

Рост и интенсификация всех отраслей промышленности, а также автотранспорта приводит к значительному загрязнению химическими веществами среды обитания человека, увеличению контакта с ними в процессе производства и в быту. Одной из важных проблем крупных городов является все возрастающее загрязнение атмосферы вредными веществами, представляющими опасность для живых организмов и в первую очередь для человека [1-4]. Колебания уровня загрязнения воздуха обусловлены изменениями выбросов промышленных объектов, автотранспорта и метеорологическими условиями, которые также обладают значительной временной изменчивостью. Для обеспечения научно обоснованного управления качеством воздуха, необходима информация о выбросах вредных веществ, об уровнях загрязнения, их изменениях в течение длительного периода, а также о метеорологических условиях распределения примесей в атмосфере. Эту информацию можно получить в результате определения содержания токсичных веществ в воздухе за длительный период с последующей обработкой их статистическими методами [5,6]. Целью работы явилось проведение многомерного анализа содержания токсичных веществ в атмосферном воздухе г. Казани для выявления временных и сезонных тенденций, а также экстремальных выбросов. Для этого обобщен материал о содержании вредных веществ в атмосферном воздухе г. Казани в период 2009-2013 гг., полученный Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РТ. Наблюдения за состоянием атмосферы проводили на 10 постах 4 раза в сутки. Основными факторами, влияющими на загрязнение атмосферы, являются автотранспорт и промышленные предприятия. Наибольший вклад вносит автотранспорт (порядка 70%) [7]. На втором месте по загрязняющим атмосферу выбросам занимают промышленные предприятия. В г. Казани их более 100. Для оценки и прогноза изменения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе проведен анализ результатов их содержания в течение года в период 2009-2013 гг. Оценка проведена для наиболее токсичных загрязнителей: бенз(а)пирена, формальдегида и диоксида азота. На рис.1 представлена динамика изменений концентраций бенз(а)пирена. Видно, что наибольшие концентрации наблюдаются в холодный период года, когда возрастают объемы сжигаемого топлива. Прослеживается очевидная тенденция к ежегодному спаду выбросов бенз(а)пирена в воздух. Это связано с проведением ряда воздухоохраных мероприятий предприятиями теплоэнергетического комплекса, которые привели к уменьшению доли мазута в топливном балансе. Рис. 1 - Годовые изменения концентраций бенз(а)пирена в атмосферном воздухе. Обратная зависимость наблюдается для формальдегида (рис. 2). Здесь наибольшие концентрации наблюдаются в летний период, что связано не только с выбросами автотранспорта, но и как известно с его образованием в атмосфере в результате фотохимических реакций разложения углеводородов. Рис. 2 - Годовые изменения концентраций формальдегида в

атмосферном воздухе В целом за пятилетний период наблюдается уменьшение концентраций формальдегида в воздухе. Аналогичная ситуация прослеживается и для диоксида азота. Интересно отметить значительное увеличение содержание бенз(а)пирена, формальдегида и диоксида азота в летний период 2010 года. Это связано со сложившимися экстремальными погодными условиями и их последствиями (жаркое сухое лето и, как следствие, пожары). Для обработки большого массива данных по различным параметрам, а также установления наличия совместного действия факторов и скрытых связей между имеющимися параметрами наиболее эффективным является многомерный анализ [8,9]. С помощью многомерного анализа были изучены временные тенденции изменения содержания загрязнителей. Для этого использованы результаты анализов проб, отобранных на ПНЗ №3, который находится возле комбината «Здоровье». Выбор именно этого поста обусловлен расположением в центре города, где наибольшее количество разнообразных источников загрязнения атмосферы и вместе с тем - наибольшее скопление людей. Для исследований собраны данные замеров концентраций по 8 показателям (взвешенные частицы, оксид углерода, диоксид азота, сероводород, аммиак, фенол, бенз(а)пирен, формальдегид). Рассчитаны среднемесячные концентрации за 12 месяцев 2009, 2011, 2013 года. Для построения карт использована таблица данных мониторинга среднемесячных концентраций загрязнителей за 2009, 2011, 2013 гг. (рис.3). Рис. 3 - Фрагмент таблицы данных

При проведении анализа применен модуль «Многомерные карты качества» (Multivariate Quality Control Charts) ПО «СТАТИСТИКА». Сначала была построена карта Хотеллинга T2 для определения выбросов, т.е. наблюдений, выходящих за пределы «3 сигма», а затем многомерные MEWMA-карту (многомерная карта экспоненциально-взвешенного среднего значения) и CUSUM-карта (карта кумулятивных сумм), которые применяются для обнаружения скрытого тренда. Карта Хотеллинга T2 (рис.4) свидетельствует о нестабильности процесса загрязнения на ПНЗ №3 по выбранным переменным в целом. При этом начало 2009 года и конец 2013 -го проявили себя как самые загрязненные. Рис. 4 - Карта Хотеллинга T2

Рис. 5 - MEWMA-карта (многомерная карта экспоненциально-взвешенного среднего значения) Для четкой формулировки основных критериев нестабильности многомерного процесса была построена многомерная карта экспоненциально-взвешенного среднего значения (рис.5). Она позволяет обнаружить малые сдвиги исследуемых средних значений. Представленная карта экспоненциально-взвешенного среднего значения позволила зафиксировать максимумы загрязнений не только в 2009 и 2013 годах, как это наблюдалось на карте Хотеллинга, но и в 2011-м. Рис. 6 - CUSUM- карта (карта кумулятивных сумм) Для более детального анализа тенденции временных изменений концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе г. Казани строили CUSUM-карту, которая применяется для обнаружения скрытого тренда

(тенденции) (рис 6). При применении контрольной карты данного типа был получен монотонно растущий и далее снижающийся график накопленной суммы отклонений от контрольной границы. Таким образом, обнаружен стремительный рост суммарного загрязнения в течение первых шести месяцев 2009 г., а затем стремительная динамика спада загрязнений до августа 2013 года, после чего загрязнение атмосферного воздуха вновь стало возрастать. Аналогичным способом проведен анализ для наиболее экологически чистого района г. Казани - Приволжского. Таким образом, сравнение тенденций изменения концентраций загрязняющих веществ в наиболее «грязном» и в наиболее «чистом» районах города Казани указывает на одинаковый тренд изменений концентраций во времени. Полученные результаты можно объяснить активным проведением природоохранных и других мероприятий в период подготовки к летним студенческим играм 2013 года. В этот период промышленными предприятиями столицы проведены работы по оснащению источников выбросов загрязняющих веществ современным газоочистным оборудованием, расширены автомагистрали, построены дорожные развязки, осуществлена замена старого подвижного состава автобусного парка на новый, отвечающий европейским стандартам «ЕВРО-3». В результате предпринятых мер Казань исключена из перечня городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Для изучения взаимосвязи содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и метеоусловий использован метод главных компонент [10]. Этот метод применяется для сжатия данных и выделения из них более значимой информации. Для проведения МГК - анализа использована таблица данных мониторинга загрязнения атмосферного воздуха по всем ПНЗ г. Казани. Учитывая ранее описанные результаты, для обработки были выбраны данные за весенний, летний и зимний периоды в 2009, 2011 и 2013 годах. В качестве переменных использованы температура, скорость и направление ветра, атмосферные явления, содержание взвешенных частиц, окиси углерода, двуокиси азота и альдегида в воздухе. Для наглядного представления взаимосвязи всех изучаемых переменных строили графики счетов и нагрузок попарно в проекциях на главные компоненты. На рис. 7 для примера показаны графики счетов и нагрузок в проекциях на главные компоненты ГК1 -ГК2 за весенний период 2009 г. Анализ графиков счетов показывает на наличие выбросов за границу 3σ . Так, например, для ряда образцов наблюдается превышение значений по взвешенным частицам, диоксиду азота и формальдегиду, зафиксированные в одно и тоже время, а именно в «час пик» на Горьковском шоссе и на ул. Татарстан. Кроме того, в этот период наблюдается явление штиля, которое является опасным в случае выбросов автотранспорта.

Рис. 7 - Графики счетов и нагрузок для первых двух компонент (График проекций наблюдений и график проекций переменных в пространстве двух первых компонент) ГК1-ГК2 Для того, чтобы обнаружить более четкую

взаимосвязь переменных проведен корреляционный и факторный анализы. В рассматриваемом случае главной компонентой являются метеословия (температура и скорость ветра). Это объясняется тем, что данные переменные имели наибольшую изменчивость в этот период года. Второй компонентой (ГК-2) являются загрязнители-диоксид азота и взвешенные частицы. Третьей компонентой является формальдегид. Аналогичные процедуры были проведены с данными для сезонов 2009, 2011 и 2013 годов. По результатам проведенного МГК-анализа выявлена сезонная зависимость содержания загрязняющих веществ и метеопараметров. Обнаружено, что в весенний и летний периоды наблюдается прямая зависимость между содержанием взвешенных веществ и скоростью ветра. Кроме того, в летний период наблюдалась прямая зависимость содержания диоксида азота и температуры воздуха. В зимний период обнаруживается обратная зависимость концентраций формальдегида от направления ветра, а также обратная зависимость содержания диоксида азота от скорости ветра. В весенний период основными загрязнителями являются взвешенные частицы и диоксид азота. В летний период зафиксировано более высокое содержание всех изученных загрязнителей, в зимний - как и в весенний преобладают взвешенные частицы и диоксид азота. Наибольшие концентрации по взвешенным частицам зафиксированы в Московском районе, Вахитовский район загрязнен в большей степени диоксидом азота, меньше формальдегидом и взвешенными частицами. В Кировском районе зафиксированы выбросы формальдегида. Приволжский район наиболее экологически благоприятен.