

УДК 004.2

ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Т. Д. АГАЕВ¹, Д. Ф. МАМЕДОВ², В. Е. ГВОЗДЕВ³, Н. И. ЮСУПОВА⁴

^{1,2}cavan62@mail.ru, ³wega55@mail.ru, ⁴yussupova@ugatu.ac.ru

^{1,2}Сумгаитский государственный университет (СГУ)

^{3,4}ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 22.03.2019

Аннотация. Определены классы информационных задач, обеспечивающих оперативный контроль и ретроспективный анализ состояния атмосферы на территориях промышленно развитых центров. Определены подходы к построению программных систем в составе автоматизированных систем мониторинга. Приведено описание алгоритмического обеспечения для анализа территориальной и временной изменчивости состояния территорий на основе мер подобия и характеристик статистической взаимосвязи параметров состояния. Представлены результаты использования предлагаемых подходов для анализа состояния территорий г. Сумгаит (Республика Азербайджан) и г. Уфа (Республика Башкортостан, Россия).

Ключевые слова: система информационной поддержки, защита атмосферы, системы автоматизированного мониторинга, алгоритмическое и программное обеспечение, анализ динамики, территориальная система.

ВВЕДЕНИЕ

Современные масштабы и темпы изменения городов (особенно промышленных центров) в условиях антропогенного и техногенного изменения природной среды настолько велики, что охватить их наземными наблюдениями в единый момент времени не представляется возможным. Одной из первостепенных задач, для регулирования качества атмосферного воздуха промышленно развитых городов, является комплексная оценка уровня загрязнения атмосферы, что способствует выявлению территорий, где нарушаются гигиенические и экологические норма-

тивы качества городской среды, и последующая разработка предложений по нормализации их состояния [1–5], [9].

Как известно, наблюдения за загрязнением воздушного бассейна урбанизированных территорий носят дискретный характер, число узлов наблюдения ограничено и на стационарных пунктах замеры осуществляются лишь в определенные моменты времени. Создание в промышленно развитых городах постоянно действующей системы наблюдений на базе автоматических станций контроля состояния атмосферного воздуха может помочь устранить эти недостатки.

Исследования российской стороны частично поддерживаются грантами РФФИ №17-48-020095 «Разработка научных основ математического и структурно-функционального проектирования систем обеспечения комплексной безопасности промышленных объектов Республики Башкортостан» (Гвоздев В. Е.) и №18-07-00193 «Интеллектуальные технологии управления ресурсами» (Юсупова Н. И.).

При решении указанных задач принципиально важными являются вопросы о программном обеспечении систем автоматизированного мониторинга информационной поддержки для управления состоянием окружающей среды урбанизированных территорий. Программные модули, которые входят в состав систем автоматизированного экологического мониторинга, должны обеспечить адекватную обработку ретроспективной информации, так и данных в режиме реального времени. Важно при разработке программного обеспечения учитывать необходимость системного сочетания методов обработки, результатов натурных измерений, а также результатов, полученных посредством математического и геоинформационного моделирования.

В данной статье рассматриваются вопросы математического обеспечения и программные модули автоматизированного экологического мониторинга на примерах анализа состояния воздушного бассейна городских территорий на основе геоинформационной системы поддержки защиты атмосферы (ГИСЗА), созданной в г. Сумгаит (Республика Азербайджан), а также методы анализа динамики состояния урбанизированной территории, разработанные в г. Уфе (Республика Башкортостан, Российская Федерация).

СОСТАВ И НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Понятие мониторинга окружающей среды впервые было введено на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде профессором Р. Манном (1972). Автоматизированная система экологического мониторинга – это совокупность объектов, расположенных на территории производственной площадки, санитарно-защитной зоны и зоны влияния предприятия, которая выполняет функции измерения, передачи и обработки технологических и экологических параметров и функционирует в составе единой информационно-вычислительной системы. При этом система обеспечивает автоматизированный сбор, обработку, хранение, передачу, анализ экологической информации,

а также экологическое моделирование, прогнозирование и обработку данных [12].

В настоящее время для автоматизации мониторинга загрязнения окружающей среды разработаны различные программные модули. Большинство систем используется различными экологическими службами и предприятиями. Автоматизированная распределенная система экологического мониторинга окружающей среды модульного типа (АРСЭМ) служит для обеспечения надежного контроля над состоянием воздушной среды. Это позволяет своевременно информировать о возникновении аварийных ситуаций, связанных с выбросами, утечками или испарением опасных веществ [8]. Автоматизированная система наблюдений и контроля окружающей среды (АНКОС-АГ) предназначена для автоматизированного сбора, обработки и передачи информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха, которая позволяет непрерывно получать информацию о концентрации примесей и метеорологических параметрах в населенных пунктах или около крупных промышленных предприятий [11–15]. Система контроля атмосферы СКАТ-1 позволяет обеспечить автоматическое регулирование технологического процесса подачи углекислого газа с помощью переключающихся контактов реле порогов срабатывания «мало» и «много» (включение и отключение газогенераторов, регулирование заслонок подачи газов котельной) и т.д. [16]. Система «EcoMonitor» предназначена для автоматизации непрерывного мониторинга выхлопных газов, производимых нагревательными котлами и промышленными топками в деревообрабатывающей и бумажной промышленности [10].

Основными функциями этих систем являются: выполнение круглосуточных автоматических измерений метеорологических параметров и концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, передача результатов измерений в Центр мониторинга (сервер), оценка экологической ситуации в контролируемых районах, выявление источников выбросов в атмосферу и прогнозирование динамики загрязнений воздушного бассейна городов.

КОМПОНЕНТЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В состав системы информационной поддержки защиты атмосферы ГИСЗА входят следующие блоки, для которых требуется соответствующее программное обеспечение: информационно-аналитический, расчетно-аналитический, проектно-планировочный и геопортал (рис. 1).

В информационно-аналитическом блоке осуществляется сбор статистической информации и результатов научно-исследовательских работ, а также первичный анализ данных мониторинговой сети (анализ содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферном воздухе), в т.ч. анализ и систематизация собранного материала, выявление и классификация источников антропогенного и техногенного загрязнения атмосферы городов, с последующей их ГИС-визуализацией. Эти данные доступны пользователям системы в виде справочников и связаны с объектами электронной карты, что обеспечивает возможность быстрого поиска необходимого объекта по атрибутивным и пространственным запросам.

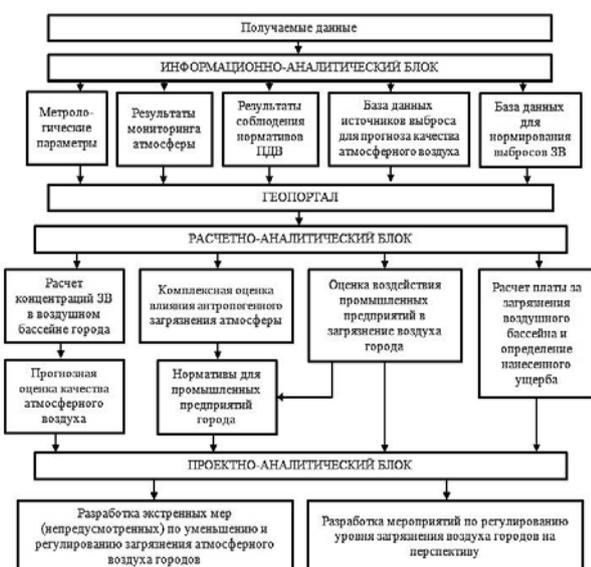


Рис. 1. Основные блоки системы, для которых необходима разработка программных модулей

Программное обеспечение аналитических систем атмосферного мониторинга позволяет решать следующие задачи:

- принимать решения по осуществлению природоохранных мероприятий;

- прогнозировать уровни загрязнения и моделировать возможные экологические ситуации;
- планировать городскую инфраструктуру;
- своевременно обеспечивать исполнительные органы государственной власти, природоохранные организации и население информацией о качестве атмосферного воздуха.

Взаимодействие субъектов управления (пользователей, государственных структур, вовлеченных в управление состоянием атмосферного воздуха) происходит через Web-приложение геопортала системы, имеющее функции графического интерфейса пользователя и геоинформационной системы. Для связи с Web-сервером используются стандартные виды подключения к сети Интернет (рис. 2).

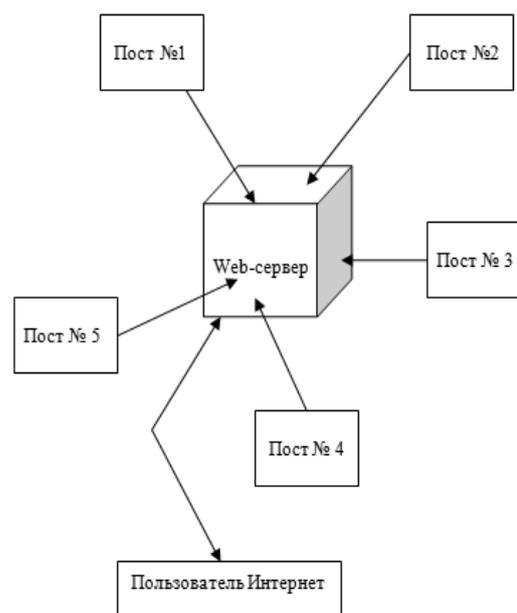


Рис. 2. Схема взаимодействий субъектов управления с системой информационной поддержки защиты атмосферы

Основными структурными элементами геопортала являются:

- система авторизации;
- основное меню для зарегистрированных пользователей;
- панель управления составом отображаемых объектов;
- панель работы с тематическими картами;

- меню доступа к результатам сводных расчетов по городу в целом и по отдельным его районам;

- инструменты навигации по карте или иной растровой подложке, на которой отображаются данные.

Одной из задач при разработке программных модулей является обеспечение возможностей установления мест значительного загрязнения воздуха в городе. Как известно, существуют два типа наблюдений – стационарные и маршрутные. Минимальное число стационарных постов устанавливается в зависимости от численности населения. В системе контроля загрязнения атмосферного воздуха определяются такие распространенные загрязняющие вещества, как пыль и сажа, сернистый газ, оксиды углерода и азота; дополнительно, в зависимости от специфики производства, определяются аммиак, сероводород, фенол, формальдегид, хлор, тяжелые металлы.

Для выявления высоких значений концентрации примесей, пункты наблюдений размещаются большей частью с подветренной стороны по направлению господствующего ветра, на расстоянии от расположения труб основных источников выбросов (теплоэлектроцентралей, химической промышлен-

ности, металлургии, нефтепереработки). Пункты размещаются на открытых и продуваемых местах, а также вблизи магистралей с интенсивным движением транспорта.

На рис. 3 показана укрупненная схема централизованной передачи данных наблюдений о загрязнение атмосферы г. Сумгаита.

В состав системы входит ряд контрольно-наблюдательных станций (КНС) с датчиками (газоанализаторами): анеморумбометр, термограф и др.

Программные модули в расчетно-аналитическом блоке должны поддерживать решение следующих задач:

- расчет концентраций ЗВ в воздушном бассейне города и выявление зон с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха;

- комплексная оценка влияния антропогенного загрязнения атмосферы города и разработка нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) для предприятий на основе гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха;

- оценка воздействия промышленных предприятий в загрязнение воздуха города;

- расчет платы за загрязнения воздушного бассейна и определение нанесенного ущерба.

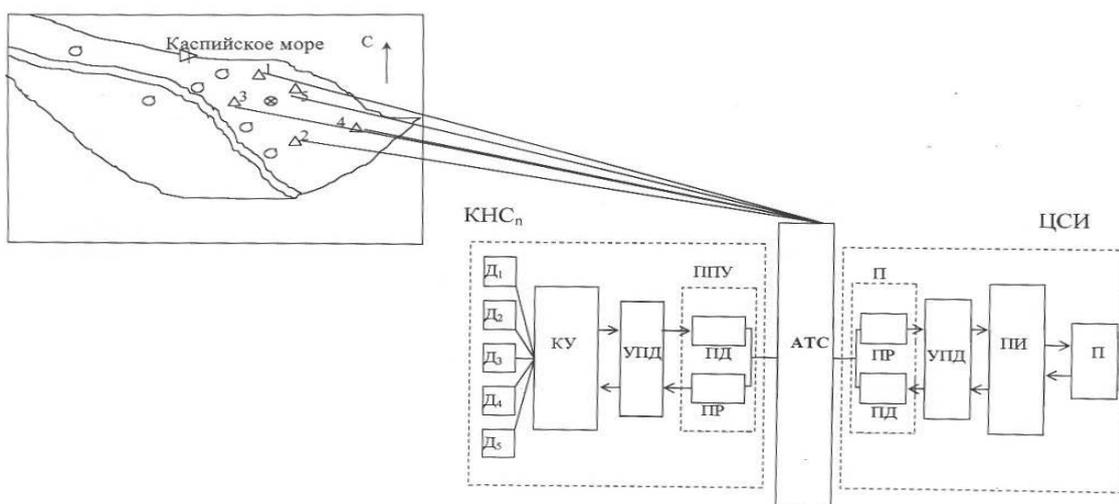


Рис. 3. Укрупненная схема централизованной передачи данных наблюдений о загрязнении атмосферы г. Сумгаита

Программные модули проектно-планировочного блока ориентированы на разработку экстренных (непредвиденных) мер по регулированию качества воздушного бассейна, а также мероприятий на краткосрочную и среднесрочную перспективу, включая проведение научных исследований.

Реализация ГИСЗА представленного состава в городах позволяет в совокупности с наземными постами контроля получить актуальную и полную информацию о загрязнении атмосферы. Используя результаты анализа данных, можно регулировать работу промышленных предприятий. Так, при неблагоприятных климатических условиях (инверсии, слабые скорости ветра, застой) можно уменьшить, а при благоприятных условиях (сильных скоростях ветра, больших значениях высоты слоя перемешивания), наоборот – увеличить мощности работы промышленных предприятий. Этим можно достичь приемлемого уровня загрязнения атмосферы города.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Одной из основных задач управления состоянием урбанизированных территорий является оценка эффективности принимаемых решений и реализующей их деятельности. Информационную основу решения этой задачи составляет сопоставление оценок состояния территориальных систем, соответствующих разным условиям исследований: различные временные срезы, различные режимы функционирования техногенных источников, различные объемы исходных данных и т.п., а также при различном составе моделей, используемых для описания одних и тех же явлений.

Анализ изменчивости состояния урбанизированных территорий (УТ) сводится к расчету и исследованию скалярных показателей, получаемых в результате преобразований

$$\rho_k^{(l,g)} = R_k[M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y)], \quad (1)$$

где $\rho_k^{(l,g)}$ – значение показателя, характеризующего степень совпадения/различия оце-

нок состояния $M^{(l)}(x,y)$, $M^{(g)}(x,y)$, получаемых в l -х и g -х условиях; $M^{(l)}(x,y)$ – l -й способ (модель) оценивания состояния УТ; $R_k[\]$ – k -е правило, используемое для сопоставления результатов, получаемых в l -х и g -х условиях.

Алгоритм анализа изменчивости состояния ТС показан на рис. 4.

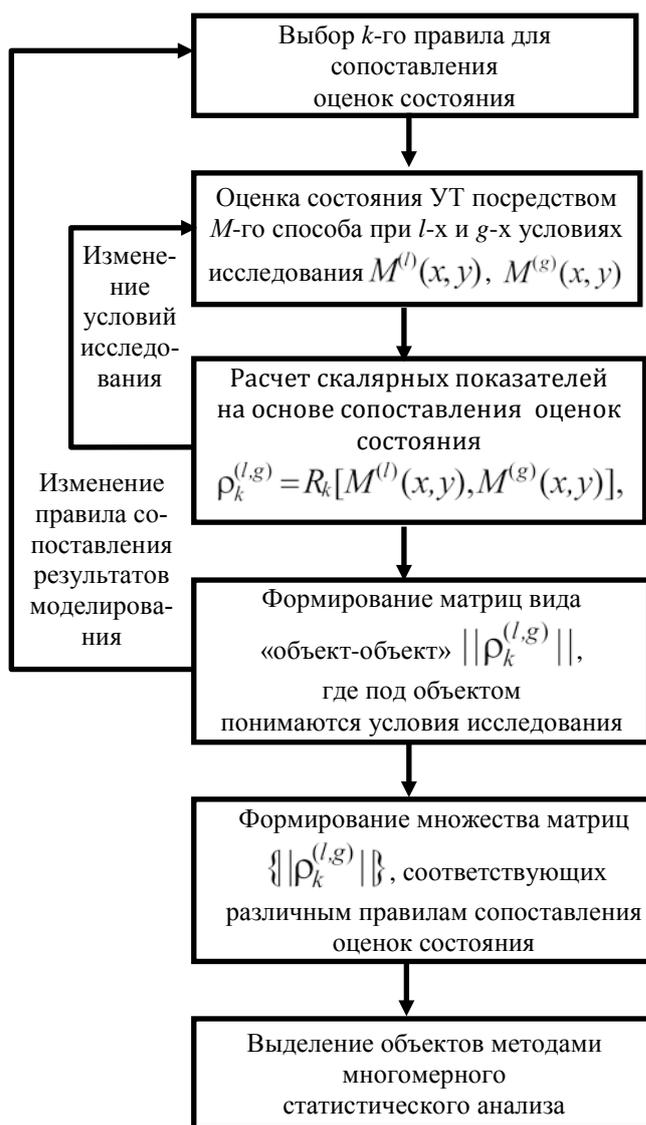


Рис. 4. Алгоритм анализа изменчивости состояния урбанизированных территорий

Если получаемые результаты $M^{(l)}(x,y)$, $M^{(g)}(x,y)$ измеряются в номинальной (бивариантной) шкале, модель преобразуется к виду

$$\rho_k^{(l,g)} = f_k[S_{11}, S_{00}, S_{10}, S_{01}], \quad (2)$$

где S_{11} – характеризует долю территории, для которой значения модельных результатов совпадают и принимают значение «единица»; S_{00} – характеризует долю территории, для которой значения модельных результатов совпадают и принимают значение «нуль»; S_{01} – характеризует долю территории, для которой значения модельных результатов в l -х условиях принимает значение «нуль», а в g -х условиях – «единица»; S_{10} – характеризует долю территории, для которой значения модельных результатов в l -х условиях принимает значение «единица», а в g -х условиях – «нуль»; fk [] – правило расчета по значениям S_{11} , S_{00} , S_{01} , S_{10} скалярных показателей, характеризующих степень совпадения/расхождения модельных результатов. При оценке степени совпадения результатов в качестве fk [] целесообразно использовать различные виды коэффициентов ассоциативности [13].

Оценка степени расхождения также может осуществляться на основе известного расстояния Хемминга [17]

$$\rho^{(l,g)} = \frac{\sum_{i=1}^N R_i^{(l,g)}}{S}, \quad (3)$$

где S – общая площадь территории; N – число участков, выделенных на исследуемой территории.

Параметр $R_i^{(l,g)}$ вычисляется по правилу: если значения оценок состояния на исследуемом участке территории совпадают, то $R_i^{(l,g)}$ присваивается значение «нуль», в противном случае – «единица». По сути, $\rho^{(l,g)}$ представляет собой долю территории, для которой значения модельных результатов не совпадают.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрим задачу анализа изменчивости состояния территориальных систем на примере сопоставления уровней загрязне-

ния атмосферы г. Уфы двуокисью азота, соответствующих двум временным срезам (рис. 5). В качестве показателя степени загрязнения атмосферы выступает относительная концентрация загрязнения атмосферы (отношение расчетного значения концентрации к ПДК) [7]. Оценивание состояния территории осуществляется по правилу: если значение относительной концентрации не превышает единицы, состояние участка территории характеризуется как благополучное. Если же значение относительной концентрации больше единицы, состояние территории характеризуется как неблагоприятное.

Для решения этой задачи было выбрано необходимое математическое обеспечение и разработано соответствующее программное обеспечение. На рис. 5 представлены результаты моделирования, а также значения рассчитанных на их основе значения мер подобия состояния территориальных систем (в качестве мер подобия использовались коэффициенты ассоциативности, соотношения для расчета которых приведены в табл. 1).

Из приведенного примера видно, что использование различных подходов к расчету коэффициентов ассоциативности (табл. 1) не позволяет сделать однозначного заключения о степени изменения состояния атмосферы на всей территории города.

В качестве другого показателя изменчивости состояния ТС может использоваться известная знаковая корреляционная функция [13], определяемая с помощью соотношения

$$\rho^{(l,g)} = p(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y)) - q(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y)), \quad (4)$$

где $p(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y))$ – доля площади территории, для которой бивариантные признаки имеют одинаковые значения при l -х и g -х условиях;

$q(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y))$ – доля площади территории, для которой бивариантные признаки, определяемые в l -х и g -х условиях, имеют различные значения.

Распределение индекса загрязнения (ИЗА) атмосферного воздуха

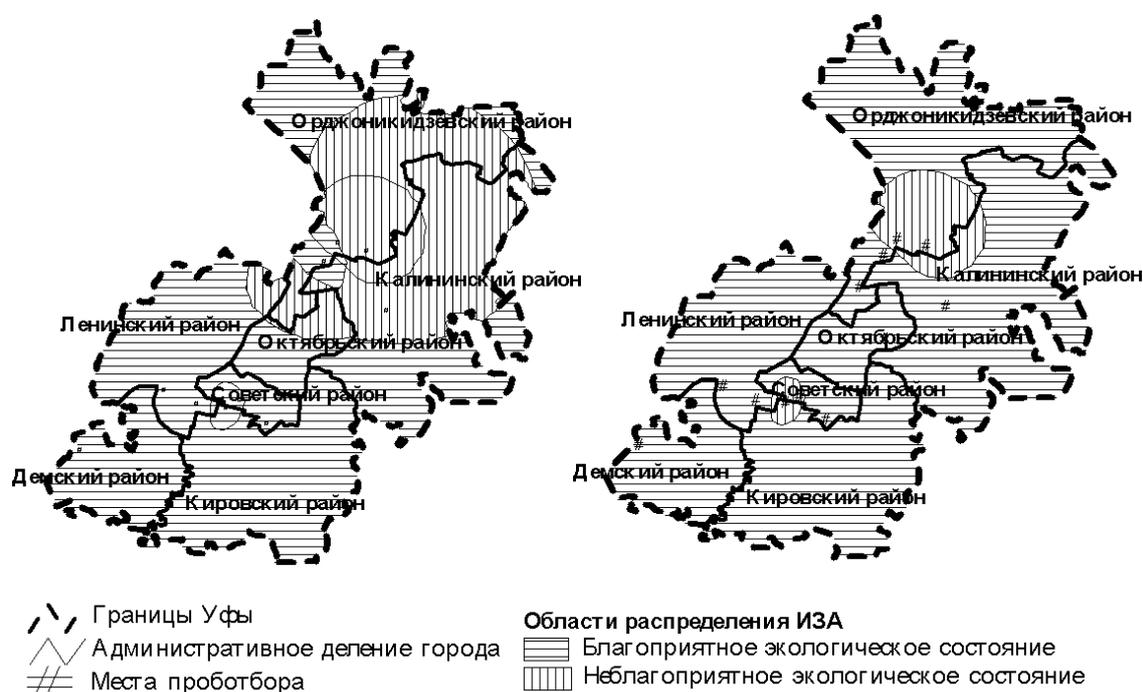


Рис. 5. Характеристика состояния территории г. Уфы по уровню загрязнения атмосферы двуокисью азота, рассчитанного на основе ИЗА

Таблица 1

Меры подобия состояния территориальных систем

Коэффициенты ассоциативности	Зн. коэфф. ассоциативности
$D_1 = \frac{S_{11}}{S_{10} + S_{11} + S_{01}}$	0,18
$D_2 = \frac{S_{11} + S_{00}}{S}$	0,71
$D_3 = \frac{S_{11}}{S}$	0,06
$D_4 = \frac{2 \cdot S_{11}}{S_{10} + 2 \cdot S_{11} + S_{01}}$	0,31
$D_5 = \frac{2 \cdot (S_{11} + S_{01})}{S + S_{11} + S_{00}}$	0,09
$D_6 = \frac{S_{11}}{S_{11} + 2 \cdot (S_{10} + S_{01})}$	0,10
$D_7 = \frac{S_{11} + S_{00}}{S_{11} + 2 \cdot (S_{10} + S_{01})}$	1,11
$D_8 = \frac{S_{11} \cdot S_{00} - S_{10} \cdot S_{01}}{S_{11} \cdot S_{00} + S_{10} \cdot S_{01}}$	0,82
$D_9 = \frac{S_{11} \cdot S_{00} - S_{10} \cdot S_{01}}{\sqrt{(S_{00} + S_{10})(S_{00} + S_{11})(S_{11} + S_{10})(S_{11} + S_{01})}}$	0,30

Для упрощения интерпретации (4) целесообразно преобразовать в значение коэффициента корреляции [13]

$$r^{(l,g)} = \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \rho^{(l,g)}\right). \quad (5)$$

Для данных примера значение $r^{(l,g)}$ составляет 0,61, что в совокупности со значениями коэффициентов ассоциативности позволяет сделать предположение о том, что уровень загрязнения атмосферы на территории г. Уфы двуокисью азота в целом существенно не изменился.

Основу расчета значений показателей, характеризующих расхождение оценок состояния в случае, когда признаки имеют ранговый тип, составляет использование соотношения, схожее по форме с (3).

В нем $R_i^{(l,g)}$ – параметр, правила расчета которого следующие: если ранг i -го участка территории, определяемый в l -х условиях, не совпадает с рангом, определяемым в g -х условиях, то ему присваивается значение «единица», в противном случае – значение «нуль»; S – общая площадь территории; N – число участков, выделенных на исследуемой территории.

По сути, $\rho^{(l,g)}$ представляет собой долю территории, для которой ранги в l -х и g -х условиях не совпадают.

Если обозначить через $Q_{11}(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y))$ долю территории, для которой ранги в l -х и g -х условиях совпадают, а через $Q_{10}(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y))$ долю территории, для которой ранги не совпадают, то для оценки показателей степени совпадения результатов может быть использована описанная выше знаковая корреляционная функция

$$\rho^{(l,g)} = Q_{11}(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y)) - Q_{00}(M^{(l)}(x,y), M^{(g)}(x,y))$$

и формируемый на ее основе коэффициент корреляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке математического обеспечения и программных модулей для систем автоматизированного экологического мониторинга в качестве концептуальной основы учитывается один из принципов управления территориальными системами – принцип комплексности. Реализация этого принципа приводит к необходимости многоаспектного анализа данных, характеризующих состояние урбанизированных территорий. Математическое обеспечение для оценивания текущего состояния и анализа изменчивости состояния атмосферного воздуха городских территорий основано на использовании методов математической статистики для исследования состояния территориальных систем. С одной стороны, использование математических моделей этого класса позволяет оценивать состояние территориальных систем в случае недостаточно изученных механизмов, протекающих в них процессов и явлений. С другой стороны, требуются большие объемы однородных в статистическом смысле исходных данных. Выполнение последнего требования в силу целого ряда обстоятельств на практике встречает большие трудности.

Программное обеспечение экологического мониторинга включает программные модули основных блоков автоматизированной системы этого назначения: информационно-аналитический, расчетно-аналитический, проектно-планировочный и геопортал.

Настоящая работа представляет собой результат творческого сотрудничества международного коллектива исследователей. Главной целью совместной работы является консолидация усилий ученых Азербайджана и России в области решения одной из ключевых проблем современности – управления экологической безопасностью промышленно развитых стран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Агаев Т. Д.** Мониторинг атмосферы и контроль состояния воздуха города // Науч. техн. и произв. журн. «Экология и водное хозяйство». Баку. 2005. № 2. С. 8–11. [Т. D. Agaev, "Monitoring of the atmosphere and control of the air condition of the city", (in Russian), in *Nauch. Techn. I proivz. Zhurn. "Ecologia I vodnoe hozaistvo"*, no. 2, pp. 8-11, 2005.]
2. **Агаев Т. Д., Мамедов Дж. Ф.** Автоматизированная система мониторинга загрязненного воздушного бассейна города Сумгаита // Наука и мир. Международный научный журнал. 2013. № 1 (1). С. 78–79. [Т. D. Agaev, Dzh. F. Mamedov, "Automated system of monitoring of the polluted urban-industrial environment of sumgait", (in Russian), in *Nauka i Mir. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal*, no. 1 (1), pp. 78-79, 2013.]
3. **Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В.** Воздух городов и его изменения. СПб.: Изд. «Астерон». 2008. 254 с. [Е. Yu. Bezuglaya, I. V. Smirnova, *Air of cities and its changes*, (in Russian). SPb.: Izd. "Asteron", 2008.]
4. **Бизикин А. В.** Безопасность и риск при техногенных воздействиях: монография. Тула: Из-во ТулГУ, 2006. 164 с. [А. V. Bizikin, *Safety and risk in technogenic impacts: monograph*, (in Russian). Tula: Iz-vo TulGU, 2006.]
5. **Боровлев А. Э., Лисецкий Ф. Н., Чепелев О. А.** Развитие системы управления качеством атмосферного воздуха для города Белгорода / Фундаментальные исследования. 2013. № 6, ч. 4. С. 922–929. [А. E. Borovlev, F. N. Lisetsky, O. A. Chepelev, "Development of air quality management system for the city of Belgorod", (in Russian), in *Fundamental'ny'e issledovaniya*, no. 6, part 4, pp. 922-929, 2013.]
6. **Брусиловский П. М., Розенберг Г. С.** Имитация, самоорганизация и экология. Препринт. Уфа, 1981. 40 с. [P. M. Brusilovskiy, G. S. Rosenberg, *Imitation, self-organization and ecology*, (in Russian). Ufa: Predprint, 1981.]
7. **Бретшнайдер Б., Курфюрст И.** Охрана воздушного бассейна от загрязнения: технология и контроль: Пер. с англ. / Под ред. А. Ф. Туболкина. Л.: Химия, 1989. 288 с. [B. Bretschneider, I. Elector, *Protection of air basin from pollution: technology and control: transl. from English*. Ed. A. F. Tubolkina. L.: Chemistry, 1989.]
8. **Бурман В. М., Кропотов Ю. А.** Автоматизированная распределенная система экологического мониторинга окружающей среды модульного типа // Известия Орел ГТУ. Серия «Информационные системы и технологии». 2008. № 1-2/269 (544). С. 53–57. [V. M. Burman, Yu. A. Kropotov, "Automated distributed system of environmental monitoring of the environment of a modular type", in *Izvestiya Orel GTU. Seria "Informacionny'e sistemy i texnologii"*, (in Russian), no. 1-2/269 (544), pp. 53-57., 2008.]

9. **Горюнкova А. А.** Современное состояние и подходы к разработке систем мониторинга загрязнения атмосферы // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 11. С. 251–260. [A. A. Goryunkova, "Current status and approaches to the development of air pollution monitoring systems", (in Russian), in *Izvestiya TulGU. Technicheskie nauki*, issue 11, 2013.]

10. **Донченко В. К.** Экометрия: системно-аналитический метод эколого-экономической оценки и прогнозирования потенциальной опасности технических воздействий на природную среду // Инженерная экология. 1992. № 3. С. 45–61. [V. K. Donchenko, "Ecometry: system-analytical method of ecological and economic assessment and forecasting of potential danger of technical impacts on the environment", (in Russian), in *inzhenernaya ekologiya*, no. 3, pp. 45-61, 1992.]

11. **Егоров А. Ф.** Методы идентификации мгновенных аварийных источников загрязнения атмосферного воздуха / Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Дударов С. П. // Химическая технология. 2002. № 10. С. 41–46. [A. F. Egorov, T. V. Savitskaya, S. P. Dudarov, " Identification methods for instant emergency sources of air pollution", (in Russian), in *Himicheskaya tekhnologiya*, no. 10, pp. 41-46, 2002.]

12. **Кропотов Ю. А., Суворова Г. П.** Марковские модели в автоматизированной системе мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленной зоны // Известия Орел ГТУ. Серия «Информационные системы и технологии». 2008. № 1-3/269 (544). С. 113–118. [Yu. A. Kropotov, G. P. Suvorova, "Markov models in an automated system for monitoring and forecasting the ecological state of an industrial zone", (in Russian), in *Izvestiya Orel GTU. Seriya «Informacionny'e sistemy i tehnologii»*, no. 1-3/269 (544), pp. 113-118, 2008.]

13. **Мирский Г. Я.** Характеристики стохастической взаимосвязи и их изменения. М.: Энергоиздат, 1982. 320 с. [G. Ya. Mirsky, *Characteristics of stochastic interconnection and their changes*, (in Russian). Moscow: Energoizdat, 1982.]

14. **Оптимизация** структур распределенных баз данных в АСУ / А. Г. Мамиконов и др. М.: Наука, 1990. 240 с. [A. G. Mamigonov et. al., *Optimization of distributed database structures in ACS*, (in Russian). Moscow: Nauka, 1990.]

15. **Суворова Г. П.** Автоматизированная система экологического контроля предприятия // Методы и устройства передачи и обработки информации: межвузовский сборник научных трудов. Вып. под ред. В. В. Ромашова, В. В. Булкина. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. С. 347. [G. P. Suvorova, "Automated enterprise environmental control system", (in Russian), in *Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii: mezvuzovskij sbornik nauchnyh trudov*, SpB.: Girometeoizdat, p. 347, 2004.]

16. Системы контроля атмосферы SKAT-1. URL: <http://www.analitsv.ru/katalog/dw8yv42m.html>

17. **Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д.** Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. 431 с. [S. A. Aivazyan, I. S. Enyukov, L. D. Meshalkin, *Fundamentals of modeling and primary data processing*, (in Russian). Moscow: Finansy i statistika, 1983.]

ОБ АВТОРАХ

Агаев Тагир Довлет оглы, зав. каф. географии и методики ее преподавания. Дипл. по специальности – география.

Д-р наук в области наук о Земле (СГУ, 2015). Иссл. в обл. наук о Земле, экологии, защита окружающей среды.

МАМЕДОВ Джаваншир Фирудин оглу, зав. каф. автоматизации процессов. Дипл. инженер механик-колесно-гусеничным машинам (БВОКУ, 1983). Д-р техн. наук (СГУ, 2011). Иссл. в обл. систем автоматизации проектирования ГПС, автоматизация технологических процессов.

ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович, зав. каф. техн. кибернетики. Дипл. инженер электронной техники (УАИ, 1978). Д-р техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. управления безопасностью территориальных систем, построение распределенных систем обработки информации.

ЮСУПОВА Нафиса Исламовна, зав. каф. выч. мат. и кибернетики, декан ФИРТ. Дипл. радиофизик (Воронежск. гос. ун-т, 1975). Д-р техн. наук (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. критич. сит. упр-я, информатики.

METADATA

Title: Software modules and mathematical support for analysis of the condition of the air basin of urbanized territories

Authors: T. D. Agaev¹, D. F. Mamedov², V. E. Gvozdev³, N. I. Yusupova⁴

Affiliation:

^{1,2} Sumgait State University (SSU), Azerbaijan

^{3,4} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ^{1,2} cavan62@mail.ru, ³ wega55@mail.ru, ⁴ yussupova@ugatu.ac.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 23, no. 3 (85), pp. 103-111, 2019. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Classes of information tasks are identified that provide operational control of the retrospective analysis of the state of the atmosphere in the territories of industrialized centers. Approaches to the construction of software systems in the structure of automated monitoring systems are defined. The description of algorithmic software for the analysis of the territorial and temporal variability of the state of the territories is given on the basis of similarity measures and characteristics of the statistical interrelation of state parameters. The results of using the proposed approaches for the analysis of the state of the territories of Sumgait (Republic of Azerbaijan) and Ufa (Republic of Bashkortostan, Russia) are presented.

Key words: Information support system, atmosphere protection, automated monitoring systems, algorithmic and software, dynamics analysis, territorial system.

About authors:

AGAIEV Tagir Dovlet oglu, head of the department of geography and methods of teaching it, Diploma in specialty - geography. Dr. of Tech. Sci. in Earth Sciences (SSU, 2015).

MAMEDOV Javanshir Firudin oglu, head of the department of process automation. A diploma in mechanical engineering, wheeled tracked vehicles (BVOKU, 1983). Dr. of Tech. Sci. (SSU, 2011).

GVOZDEV Vladimir Efimovich, head of Technical Cybernetics Department. Diploma in Electronic Engineering (AIM, 1978). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 2000).

YUSUPOVA Nafisa Islamovna, head of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics. Diploma in Radio Physics (Voronezh State University, 1975). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 1998).