

РАЗДЕЛ 5.
ГИДРОЛОГИЯ, ОКЕАНОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

УДК 551.510.42

**ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА
БАКУ**

Мустафазаде Н. Х.

Институт Космических Исследований Природных Ресурсов, г. Баку, Азербайджанская Республика

Процессы урбанизации, неконтролируемый рост производства в период переходной экономики неизбежным образом приводит к экологическому загрязнению окружающей среды, включая водоемы, почву и атмосферу. Увеличение в атмосфере концентрации таких примесей, как соединения углерода, азота, фтора приводит к проявлению такого явления, как парникового эффекта, и в конечном счете, к глобальным изменениям климата. Поэтому разработка новых инструментов мониторинга загрязнения атмосферы, в том числе, и программного обеспечения для его проведения и обработки результатов, имеет повышенную актуальность. Статья посвящена дальнейшему развитию разработанной в 2016 году программно-измерительной системы для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения г. Баку. В систему добавлены новые функции расчета индекса загрязнения атмосферы и построения электронной карты качества атмосферного воздуха. Приводятся методика и алгоритм расчета индекса и уровней загрязнения. Модифицированная программа позволяет провести моделирование различных параметров загрязнения в зависимости от одного или нескольких метеорологических факторов, содержит модули вывода данных мониторинга и прогнозирования в виде электронной карты, а также имеет модуль для расчета оптимального маршрута для проведения измерений. Предлагаемый программный комплекс позволяет графически отобразить состояние загрязнения воздуха в городе как отдельно по загрязнителям, так и сгенерировать обобщенную картину загрязнения. Исследователю представляется возможность выбрать любые комбинации различных примесей, введенных в базу данных атмосферных загрязнителей. Вычисленные индексы состояния загрязненности атмосферы, соответствующие различным комбинациям выбранных примесей, указывают на наиболее загрязненные территории города, и в значительной мере, позволяют локализовать источники таких загрязнений.

Ключевые слова: индекс загрязнения атмосферы, качество воздуха, мониторинг, класс опасности, электронная карта, алгоритм.

ВВЕДЕНИЕ

Качество жизни человека напрямую зависит от качества воздуха, которым мы дышим. Наличие в атмосфере загрязняющих веществ может привести к отравлениям, заболеваниям, дискомфорту. Увеличение концентрации таких примесей, как соединения углерода, азота, фтора приводит к проявлению такого явления, как парникового эффекта, и в конечном счете, к глобальным изменениям климата. Поэтому разработка новых инструментов мониторинга загрязнения атмосферы, в том числе, и программного обеспечения для его проведения и обработки результатов, имеет повышенную актуальность.

В течение ряда последних лет в Национальном Аэрокосмическом Агентстве

ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА БАКУ

Азербайджана проводился мониторинг загрязнения атмосферы города Баку и Апшеронского полуострова. Для измерений использовалась мобильная измерительная лаборатория, размещенная на автомашине “Урал”. В состав лаборатории были включены приборы для измерения различных параметров загрязнения. Наблюдения проводились в 9 различных репрезентативных точках города за 14 разными загрязнителями атмосферы, наличие которых характерно для крупного города, такого как Баку. К числу таких загрязнителей относятся соединения азота, серы, углерода, фтора и др. [1].

Для программного обеспечения мониторинга был разработан специализированный программный комплекс. Комплекс включает базу данных мониторинга и систему управления ее, программные модули для получения данных от первичных измерительных датчиков, модули моделирования и прогнозирования, а также модуль вывода результатов обработки данных в виде электронной карты [2]. Кроме того, для уменьшения затрат на проведение измерений, был разработан модуль построения оптимального маршрута перемещения между пунктами наблюдений. Все программы были разработаны в среде программирования MATLAB.

Таким образом, разработанная система обеспечивала вывод результатов отдельно по каждому измеряемому параметру. При этом выделялись районы города с превышением концентрации загрязнений выше предельно допустимых значений. Однако не создавалось общей картины о состоянии атмосферы, которая учитывала бы совокупность всех наблюдаемых параметров загрязнения. Естественно, все примеси, которые содержатся в атмосфере, вносят свой вклад в ее загрязнение. При этом воздействие определенных примесей более опасно, чем других. Поэтому все вышесказанное следовало учесть при составлении карты качества воздуха города. Цель настоящей статьи – показать, как была решена поставленная задача.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для выполнения задачи был дополнительно разработан программный модуль определения качества атмосферного воздуха. Работа модуля основывается на определении набора относительных показателей качества для каждого из загрязнителей и вычислении общего показателя качества воздуха – индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). ИЗА является наиболее широко используемым комплексным индексом, учитывающим несколько примесей и характеризующим хроническое, длительное загрязнение воздуха. ИЗА учитывает не только концентрации, но и степень воздействия загрязнителей на здоровье. Ниже представлены формулы для расчета этого индекса [3].

$$ИЗА = \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_i}{ПДК_i} \right)^{C_i} \quad \text{если } \frac{X_i}{ПДК_i} \leq D_i \quad (1)$$

$$\text{или } ИЗА = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{ПДК_i} C_i \text{ если } \frac{X_i}{ПДК_i} \geq D_i \quad (2).$$

где X_i – среднегодовая концентрация i -го вещества, $ПДК_i$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация, C_i – коэффициент, учитывающий класс опасности вещества, D_i – значение отношения концентрации вещества к его ПДК, при превышении которого формула (1) заменяется формулой (2), N – число загрязнителей.

Признаки определения класса опасности вредных веществ установлены стандартом ГОСТ 12.1.007-76 “Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности”. По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности: 1-й – вещества чрезвычайно опасные; 2-й – вещества высокоопасные; 3-й – вещества умеренно опасные; 4-й – вещества малоопасные [4]. В таблице 1 показаны значения коэффициентов C_i и D_i для различных классов опасности.

Таблица 1.
Значения коэффициентов C_i и D_i для различных классов опасности

Класс опасности	Коэффициент C_i	Коэффициент D_i
1	2,3	2,5
2	1,3	5
3	1	8
4	0,87	11

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма программного модуля расчета индекса загрязнения атмосферы.

Модуль разработан в среде программирования MATLAB и работает следующим образом. После инициализации переменных и графического интерфейса модуля оператор выбирает один или несколько загрязнителей атмосферы, чтобы получить интегральный индекс. Создаются 3 матрицы: матрица для вычисления частных ИЗА (M_i), матрица интегрального ИЗА и матрица уровней качества воздуха. Размеры этих матриц одинаковы и достаточны для того, чтобы охватить всю область мониторинга с требуемым пространственным разрешением, а начальные значения установлены в NaN (Not-a-Number). Затем начинается выполнение цикла, число итераций которого равно числу выбранных загрязнителей. Последовательно для каждого загрязнителя запрашивается выборка измерений, сделанных в различных пунктах мониторинга. Используя триангуляцию Делоне, рассчитываются значения в промежуточных точках между пунктами наблюдений. С учетом класса опасности вещества, по формулам (1) и (2) рассчитываются значения частных ИЗА. Эти значения суммируются со значениями матрицы интегрального ИЗА. Затем цикл повторяется с выборкой данных следующего загрязнителя.

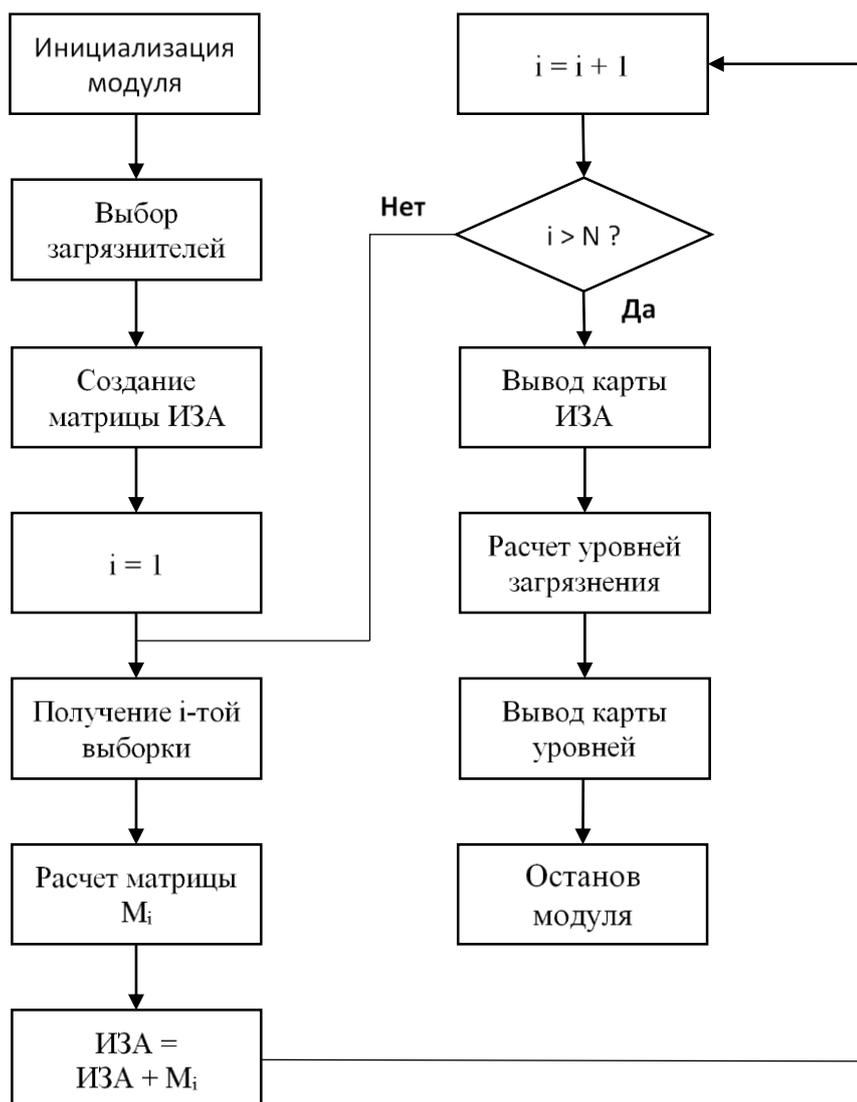


Рис.1. Блок-схема алгоритма программного модуля вычисления индекса загрязнения атмосферы

Таким образом, по окончании всех итераций цикла, в матрице интегрального ИЗА хранится суммированный индекс загрязнения атмосферы, полученный с учетом данных всех загрязнителей.

Результаты работы программы сведены в таблице 2. Как видно из таблицы, для расчета ИЗА были использованы данные мониторинга по 5 загрязняющим

параметрам. Поскольку любая двумерная матрица может быть трактована как изображение, значения из матрицы накладываются на электронную карту с изображением области мониторинга. Таким образом формируется изображение, показанное на рис. 2а.

Для получения электронной карты уровней загрязнения воздуха значения интегрального ИЗА квантуются по уровням загрязнения (см. таблицу 3) и формируют изображение, показанное на рис. 2б.

Таблица 2.
Отношение к ПДК для различных загрязнителей и совокупный индекс загрязнения атмосферы г. Баку

	Пыль	Диоксид серы	Диоксид азота	Сульфид водорода	Угарный газ	Совокупный ИЗА
Класс опасности	3	3	2	2	4	
ПДК, мг/м³	0,15	0,05	0,04	0,008	3,0	
Адреса пунктов наблюдений	Частные ИЗА					
Биби Эйбаг, ул. Мектебли, 40	2	0,18	0,68	0,06	1	3,92
НЗС, пр. Бабека, 66	2	0,22	1,69	1	1	5,91
Пр. Гейдара Алиева, 66	2	0,2	2,07	0,27	1	5,54
9-й мкрн, ул. Мир-Джалала, 127	2	0,2	1	0,06	0,85	4,13
Пр. Гара Гараева, 71	2	0,22	1,33	0,06	1	4,61
Ул. Гурбана Аббасова, 16	2	0,18	1,33	0,06	1	4,57
Сабунчи, Мамедалиева, 6	2	0,2	1,33	0,06	1	4,59
Ул. Шарифзаде, 174	2	0,22	1,69	0,06	0,7	4,67
Ул. Худу Мамедова, 3	2	0,2	2,07	0,06	1	5,33

Таблица 3.
Значения ИЗА и соответствующие им уровни загрязнения

Значения ИЗА	Уровень загрязнения
≤ 5	Низкий
$5 \div 8$	Повышенный
$8 \div 13$	Высокий
≥ 13	Очень высокий

ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА БАКУ

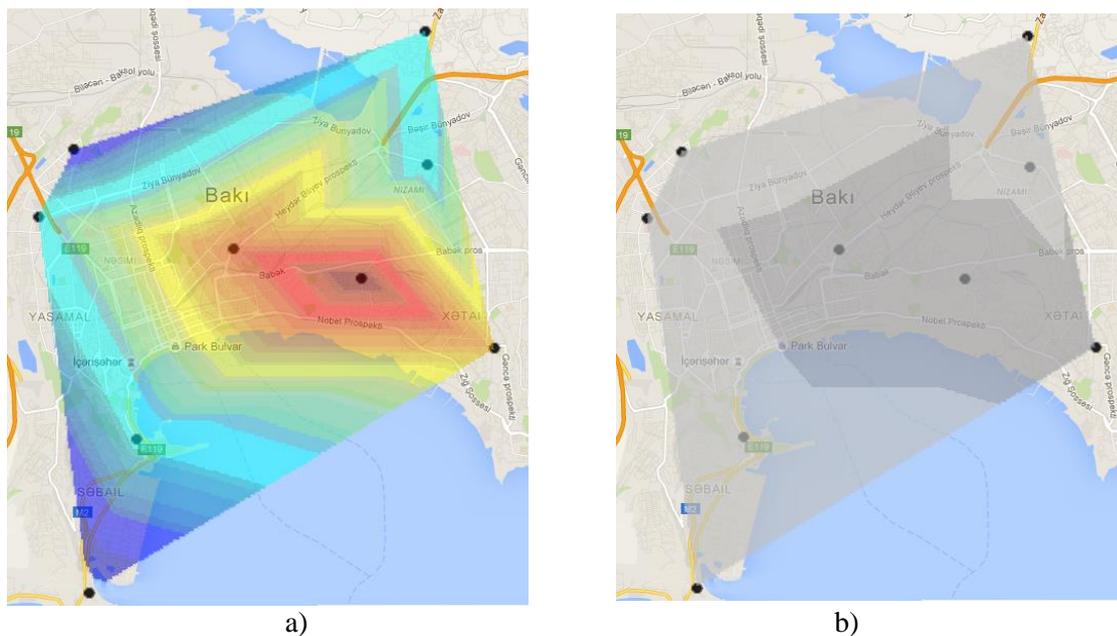


Рис.2. а) Карта индекса загрязнения атмосферы г. Баку;
б) Карта уровней загрязнения атмосферы г. Баку

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По итогам расчета были построены электронные карты качества атмосферного воздуха г. Баку. Программа позволяет вести расчет качества с учетом одного или нескольких загрязнителей атмосферы. На рис. 2а представлена карта качества атмосферы с учетом 5 загрязняющих атмосферу примесей: пыли, оксида серы, диоксида азота, сероводорода и угарного газа. Анализ данных из таблицы 2 позволяет сделать вывод о том, что наибольший вклад в значение индекса вносят следующие примеси: пыль, диоксид азота и угарный газ, из которых наиболее опасным и по классу опасности вещества, и по превышению над ПДК представляется диоксид азота.

По рассчитанным значениям индекса можно характеризовать уровень загрязнения воздуха. В таблице 3 приведен список 4 уровней загрязнения и соответствующие этим уровням значения ИЗА [5].

На рис. 2б показана карта, построенная в соответствии с данными из таблицы 3. На карте светло-серым цветом показаны районы города с низким уровнем загрязнения воздуха, а темно-серым – с повышенным.

Как видно из рис. 2б, почти весь центр города, во всяком случае, его низинная часть, имеет повышенный уровень загрязнения воздуха. В то же время его нагорная часть, так называемые спальные районы, имеют низкий уровень загрязнения.

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработанный программный комплекс имеет возможность показать распределение загрязнения воздуха в городе как для каждого из измеряемых загрязнителей отдельно, так и представить обобщенную картину загрязнения. При этом можно выбрать любые комбинации различных примесей, имеющихся в базе данных мониторинга атмосферного загрязнения. Анализ индексов загрязнения атмосферы, полученных с помощью различных комбинаций примесей, позволяет сделать выводы о преобладающих загрязнителях, о наиболее загрязненных участках города, и в значительной мере, об их происхождении.

Список литературы

1. Сулейманов Т.И., Мустафазаде Н.Х., Гулузаде Р.К. Обработка данных мониторинга атмосферных загрязнений города Баку. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. №10. С. 41-45.
2. Мамедов М.И., Гулузаде Р.К., Мустафазаде Н.Х. Применение метода группового учета аргументов для обработки данных мониторинга загрязнения атмосферы. Известия Азербайджанского Национального Аэрокосмического Агентства. Баку, 2015, Т. 18, №3, С.40-44.
3. Ф. Х. Бикташева, З. Л. Халилова. Экология. Учебное пособие. Уфа. Изд. БашГАУ, 2015 60 с.
4. Классы опасности вредных веществ и отходов. URL: <https://ria.ru/20120326/606570176.html>
5. Уровни загрязнения атмосферного воздуха. URL: <https://ria.ru/20090916/185297779.html>

THE BUILDING OF AN AIR QUALITY MAP FOR BAKU CITY

Mustafazade N. Kh.

Institute for Space Research of Natural Resources, Baku, Republic of Azerbaijan

The article is devoted to further development of the software-measuring system which was first developed in 2016, for monitoring, modeling and forecasting of atmospheric pollution in Baku city. New functions have been added to the system for calculating the air pollution index and building an electronic map of atmospheric air quality. The methodology and algorithm for calculating the index and pollution levels are presented. The modified program allows modeling various pollution parameters depending on one or several meteorological factors; contains modules for outputting both the monitoring and forecasting data in the form of an electronic map; and also has a module for calculating the optimal route for measurements.

Keywords: air pollution index, air quality, monitoring, hazard class, electronic map, algorithm.

References

1. Sulejmanov T.I., Mustafazade N.H., Guluzade R.K. Obrabotka dannyh monitoringa atmosferynyh zagryaznenij goroda Baku. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika, 2016, no 10, pp. 41-45. (in Russian).
2. Mamedov M.I., Guluzade R.K., Mustafazade N.H. Primenenie metoda gruppovogo ucheta argumentov

ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА БАКУ

- dlja obrabotki dannyh monitoringa zagrjaznenija atmosfery. Izvestija Azerbajdzhanskogo Nacional'nogo Ajerokosmicheskogo Agentstva. Baku, 2015, V. 18, no 3, pp.40-44. (in Russian).
3. F. H. Biktasheva, Z. L. Halilova. Jekologija. Uchebnoe posobie. Ufa. Izd. BashGAU, 2015 60 p. (in Russian).
 4. Klassy opasnosti vrednyh veshhestv i othodov. URL: <https://ria.ru/20120326/606570176.html> (in Russian).
 5. Urovni zagrjaznenija atmosfernogo vozduha. URL: <https://ria.ru/20090916/185297779.html> (in Russian).

Поступила в редакцию 14.05.2020 г.