусная кислота, углеводороды предельные С12-С19.

Кластеризация выделила два основных кластера (0 – 12 точек, 1 – 18 точек). Приоритетными веществами во всех кластерах оказались фенол (HQ до 4), NO_2 (HQ до 3,8), бензол (HQ до 3,7), в кластере 0 дополнительно – уксусная кислота (HQ до 1,1).

Дополнительная кластеризация внутри кластеров (рисунок 2) выявила внутри кластера 0 подкластер 0–0 подвержен наименьшему риску относительно точек подкластеров 0–1 и 0–2. Подкластер 1–0 является самым неблагополучным в кластере 1, так как содержит точки с максимальными значениями HQ по сочетанию сразу двух веществ – NO_2 и бензола. Плотность подкластеров кластера 1 выше, чем для подкластеров кластера 0, но для особо опасных ЗВ со значениями HQ>1 не превосходит 10 %.

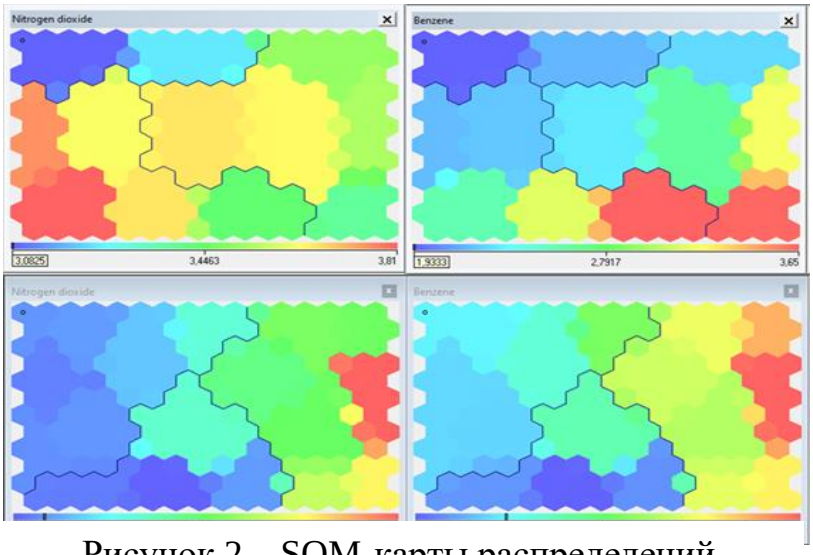


Рисунок 2 – SOM-карты распределений уровней опасности для ЗВ с HQ>1 по подкластерам кластера 0 и 1

Дополнительно создана нейросетевая модель для прогноза среднесуточных концентраций NO_x (рисунок 3). В качестве исходных данных использованы результаты измерений пяти АСКЗА г. Казани за трехлетний период 2022-2024 гг. Для подготовки данных для обучения нейронной сети произведена обработка результатов измерений, в процессе которой вычислялись среднесуточные значения суммарных концентраций NO_x, а также метеорологических условий по результатам измерений каждой из станций. Далее полученные значения усреднялись по всем станциям с выводом среднегородских значений концентраций и метеорологических факторов. Для учета наблюдаемого различия интенсивности движения транспорта в рабочие и выходные дни массив дополнен данными производственного календаря. Для учета сезонных изменений рассеивающей способности атмосферного воздуха массив обучающих данных дополнен данными о смене сезонов.

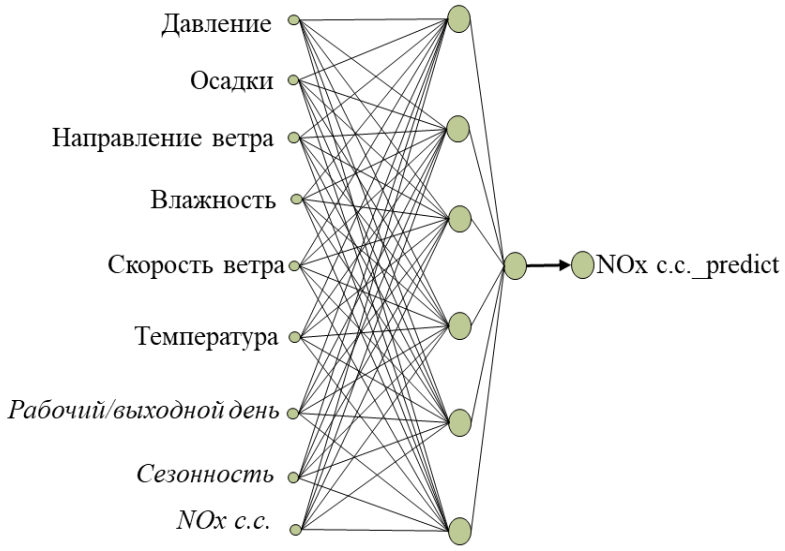


Рисунок 3 – Архитектура сети прогнозирования концентраций NO_x

Анализ результатов работы нейронной сети на данных, не участвовавших в обучении, показывает, что в 86,2 % случаев нейросетевая модель правильно предсказывает повышение концентрации NO_x выше 50-процентиля ряда среднесуточных концентраций. Это означает, что модель пригодна для оперативного выявления периодов вероятного роста загрязнения, например, при планировании маршрутных наблюдений в рамках ПЭК или в периоды неблагоприятных метеорологических условий.

В пятой главе представлены подходы для учета залповых выбросов при работе стационарных источников действующие нормативные правовые акты не содержат четкого определения понятия «залповые выбросы», а в методиках отсутствуют единые критерии их выявления. На примере предприятия химической отрасли показано, что в отчете инвентаризации выбросов отсутствует разграничение на штатные и залповые выбросы.

Выполнены расчеты рассеивания ЗВ для 30 расчетных точек на границе СЗЗ по трем режимам: штатный режим, режим с учетом залповых выбросов, режим с учетом залповых и аварийных выбросов. Результаты показали, что при учете залповых выбросов максимальные приземные концентрации возрастают по NO_2 – с 0,758 до 1,771 д.ПДК, по саже – с 0,047 до 30,528 д.ПДК, по CO – с 0,075 до 7,698 д.ПДК. Залповый выброс является частью технологического процесса. В то же время, залповые выбросы – это выбросы, сопряженные с поступлением в атмосферный воздух значительного количества ЗВ. Таким образом, их учет является

обязательным для получения корректных результатов оценки воздействия выбросов объекта на прилегающие территории.

На основе проведенного анализа материалов инвентаризации выбросов ЗВ крупнейших объектов химической отрасли и технологических процессов, обеспечивающих стабильное функционирование аппаратов, предлагается определить понятие «залповые выбросы» как «непродолжительный (не более 48 часов) режим выбросов ЗВ в атмосферный воздух, являющийся неотъемлемой частью технологического процесса производства и/или технического обслуживания производственного оборудования, сопряженный с увеличением мощности выбросов ЗВ в атмосферный воздух на 30 и более процентов в сравнении с штатным режимом работы оборудования».

Для моделирования приземных концентраций в условиях, когда данные о текущих параметрах выбросов недоступны, предложена гибридная модель, объединяющая кластеризацию методом k-средних и нейросетевую модель. В качестве ЗВ выбран NO_2 как один из наиболее распространенных и информативных индикаторов антропогенного воздействия.

Исходный набор данных сформирован по результатам измерений на трех АСКЗА г. Казани за 7-летний период (2016-2024 гг.). Для каждого наблюдения зафиксированы: концентрация NO_2, метеорологические параметры, а также гамма-фон, измеренный на тех же станциях. Введение гамма-фона в качестве предиктора обосновано его способностью характеризовать интенсивность вторичных химических реакций в атмосфере, в том числе фотохимическое окисление NO в NO_2 (рисунок 4).

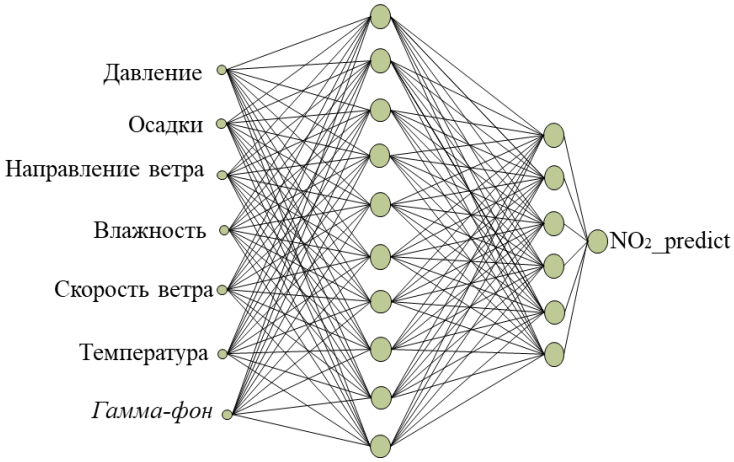


Рисунок 4 – Архитектура сети прогнозирования концентраций NO_2 по значениям основных значимых

По результатам серии вычислительных экспериментов с различным количеством кластеров с последующим определением характеристик распределения данных внутри каждого кластера, для финального моделирования было принято k=3.

В рассматриваемой задаче расчета приземных концентраций NO_x используется многомерный набор признаков, характеризующий сложные процессы рассеивания и химической трансформации. Анализ таких данных непосредственно в исходном пространстве затруднен вследствие высокой размерности. Для этого был проведен анализ главных компонент. Анализ распределения концентраций NO_2 и структуры данных позволил качественно интерпретировать полученные кластеры (рисунок 5).

Для каждого из трех кластеров обучена отдельная нейросетевая модель на основе данных АСКЗА. Среднее значение коэффициента детерминации по трем кластерам – 0,75, что в 3,4 раза выше, чем у базовой модели, использующей только

метеопараметры (R^2 = 0,22), и в 1,3 раза выше, чем у модели с гамма-фоном, но без кластеризации (R^2 = 0,58). Максимальная точность достигнута для устойчивого кластера 0 (R^2 = 0,923), что подтверждает эффективность разделения данных по режимам.

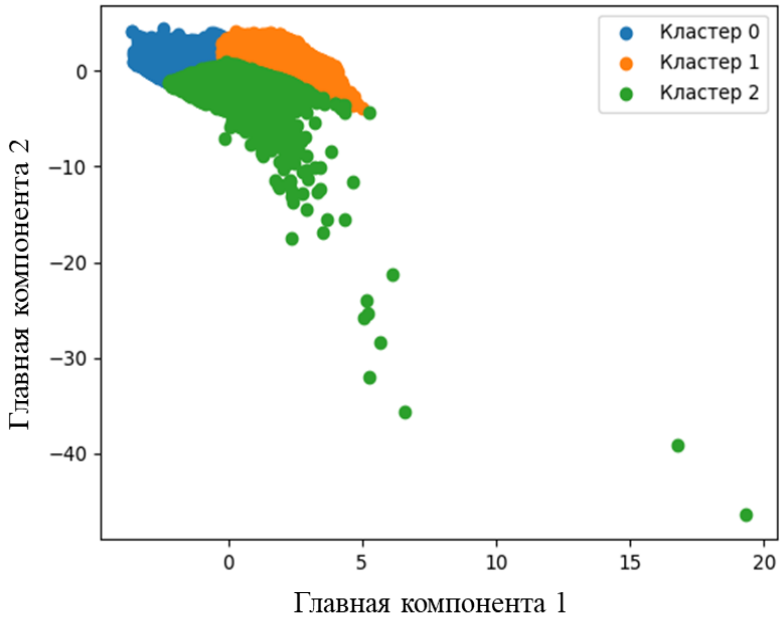


Рисунок 5 – Разделимость кластеров относительно главных компонент

Анализ распределения концентраций и метеопараметров по кластерам показал, что у кластера 2 точность модели ниже, чем у остальных (R^2 = 0,718). Это позволяет интерпретировать отклонения как индикатор наличия дополнительного источника эмиссии – залпового выброса.

В шестой главе предложен расчет концентраций парникового газа CO_2. Измерения концентраций CO_2 в крупных городах страны имеют значительные количественные и пространственные ограничения. Разработан способ расчетного определения приземных концентраций CO_2 для территорий, где отсутствуют инструментальные измерения и данные инвентаризации выбросов этого газа, что делает невозможным применение стандартных регламентированных методик.

Предложена каскадная модель, использующая взаимосвязь между CO и CO_2 (рисунок 6). В состав выбросов, образующихся при неполном сжигании топлива, входит CO – угарный газ. Он выбрасывается совместно с CO_2 в промышленных процессах сжигания топлива, что обусловливает взаимосвязь между концентрациями данных газов. В экспериментально измеряемых на АСКЗА концентрациях CO_2 есть его доля, образовавшаяся в ходе химической трансформации из CO.

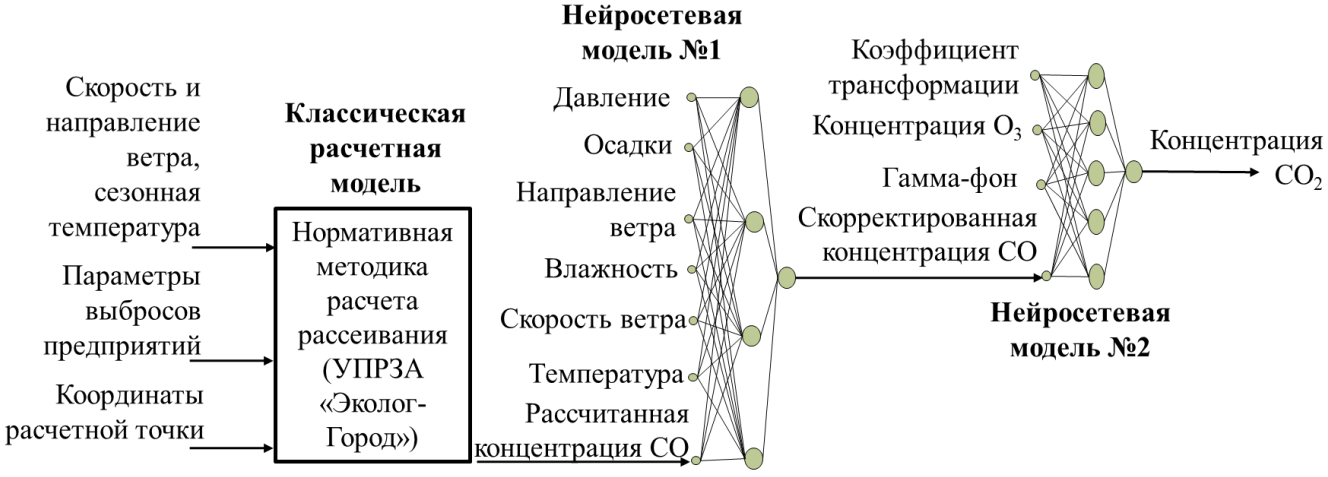


Рисунок 6 – Структура нейросети для расчета концентрации вещества в приземном слое атмосферного воздуха с полным набором предикторов

На первом этапе для исследуемого предприятия химической отрасли промышленности в программе УПРЗА «Эколог-Город» выполнены расчеты максимальных разовых концентраций CO (мг/м^3) в точках жилой зоны. В качестве исходных данных для расчета использованы техногенные параметры источников выбросов CO.

Второй ступенью расчета является корректирующая нейросетевая модель, обученная на основе данных АСКЗА, которая уточняет рассчитанные в УПРЗА «Эколог-Город» концентрации CO. Данная модель позволяет снизить систематическую погрешность, связанную с упрощениями гауссовой модели рассеивания. Обучение проведено на экспериментальных данных АСКЗА-1, 2 за 7-летний период 2016-2022 гг.

Для перехода от скорректированной концентрации CO к концентрации CO_2 построена вторая нейросетевая модель. Точность нейросетевых моделей определяется адекватным выбором значимых предикторов. Экспериментально доказано, что совместное применение коэффициента трансформации, концентраций озона и гамма-фона дает наилучшие результаты.

Верификация метода для расчетных точек на границе жилой зоны показала, что средняя погрешность модели по всему набору данных составляет 0,9 %, что подтверждает эффективность предложенного хемометрического подхода для мониторинга парникового газа CO_2 в условиях урбанизированных территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача – повышение информативности и достоверности системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха на основе внедрения хемометрических подходов. Разработанный комплекс методик позволяет повысить эффективность систем экологического контроля на всех уровнях – от локального (производственный экологический контроль) до территориального (государственный экологический мониторинг). Предложенные подходы обладают универсальностью и могут быть масштабированы на другие урбанизированные территории, что определяет их значимость для развития системы экологического мониторинга. С учетом выявленных ограничений действующей системы экологического мониторинга, а именно недостаточной плотности сети, несовместимости данных разных ведомств, сложности учета нелинейных зависимостей, залповых выбросов загрязняющих веществ и вторичных химических реакций в атмосферном воздухе, получены следующие основные результаты и выводы:

1. Определены приоритетные для контроля загрязняющие вещества (оксиды азота и углерода), для которых установлены превышения максимальных разовых предельно допустимых концентраций до 18,4 ПДК и выявлены метеорологические условия формирования наиболее высоких концентраций в атмосферном воздухе в урбоэкосистеме. Установлено, что формирование приземных концентраций происходит в зависимости от режимов работы источников выбросов и вторичных химических реакций в атмосферном воздухе.

2. Разработана методика формирования программы производственного экологического контроля загрязнения атмосферного воздуха с позиций риск-

ориентированного подхода и нечеткой кластеризации. Определено местоположение точек контроля с использованием метода последовательной бинарной кластеризации данных с экспертным оцениванием, на примере предприятия химической отрасли. Обоснован алгоритм выбора приоритетных для контроля загрязняющих веществ, из всего перечня присутствующих в выбросах примесей, и периодичности их контроля с использованием предложенного вероятностного критерия опасности pHQ с использованием риск-ориентированных подходов.

3. Разработана прогностическая нейросетевая модель для определения концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха с учетом информации об ожидаемых метеорологических условиях. Показано, что в 86,2 % случаев нейросетевая модель правильно предсказывает повышение концентрации оксидов азота для ряда среднесуточных концентраций.

4. Определен способ учета залповых выбросов на примере предприятия химической отрасли для корректной оценки воздействия выбросов данного объекта на прилегающие территории. Установлено, что максимальные приземные концентрации для таких веществ, как диоксид азота, углерод, оксид углерода и сопутствующие суммации, с учетом пиковых нагрузок во время залповых выбросов оказались значительно выше в 2 и более раза, что свидетельствует о потенциальном превышении гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха. Предложено определение понятия «залповые выбросы».

5. Разработана методика оперативного прогноза концентраций диоксида азота на основе кластеризации данных совместно с применением искусственных нейронных сетей, учитывающая особенности формирования приземных концентраций при увеличении мощности эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Среднее значение коэффициента детерминации гибридной модели превысило $R^2 = 0,75$, то есть по сравнению с базовой моделью точность прогнозирования была увеличена более чем в три раза.

6. Разработан способ нейросетевого расчета приземных концентраций диоксида углерода в условиях отсутствия данных о техногенных параметрах источников выбросов данного парникового газа на основе обоснованных предикторов: концентрации угарного газа, метеорологических условий рассеивания, а также коэффициента трансформации, гамма-фона и концентрации O_3, характеризующих вторичные химические реакции в атмосфере. Средняя погрешность модели по всему набору данных составила 0,9 %.

Перспективы разработки темы диссертационного исследования обширны. Полученные результаты служат развитию цифровизации системы государственного экологического мониторинга и производственного экологического контроля, позволяющего оперативно оценивать изменчивость уровней загрязнения атмосферного воздуха с учетом вкладов источников выбросов, определять допустимую степень аэрогенного воздействия предприятиями химической отрасли. Использование хемометрических подходов позволило предложить алгоритмы решения сложных задач для системы государственного и производственного экологического мониторинга и контроля. Данные диссертационного исследования могут быть использованы для развития риск-ориентированных способов ранжирования загрязняющих веществ по степени негативного воздействия на здоровье населения. Использование хемометрических подходов позволит

осуществлять расчет приземных концентраций компонентов выбросов, который не может быть реализован существующими расчетными методами. Обоснованный максимально полный учет залповых выбросов в атмосферный воздух позволит значимо снизить негативное воздействие производственной деятельности для обеспечения экологического благополучия территорий.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Ибрагимова А.А., Шагидуллин А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллина Р.А., Шагидуллин Р.Р. Пространственно-дифференцированная оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха стационарными источниками в г. Казани // Российский журнал прикладной экологии. – 2021. – № 3 (27). – С. 58-66. DOI: 10.24852/2411-7374.2021.3.58.66.

2. Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Мусина А.А., Гилязова А.Ф., Шагидуллин Р.Р. Предложения по повышению эффективности работ по мониторингу загрязнения атмосферного воздуха в Республике Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. – 2023. – № 3. – С. 49-55. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.3.49.55.

3. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.** Способ расчета концентраций диоксида углерода, поступающего в атмосферный воздух города с выбросами промышленных предприятий // Российский журнал прикладной экологии. – 2024. – №3. – С. 61-66. DOI: 10.24852/2411-7374.2024.3.61.66.

4. Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллин Р.Р. Проблемные вопросы проведения производственного экологического контроля в области охраны атмосферного воздуха // Российский журнал прикладной экологии. – 2025. – № 1 (41). – С. 70-78. DOI: 10.24852/2411-7374.2025.1.70.78.

5. **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллина Р.А., Тунакова Ю.А., Шагидуллин А.Р., Шагидуллин Р.Р. О реализации мер по охране атмосферного воздуха, обеспечивающих экологическое благополучие территорий // Российский журнал прикладной экологии. – 2025. – №4. – С. 59-64. DOI: 10.24852/2411-7374.2025.4.59.64.

6. **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин Р.Р., Тунакова Ю.А. Анализ динамики и факторов формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха промышленного города Казань // Российский журнал прикладной экологии. – 2026. – №1. – С.78-85. DOI: 10.24852/2411-7374.2026.1.78.85.

7. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., Валиев В. С., **Нурмехамитова В.А.** Алгоритм разработки программы производственного экологического контроля атмосферного воздуха с использованием нейросетевых технологий // Российский журнал прикладной экологии. – 2026. – №1. – С.86-94. DOI: 10.24852/2411-7374.2026.1.86.94.

8. **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., Тунакова Ю.А. Определение условий для осуществления наблюдений за загрязнением

атмосферного воздуха в рамках контрольных мероприятий на основе использования искусственных нейронных сетей // Естественные и технические науки. – 2026. – № 9 (220). – С. 80-83.

9. **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А., Тунакова Ю.А. Нейросетевая модель для расчета приземных концентраций оксидов азота в атмосферном воздухе и анализа комплекса обуславливающих факторов // Естественные и технические науки. – 2026. – № 9 (220). – С. 76-79.

Свидетельства о регистрации программных средств:

10. Программа нейросетевого прогноза приземных концентраций диоксида углерода с учетом вторичных химических реакций в атмосфере. А.с. № 2026681973 Рос. Федерация / Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.;** заявка № 2026681771 от 17.07.2026: опубл. 17.07.2026. Бюл. №7. – 1 с.

11. Программа прогнозирования концентрации диоксида азота на основе гибридной модели кластеризации K-Means и многослойного персептрона (Hybrid NO Prediction) при увеличении мощности эмиссий в атмосферный воздух. А.с. № 2026681970 Рос. Федерация / Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.**; заявка № 2026681769 от 17.07.2026: опубл. 17.07.2026. Бюл. №7. – 1 с.

Статья в другом рецензируемом научном издании:

12. Ибрагимова А.А., Шагидуллин А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.)**, Шагидуллина Р.А., Шагидуллин Р.Р. Ранжирование территории города на основе результатов расчетного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха стационарными источниками // Системы контроля окружающей среды. – 2021. – № 4. – С. 111-117. doi: 10.33075/2220-5861-2021-4-111-117.

Публикации в сборниках материалов и тезисов Международных и Всероссийских конференций:

13. Шагидуллин А.Р., Магдеева А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллина Р.А., Шагидуллин Р.Р. Оценка корректности установления нормативов выбросов вредных веществ стационарными источниками в г. Казань // Сборник трудов Международной научной конференции (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология – XIX» (Казань, 26-28 сентября 2019 г.). – 2019. – С. 288-292.

14. **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллин А.Р., Шагидуллин Р.Р. Результаты оценки загрязнения атмосферного воздуха на территории Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника // Сборник трудов Международной научной конференции (школа молодых ученых) «Химия и инженерная экология – XIX» (Казань, 26-28 сентября 2019 г.). – 2019. – С. 302-305.

15. Шагидуллин А.Р., Гилязова А.Ф., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.).** Определение приоритетных источников выбросов вредных веществ для оснащения системами автоматического контроля в соответствии с требованиями законодательства // Материалы VI Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (с международным участием) «Системы обеспечения техносферной безопасности» (Таганрог, 4-5 октября 2019 г.). – 2019. – С. 152-153.

16. Шагидуллин А.Р., Магдеева А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.).** Применение сводных расчетов для анализа корректности установленных нормативов выбросов загрязняющих веществ в г. Нижнекамск // Материалы Международной молодежной научной конференции «XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых) (Казань, 7-8 ноября 2019 г.). – 2019. – С. 494-496.

17. Шагидуллин А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Магдеева А.Р., Ибрагимова А.А., Шагидуллина Р.А, Шагидуллин Р.Р. Автотранспорт как источник загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Казань) // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Экология. Риск. Безопасность» (Курган, 29-30 октября 2020 г.). – 2020. – С. 193-194.

18. Шагидуллин А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.)**, Магдеева А.Р., Ибрагимова А.А., Шагидуллина Р.А, Шагидуллин Р.Р. Снижение негативного воздействия на атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Экология. Риск. Безопасность» (Курган, 29-30 октября 2020 года). – 2020. – С. 195-196.

19. Ибрагимова А.А., Шагидуллин А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллин Р.Р. Оценка качества атмосферного воздуха на основе сводной базы данных параметров выбросов г. Казани // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Казань, 18–19 марта 2021 г.). – 2021. – С. 593-599.

20. **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллин А.Р., Ибрагимова А.А., Магдеева А.Р., Шагидуллин Р.Р. Роль автотранспорта в загрязнении атмосферного воздуха в крупном промышленном городе // Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология: сборник трудов III международной научно-практической конференции (г. Якутск, 16 апреля 2021 г.). – 2021. – С. 346-350.

21. Шагидуллин А.Р., Мусина А.А., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.).** Характеристики ветрового режима г. Казань для оценки рассеивающей способности атмосферы // Химия и инженерная экология - XXI: сборник трудов международной научной конференции (г. Казань, 28-30 сентября 2021 г.). – 2021. – С. 195-199.

22. Шагидуллин А.Р., Мусина А.А., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.).** Динамика уровней загрязнения атмосферного воздуха г. Нижнекамск по данным автоматизированных станций мониторинга // Химия и инженерная экология - XXI: сборник трудов международной научной конференции (г. Казань, 28-30 сентября 2021 г.). – 2021. – С. 199-203.

23. **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллин А.Р. Оценка локальных условий самоочищения атмосферного воздуха в г. Казань // Сборник материалов Международной молодежной научной конференции «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (г. Казань, 10-11 ноября 2021 г.). – 2021. – С. 328-331.

24. Васильева М.А., Шагидуллин А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.).** Использование значений ПДК и фоновых концентраций для учета региональных особенностей содержания металлов в почве для оценки локального уровня загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха по составу

депонирующих сред // Сборник материалов Международной молодежной научной конференции «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (г. Казань, 10-11 ноября 2021 г.). – 2021. – С. 319-321.

25. **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллин А.Р. Оценка комплексными метеорологическими показателями рассеивающей способности атмосферы // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2022». – 2022. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://confhub.ru/archive/Lomonosov_2022/data/25897/142348_uid684234_report.pdf

26. Мусина А.А., Шагидуллин А.Р., **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.).** Динамика уровней загрязнения атмосферного воздуха г. Казань по данным автоматизированных станций мониторинга // Материалы XXII Международной научной конференции «Химия и инженерная экология» (г. Казань, 23-24 сентября 2022 г.). – 2022. – С. 239-242.

27. **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллин А.Р., Мусина А.А. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферного воздуха в г. Казани // Материалы XXII Международной научной конференции «Химия и инженерная экология» (г. Казань, 23-24 сентября 2022 г.). – 2022. – С. 205-209.

28. **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Мусина А.А., Шагидуллин А.Р. Оценка распределения ветрового потока в г. Нижнекамск // Актуальные научные исследования: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 31-33.

29. Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А., Мусина А.А., **Нурмехамитова В.А.,** Гилязова А.Ф. Характерные особенности изменения концентраций основных газовых примесей в течение суток по данным мониторинга загрязнения воздуха в г. Казань // Химия и инженерная экология – XXIII / Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной сотрудничеству с Союзными государствами (г. Казань, 25-26 сентября 2023 г.). – 2023. – С. 184-187.

30. Мусина А.А., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Гилязова А.Ф., Шагидуллина Р.А. Динамика изменения уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Нижнекамск по данным автоматизированных станций мониторинга // Химия и инженерная экология – XXIII / Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной сотрудничеству с Союзными государствами (г. Казань, 25-26 сентября 2023 г.). – 2023. – С. 180-183.

31. Валиев В.С., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Тунакова Ю.А. Оценка адекватности выбора предиктора гамма-фона для моделирования рассеивания компонентов выбросов стационарных источников загрязнения на территории г. Казани // Химия и инженерная экология – XXIII / Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной сотрудничеству с Союзными государствами (г. Казань, 25-26 сентября 2023 г.). – 2023. – С. 191-193.

32. Новикова С.В., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Тунакова Ю.А. Оценка адекватности выбора предикторов нейросетевых моделей для расчета концентраций примесей на территории г. Казани // Химия и инженерная экология – XXIII / Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной сотрудничеству с Союзными государствами (г. Казань, 25-26 сентября 2023 г.). – 2023. – С. 194-197.

33. **Нурмехамитова В.А.**, Шагидуллин А.Р., Мусина А.А., Гилязова А.Ф. Методы оценки рассеивающей способности атмосферы на примере г. Казань // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: сб. докл. Всеросс. научн. конф (г. Белгород, 23-27 октября 2023 г.). – 2023. – С.42-45.

34. Мусина А.А., Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Гилязова А.Ф. Оценка комплексного индекса загрязнения атмосферного воздуха г. Нижнекамск по данным автоматизированных станций мониторинга // Системы контроля окружающей среды – 2023 / Тезисы докладов Международной научно-практической конференции (г. Севастополь, 7-10 ноября 2023 г.). – 2023. – С. 102.

35. **Габдрахимова В.А. (Нурмехамитова В.А.),** Шагидуллин А.Р. Оценка условий самоочищения атмосферного воздуха по результатам измерений автоматизированных станций контроля загрязнения атмосферы // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых) / Международная молодежная научная конференция, материалы конференции (г. Казань, 9-10 ноября 2023 г.). – 2023. – С. 1876-1879.

36. Мусина А.А., Гилязова А.Ф., **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллин А.Р., Оценка ветрового потока по данным метеостанций в составе АСКЗА на территории г. Казань // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: сб. докл. Всеросс. научн. конф (г. Белгород, 23-27 октября 2023 г.). – 2023. – С.96-101.

37. **Нурмехамитова В.А.**, Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А. Выбор предикторов нейросетевых моделей для расчета парникового газа диоксида углерода // Наследие В.И. Вернадского и современные проблемы экологии. – 2024. – № 1. – С. 70-77.

38. **Нурмехамитова В.А.,** Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллин А.Р., Шагидуллина Р.А. Применение нейросетевых моделей для расчета парникового газа диоксида углерода на территории г. Казань и г. Нижнекамск // Химия и инженерная экология – XXIV / сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной Году научно-технологического развития в Республике Татарстан (г. Казань, 27-28 сентября 2024 г.). – 2024. – С. 209-212.

39. Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллина Р.А., Гилязова А.Ф., Шагидуллин Р.Р. Особенности регулирования выбросов загрязняющих веществ при неблагоприятных метеорологических условиях // Химия и инженерная экология – XXIV / сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной Году научно-технологического развития в Республике Татарстан (г. Казань, 27-28 сентября 2024 г.). – 2024. – С. 188-191.

40. **Нурмехамитова В.А.,** Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р. Нейросетевые технологии в анализе парниковых газов на примере диоксида углерода // Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика / Материалы VII международной научно-технической конференции (г. Уфа, 24 апреля 2025 г.). – 2025. – С. 81-82.

41. **Нурмехамитова В.А.,** Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р. Использование нейронных сетей для оценки приземных концентраций диоксида углерода // Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности / Материалы национальной научно-практической конференции с

международным участием, посвященной 35-летию МЧС России и 95-летию Оренбургского ГАУ (г. Оренбург, 23 мая 2025 г.). – 2025. – Часть 2. – С. 370-374.

42. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллин А.Р. Способ определения концентраций парникового газа диоксида углерода в зоне влияния предприятия органического синтеза // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология / Сборник докладов Международной научной конференции (г. Белгород, 2-6 июня 2025 г.). – 2025. – С. 97-101.

43. Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллина Р.А., Тунакова Ю.А., Шагидуллин Р.Р. Динамика загрязнения атмосферного воздуха промышленного города Казань по данным инструментальных измерений // Химия и инженерная экология – XXV / Международной научной конференции (школа молодых ученых) (г. Казань, 25-26 сентября 2025 г.) – 2025. – С. 262-265.

44. Шагидуллин А.Р., **Нурмехамитова В.А.,** Шагидуллина Р.А., Тунакова Ю.А., Шагидуллин Р.Р. Факторы формирования повышенных уровней загрязнения атмосферного воздуха г. Казань // Химия и инженерная экология – XXV / Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной научному сотрудничеству России и дружественных стран, а также деятельности Академического союза «Зеленого» развития Ассоциации технических университетов России и Китая (г. Казань, 25-26 сентября 2025 г.). – 2025. – С. 266-270.

45. Шагидуллина Р.А., Тунакова Ю.А., Новикова С.В., **Нурмехамитова В.А.** Алгоритм разработки программы производственного экологического контроля в области загрязнения атмосферного воздуха // Химия и инженерная экология – XXV / Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной научному сотрудничеству России и дружественных стран, а также деятельности Академического союза «Зеленого» развития Ассоциации технических университетов России и Китая (г. Казань, 25-26 сентября 2025 г.). – 2025. – С. 279-285.

46. **Нурмехамитова В.А.,** Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р. Нейросетевое моделирование концентраций диоксида углерода как основа для разработки технологий сокращения выбросов // Декарбонизация энергетического сектора. Сокращение выбросов парниковых газов / Сборник материалов: Международный семинар экспертов по экологическим аспектам развития энергетики (Республика Беларусь, г. Минск, 15-16 октября 2025 г.). – 2025. – С.30-34.