МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Рашевский Николай Михайлович

**Поддержка принятия решений в процессе мониторинга загрязнения  
атмосферного воздуха городских территорий**

Специальность 05Л3.01 -

«Системный анализ, управление и обработка информации (информационные  
технологии и промышленность)»

Диссертация на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор Санжапов Булат Хизбуллович

Волгоград - 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

[Введение 5](#bookmark0)

[Глава 1. Анализ текущих процессов экологического мониторинга атмосферного воздуха и их реинжиниринг 11](#bookmark3)

1. [Экологический мониторинг атмосферного воздуха. Основные понятия 11](#bookmark5)
2. [Анализ процесса экологического мониторинга атмосферного воздуха на](#bookmark6)

[примере города Волгограда 19](#bookmark8)

1. [Моделирование распространения загрязняющих веществ и принятие](#bookmark9)

[управленческих решений 33](#bookmark11)

1. [Реинжиниринг процессов экологического мониторинга атмосферного](#bookmark12)

[воздуха 38](#bookmark14)

1. [Выводы по первой главе 40](#bookmark16)

Глава 2 Организация наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха урбанизированной территории 42

1. [Метод формирования плана наблюдений за состоянием городской воздушной](#bookmark18)

среды 43

1. [Разработка модели задачи поддержки принятия решений для организации](#bookmark21)

работы мобильной лабораторией 49

1. [Описание модели 49](#bookmark23)
2. [Ранжирование альтернатив с помощью метода анализа сетей 56](#bookmark27)
3. [Описание метода анализа сетей 56](#bookmark28)
4. [Алгоритм реализации метода анализа сетей 59](#bookmark30)

[2.2.3 Принятие решений на основе метода анализа сетей 62](#bookmark32)

1. [Компонент «Загрязнение атмосферы» 63](#bookmark33)
2. [Компонент «Характеристика территории» 64](#bookmark36)
3. [Компонент «История измерений» 66](#bookmark37)
4. [Компонент «Экономичность проведения измерений» 66](#bookmark40)
5. [Компонент «Альтернативы» 67](#bookmark42)

[2.3 Выводы по второй главе 68](#bookmark43)

Глава 3. Формирование карт концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе 69

1. [Методики моделирования распространения загрязняющих веществ в](#bookmark52)

атмосферном воздухе 69

1. [Гауссова модель распространения атмосферных загрязнений 72](#bookmark56)
2. [Лагранжева модель распространения атмосферных загрязнений 77](#bookmark59)
3. [Метод обработки информации об источниках загрязнения и параметрах](#bookmark62)

окружающей среды для формирования карт концентраций загрязняющих веществ 81

1. [Моделирование трехмерной метеорологической карты 82](#bookmark66)
2. [Моделирование распространения загрязнения в атмосфере 85](#bookmark69)
3. [Визуализации результатов моделирования распространения загрязняющих](#bookmark70)

веществ в атмосферном воздухе 90

* 1. [Интервальные карты концентраций загрязняющих веществ 93](#bookmark73)
  2. [Выводы по третьей главе 94](#bookmark75)

[Глава 4. Разработка СППР по организации работ мобильной лаборатории и проверка ее работоспособности 96](#bookmark77)

1. [Разработка архитектуры программного комплекса 96](#bookmark80)
2. [Проведение экспериментальных исследований 104](#bookmark83)
3. [Описание условий вычислительного эксперимента 104](#bookmark85)
4. [Моделирование распространения загрязняющих веществ 105](#bookmark87)
5. [Ранжирование участков исследуемой территории для проведения](#bookmark91)

[измерений 112](#bookmark93)

1. [Обоснование эффективности разработанных методов 117](#bookmark95)
2. [Выводы по четвертой главе 120](#bookmark97)

[Заключение 121](#bookmark98)

[Список использованных источников 123](#bookmark100)

[Приложение А. Свидетельства о государственной регистрации программы для](#bookmark102)

ЭВМ 139

[Приложение Б. Акты внедрения 143](#bookmark111)

**Введение**

**Актуальность темы.** В современных условиях загрязненность атмосферы городов увеличивается в связи с антропогенным воздействием промышленных предприятий, транспорта, свалок промышленных и бытовых отходов, активного городского строительства. Для эффективного контроля качества атмосферы города созданы системы экологического мониторинга, которые включают автоматические (стационарные) и мобильные посты контроля загрязнения атмосферы.

Одна из основных задач экологического мониторинга атмосферного воздуха урбанизированной территории - сбор данных о концентрациях загрязняющих веществ. Эта информация является основополагающей для дальнейшего анализа и прогнозирования качества воздуха и принятия управленческих решений в обеспечении экологической безопасности города.

На сегодняшний день основные данные о загрязнении атмосферного воздуха получают со стационарных постов экологического мониторинга. Мобильные посты используются для оценки загрязнения возле промышленных предприятий и для проверки сообщений, поступающих от граждан. Количество используемых мобильных постов наблюдения в разы меньше, чем стационарных. Из-за ограниченности финансирования региональных бюджетов возникают проблемы с увеличением количества постов и их обслуживанием (поверкой контрольных приборов). В результате данные, получаемые при существующем процессе экологического мониторинга, не позволяют проследить всю историю загрязнений.

Важную роль для оценки загрязнения атмосферы играют мобильные посты, использование которых, при правильном формировании плана измерений, может существенно улучшить организацию мониторинга и снизить затраты на получение данных о загрязнении воздушной среды города, без увеличения количества существующих постов наблюдения как стационарных, так и мобильных.

Таким образом, являются актуальными задачи, связанные с совершенствованием методов сбора и обработки данных о состоянии атмосферы урбанизированной территории, с целью повышения эффективности принимаемых решений при управлении экологической безопасностью города.

**Степень изученности проблемы.** Системный подход к охране окружающей среды начал формироваться в мировом сообществе в начале 70-ых годов 20-го века. В 1975г. руководитель разработки мероприятий по экологическому мониторингу в СССР Израэль Ю. А., совместно с академиками Герасимовым И. П. и Соколовым В.Е., одними из первых, разработали принципы проведения экологического мониторинга. Ученые предлагали под экологическим мониторингом понимать систему наблюдений, которая позволяет определить изменения состояния биосферы под влиянием деятельности человека.

Проблема анализа загрязнения атмосферного воздуха при управлении урбанизированной территорией достаточно подробно исследована в трудах: Теличенко В.И., Ильичева В.А., Азарова В.Н., Медоуза Д., Форрестера Дж., Стольберга В.Ф., Рязапова А.З., Чистяковой С.Б., Санжапова Б.Х., Садовниковой Н.П. и др. Построением автоматизированных систем экологического мониторинга в нашей стране занимались Моисеев Н.Н., Аверин T.B., Эдельштейн Ю.Д., Волков В.Ю., Любимов В.Б., Степанченко И.В и др.

Большой вклад в разработку математических моделей внесли Марчук Г.И., Шокин Ю.И., Белолипецкий В.М., Чубаров Л.Б., Марчук А.Г., Белов H.H., Беккер А.А. Фундаментальные математические модели загрязнения атмосферы сформулированы в работах: Солодкова С.А., Берлянда М.Е., Анохиной Ю.А., Оникула Р.И., Остромогильского А.Х, Г енихович Е.Л. и др.

В трудах Вента Д.П., Фридман А.Я., Юсуповой Н.И., Гедзенко М.О. и др. сформулированы основные принципы построения и функционирования систем поддержки принятия решений (СППР) в различных сложных системах, в том числе связанных с экологическим состоянием окружающей среды.

За рубежом для анализа качества атмосферного воздуха активно используются инженерия знаний, искусственный интеллект. Разрабатываются

СППР для решения задач различного масштаба - от точечного планирования городской застройки, исходя из экологических факторов, до анализа целевых программ развития регионов: S. Alves, J. Tilghman, A. Rosenbaum, D. Payne - Sturges, R. Eslamipoor, A. Sepehriar, A. Gonzalez, A. Donnelly, M. Jones, N. Chrysoulakis, M. Lopes, G. Guarisoa, M. Maioneb, M. Voltac, W. Requiaa, H. Roigb, P. Koutrakisc, M. Silvia Rossi, N. Sul, V. Chen, M. Sattler, Ch. Vlachokostas, Ch. Achillas , N. Moussiopoulos, G. Banias.

**Объект исследования.** Система экологического мониторинга атмосферного воздуха урбанизированной территории.

**Предметом исследования** являются методы сбора и обработки информации для поддержки принятия решений в процессе управления экологической безопасностью города.

**Цель диссертационной работы** - повышение эффективности управленческих решений при организации мониторинга загрязнения воздушной городской среды за счет совершенствования формирования плана наблюдений за состоянием атмосферы урбанизированной территории.

Под эффективностью понимается снижение ошибки прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха при составлении плана наблюдений для мобильных лабораторий экологического мониторинга атмосферного воздуха, а также снижение неопределенности при поддержке принятия решений выбора мест проведения измерений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать существующие процессы экологического мониторинга атмосферного воздуха, провести их реинжиниринг.
2. Разработать метод формирования плана наблюдений за состоянием атмосферного воздуха городских территорий, который позволяет эффективней использовать мобильные лаборатории.
3. Разработать модель задачи принятия решений для организации работы мобильных постов экологического мониторинга атмосферного воздуха.
4. Разработать метод обработки информации об источниках загрязнения и параметрах окружающей среды для формирования карт концентраций загрязняющих веществ с использованием системы моделирования распространения загрязняющих веществ и источников данных с актуальной информацией о местности, с целью поддержки принятия управленческих решений в области экологической безопасности города и информирования различных групп населения о качестве воздушной среды.
5. Разработать и протестировать систему поддержки принятия решений для управления расположением мобильных постов экологического мониторинга на урбанизированной территории.
6. Провести анализ эффективности предложенных решений по формированию плана наблюдений для мобильных лабораторий при экологическом мониторинге атмосферного воздуха.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Разработан метод формирования плана наблюдений за состоянием атмосферного воздуха городских территорий, отличающийся от существующих способом обоснования выбора месторасположения мобильных постов, на основе метода анализа сетей (п. 4 паспорта специальности 05.13.01).
2. Разработана модель задачи принятия решений для организации работы мобильных постов с целью анализа загрязнения атмосферного воздуха, в отличие от существующей, учитывающая более полную информацию о территориальных характеристиках города и ретроспективных данных (п. 5 паспорта специальности
3. .
4. Предложен метод обработки информации об источниках загрязнения и параметрах окружающей среды для формирования карт концентраций загрязняющих веществ, учитывающий большее количество факторов, чем в разработанных подходах, применяемых в РФ (п. 12 паспорта специальности
5. .

**Теоретическая значимость** работы заключается в разработке модели задачи принятия решений и методов обработки информации о параметрах среды, источниках выбросов и метеорологических данных для организации работы мобильных постов экологического мониторинга. Предложенные в диссертационной работе модель и методы могут быть использованы при организации наблюдений в рамках реализации регионального экологического мониторинга атмосферного воздуха.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке информационной системы управления автоматизированной сетью экологического мониторинга атмосферного воздуха, реализующей предложенные методы, модель и алгоритмы. Предлагаемая информационная система может использоваться: при экологическом мониторинге атмосферного воздуха города для управления мобильными постами экологического мониторинга; для сбора данных о загрязнении атмосферного воздуха при управлении качеством городской воздушной среды; для валидации и адаптации системы моделирования распространения загрязняющих веществ исследуемой урбанизированной территории. Эффективность предлагаемых методов подтверждена при решении практических задач в ООО «Ассоциация Экотехмониторинг» и ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой», что зафиксировано выданными актами внедрения результатов.

**Методы исследования.** В работе применяются методы математического моделирования сложных систем, системного анализа, принятия решений, методы проектирования и реализации информационных систем.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Метод формирования плана наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, позволяющий снизить неопределенность при выборе места измерений мобильной лабораторией.
2. Модель задачи принятия решений для организации работы мобильных постов анализа загрязнения атмосферного воздуха, позволяющая учитывать взаимосвязи параметров исследуемой местности.
3. Метод обработки информации об источниках загрязнения и параметров окружающей среды для формирования карт концентраций загрязняющих веществ, снижающий ошибку моделирования за счет учета большего количества факторов и получения результатов в интервальной шкале измерения.
4. Система поддержки принятия решений, которая позволяет более эффективно управлять мобильными лабораториями на этапе проведения наблюдений при экологическом мониторинге атмосферного воздуха урбанизированных территорий.

**Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования** подтверждается корректным применением современных методов исследования и моделирования сложных систем, системного анализа, апробированных методик моделирования рассеивания загрязняющих веществ, а также проведенными экспериментальными исследованиями, что подтверждено актами о внедрении.

**Заключение**

Главным результатом диссертационных исследований является совершенствование процесса формирования плана наблюдений для мобильных постов экологического мониторинга атмосферного воздуха. Совершенствование процесса, разработанного с учетом предлагаемых методов и модели, достигается за счет, использования системы моделирования распространения загрязняющих веществ, повышения количества исходной информации для принятия управленческих решений, автоматизации бизнес-процессов.

Реализованный программный комплекс позволяет достичь эффективности управленческих решений при мониторинге загрязнения воздушной городской среды за счет совершенствования формирования плана наблюдений за состоянием атмосферы урбанизированной территории.

В результате диссертационного исследования:

1. Проанализированы существующие процессы экологического мониторинга атмосферного воздуха на примере урбанизированных территорий Волгоградской области. На основе анализа проведен реинжиниринг процессов с учетом использования систем поддержки принятий решений.
2. Предложен метод формирования плана наблюдений за состоянием атмосферного воздуха городских территорий, который использует поддержку принятия решений при управлении мобильными лабораториями.
3. Разработана модель задачи принятия решений для организации работы мобильных постов экологического мониторинга атмосферного воздуха, учитывающая взаимодействия параметров исследуемой местности.
4. Разработан метод обработки информации об источниках загрязнения и параметрах окружающей среды для формирования карт концентраций загрязняющих веществ, использующего информацию: о рельефе местности, метеорологических данных и параметрах источников выбросов, с целью принятия управленческих решений в области экологической безопасности города.
5. Разработана информационная система для управления работой мобильных постов экологического мониторинга города, эффективность которой подтверждена в результате ее апробации.

Результаты работы были использованы при прогнозировании концентраций загрязняющих веществ на отдельных участках города (акты о внедрении результатов работы предоставлены ООО «Ассоциация Экотехмониторинг» и ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»).

Дальнейшие научные исследования связаны с уточнением моделей распространения загрязняющих веществ, а также разработке интеллектуальных систем по решению прикладных задач в области обеспечения качества атмосферного воздуха и принятии управленческих решений при исследовании проектов развития городской территории, на основе базы данных, содержащих архивы карт концентраций загрязнения атмосферы.