



DOI 10.22363/2313-2310-2019-27-4-337-352
УДК 502.35/51-74

Научная статья

Получение и использование данных оперативного мониторинга атмосферного воздуха

Е.С. Кулакова¹, А.М. Сафаров¹, Л.А. Насырова¹, Д.С. Мизгирев²

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет
Российская Федерация, 450062, Уфа, ул. Космонавтов, 1

²Волжский государственный университет водного транспорта
Российская Федерация, 603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Аннотация. С целью контроля химического состава атмосферного воздуха в городах, расположенных в зоне влияния нефтехимических предприятий, устанавливаются автоматические станции контроля атмосферного воздуха (АСКАВ). Для эффективного использования экспериментальных данных авторами статьи разработана система сбора данных с АСКАВ, в которой синхронизованы контроль воздуха в жилых кварталах и газовой смеси на источнике организованного выброса. Проведен анализ данных концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Стерлитамака, полученных с АСКАВ, на основе которых составлен перечень маркерных веществ для предприятий города. Определены приоритетные источники загрязнения воздуха маркерными веществами в период различного ветрового режима. Разработаны модели изменения концентрации маркерных веществ в воздухе с помощью метода факторной регрессии. На основе результатов кросскорреляционной функции получено время перемещения загрязненного газового облака от источника выброса до жилой зоны города. Сделаны выводы об эффективности разработанной системы мониторинга атмосферного воздуха и области применения полученных моделей.

Ключевые слова: атмосферный воздух, маркерные вещества, временной ряд, факторная регрессия, автоматическая станция контроля атмосферного воздуха

Введение

Нефтехимическая промышленность является приоритетным направлением экономического развития Республики Башкортостан. К негативным последствиям деятельности предприятий этого профиля относится загрязнение окружающей среды. Для населения города особенно опасно для здоровья увеличение концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В Республике Башкортостан в зону высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха попадают Уфа и города южного промышленного узла – Стерлитамак, Салават, Ишимбай.

© Кулакова Е.С., Сафаров А.М., Насырова Л.А., Мизгирев Д.С., 2019



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Особенно опасным является близкое расположение промышленных предприятий к черте города. Так, архитектура Уфы и Стерлитамака характеризуется близким расположением нефтехимических предприятий, что способствует быстрому переносу загрязняющих веществ в жилую часть города. Поэтому актуальна задача создания оперативной системы управления качеством окружающей среды с целью улучшения условий жизни населения городов.

В настоящее время в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха устанавливаются автоматические станции контроля атмосферного воздуха (АСКАВ). Например, в Стерлитамаке была внедрена система одновременного контроля качества атмосферного воздуха жилой зоны и концентрации загрязняющих веществ на промышленном источнике выброса [1–3]. АСКАВ установлены в жилой зоне центра города. Контроль источников выбросов ведется на предприятиях по производству кальцинированной соды, поливинилхлорида, агидолов.

На рассеивание загрязняющих веществ в воздухе оказывают влияние метеорологические условия, главным образом ветровой режим. Вследствие того, что город расположен в четвертой климатической зоне, характеризующейся частой регистрацией неблагоприятных метеорологических условий, проблема совершенствования экологического мониторинга является особенно острой. Также неудачным является географическое расположение города: нефтехимические предприятия расположены с севера и юга его жилой части. Это приводит к тому, что при любом направлении ветра возможно негативное влияние выбросов на атмосферный воздух селитебной зоны [4].

Материалы и методы

Объектами исследования являются массивы данных по концентрации загрязняющих атмосферу веществ, зафиксированных на АСКАВ в жилой части Стерлитамака и в районе организованного выброса на источнике промышленного предприятия.

Так как исходные данные зарегистрированы через равные промежутки времени, то в качестве метода математической обработки этих данных был использован статистический, корреляционный, факторный анализ временных рядов. С целью выявления связи (зависимости) между исходными временными рядами использована кросскорреляционная функция, что особенно важно при выявлении влияния источника загрязнения на качество воздуха, а именно – на ее основе возможно определение времени, через которое загрязненное газовое облако переместится в жилую зону города.

Результаты и обсуждение

Для решения задачи совершенствования системы экологического мониторинга в Стерлитамаке разработана схема управления качеством атмосферного воздуха и промвыбросов (рис. 1) [1].

Основой системы мониторинга является сбор экспериментальных данных: концентраций загрязняющих веществ с АСКАВ, расположенной в жилой зоне города; датчиков контроля промышленных выбросов из источников нефтехимических предприятий. Исходные данные передаются операто-

ру посредством GSM-сети. Наглядное отображение полученных данных, а также их обработка (составление отчетов), осуществляется с помощью программного обеспечения IOVISLite и IDA 95 MNT.

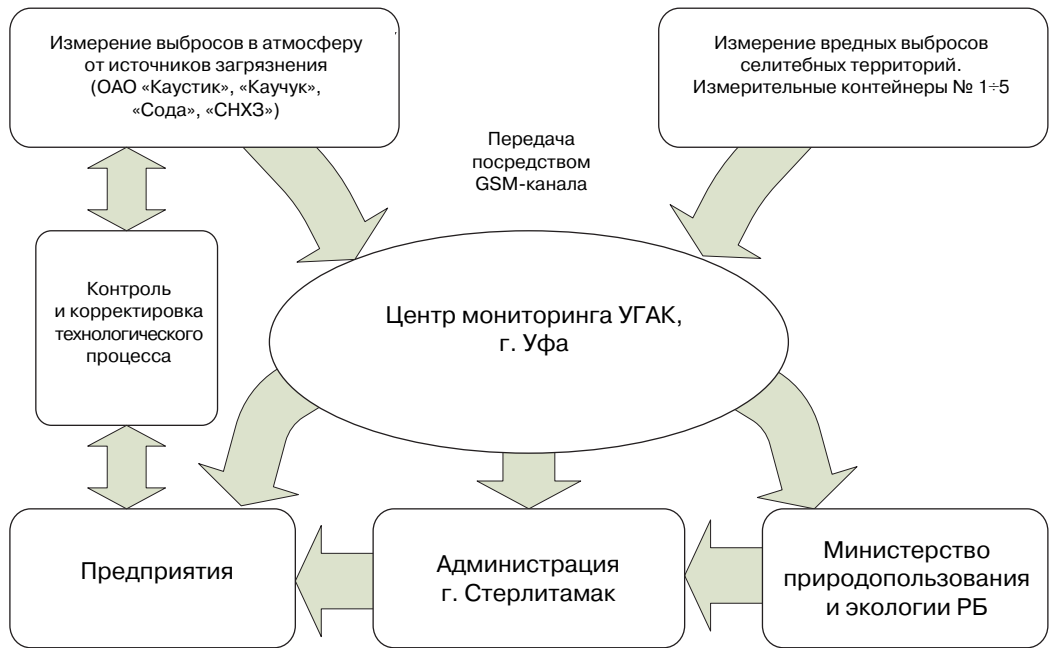


Рис. 1. Схема управления качеством атмосферного воздуха в Sterlitamakе [Figure 1. Air quality management scheme in Sterlitamak]

Time	Station	M.P.T.	Device	Component	Min.	Value	Max.	StdDev	Unit	Valid [%]
07.05.2013 8:03	Station 2		APMA-370	CO	0,2875	0,3396	0,4375	0,0566	mg/m3	100
07.05.2013 8:03	Station 2		APNA-370	NO	0,0058	0,0064	0,0072	0,0004	mg/m3	100
07.05.2013 8:03	Station 2		APNA-370	NO2	0,0170	0,0175	0,0182	0,0003	mg/m3	100
07.05.2013 8:03	Station 2		APNA-N370	NH3	{null}	{null}	{null}	{null}	mg/m3	0
07.05.2013 8:03	Station 2		APOA-370	O3	0,0663	0,0698	0,0717	0,0019	mg/m3	100
07.05.2013 8:03	Station 2		APSA-370	SO2	0,0060	0,0061	0,0063	0,0001	mg/m3	100
07.05.2013 8:03	Station 2		APSA-H370	H2S	0,0020	0,0021	0,0021	0,0001	mg/m3	100
07.05.2013 8:03	Station 2		Analogs	Pt100	20,65	20,91	21,17	0,1831	°C	100
07.05.2013 8:03	Station 2		BAM-1020	MC	0,0170	0,0170	0,0170	0,0000	mg/m3	100

Рис. 2. Интерфейс программы отображения экспериментальных данных, регистрируемых на АСКВ: концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с трехминутным интервалом [Figure 2. Interface of the program for displaying experimental data recorded at ASKAV: registration of concentrations of pollutants in atmospheric air with an interval of 3 min]

АСКАВ представляет собой совокупность газоанализаторов, регистрирующих концентрации веществ непрерывно и с заданной периодичностью. Причем частота, с которой происходит замер на хроматографах АСКАВ и датчиках, установленных непосредственно на источниках выброса, различна. Главным образом, период регистрации зависит от физико-химических свойств определяемых органических веществ. На АСКАВ также есть метеостанция. Результаты контроля и метеопараметры отображаются в виде таблиц.

Датчики контроля поставляются с прикладным программным обеспечением. Имеется возможность в любой момент времени получить актуальный отчет о фактическом химическом составе воздуха в городском массиве. В итоговой таблице (рис. 3) указываются максимальные размеры разовых и среднесуточных концентраций веществ, загрязняющих атмосферу, ПДК и их превышения, а также время фиксации максимальной концентрации.

Результаты автоматизированного контроля загрязняющих веществ (З.В.) в атмосферном воздухе с АСКАВ по ул. Менделеева,2							
с 18.04.2014 7:00 по 19.04.2014 7:00							
Ингредиент	с.с. Концентрация з.в. мг/м ³	ПДК _{с.с.} мг/м ³	Превышение в долях ПДК _{с.с.} ≥ 1	м.р. Концентрация з.в. мг/м ³	ПДК _{м.р.} мг/м ³	Превышение в долях ПДК _{м.р.} ≥ 1	Время тах выброса м.р. концентрации з.в.
Углерод оксид	0,389	3,0		1,930	5,0		18.04.2014 21:00
Азота оксид	0,001	0,06		0,001	0,4		19.04.2014 4:30
Азота диоксид	0,000	0,04		0,001	0,2		18.04.2014 9:00
Аммиак	0,032	0,04		0,043	0,2		18.04.2014 8:30
Озон	0,054	0,03	1,8	0,075	0,16		18.04.2014 20:30
Сера диоксид	0,005	0,05		0,012	0,5		18.04.2014 8:00
Сероводород	0,0057	0,008		0,0150	0,008	1,9	18.04.2014 16:00
Пыль	0,166	0,15	1,1	0,266	0,5		18.04.2014 12:00
Этилен	0,003	3,0		0,019	3,0		18.04.2014 12:30
Винилхлорид	0,000	0,01		0,009	-		18.04.2014 9:30
1,2-дихлорэтан	0,004	1,0		0,049	3,0		19.04.2014 1:00
Ацетон	0,005	0,35		0,030	0,35		19.04.2014 6:30
Бензол	0,000	0,1			0,3		
Хлороформ	0,01	0,03		0,080	0,1		18.04.2014 8:30
Этилбензол	0,000	0,02			0,02		
Метанол	0,000	0,5			1,0		
о-Ксилол	0,001	0,3		0,004	0,2		19.04.2014 5:30
Стирол	0,000	0,002			0,04		
Толуол	0,008	0,6		0,058	0,6		18.04.2014 10:30
м.р-Ксилол	0,001	0,04		0,034	0,2		18.04.2014 8:30

Рис. 3. Образец сводной итоговой таблицы, формируемый на основе результатов контроля атмосферного воздуха на АСКАВ за сутки
[Figure 3. A sample of the summary table, formed on the basis of the results of atmospheric air monitoring at ASKAV per day]

Анализ данных, полученных с АСКАВ жилой зоны и промышленных источников загрязнения, их практическое использование. На основе результатов контроля атмосферного воздуха в жилой зоне города, получаемых с АСКАВ, и датчиков контроля, установленных на источниках выбросов, можно определить источник загрязнения. Так, в период, когда ветер дует от источника загрязнения в сторону АСКАВ, будет фиксироваться увеличение концентрации маркерных веществ в воздухе. В условиях множественности источников промвыбросов в период НМУ выявить влияние конкрет-

ного предприятия на качество воздуха достаточно сложно. Эту проблему позволяет решить автоматизированный контроль атмосферного воздуха по приоритетным соединениям благодаря корреляции концентрации маркерного соединения и вещества глобального распространения.

Так, в течение некоторого периода времени на АСКАВ было зарегистрировано наличие метанола и фенола в воздухе жилой зоны, причем некоторые значения превышали среднесуточную ПДК в 1,3–4 раза. Вследствие того, что метанол и фенол являются маркерными веществами конкретного производства нефтехимического продукта, источник загрязнения может быть однозначно установлен.

В 2014 г. в период безветренной погоды (штиля) отмечалось увеличение содержания метанола в жилой зоне города через 7 ч после обнаружения превышений нормативов ПДВ на источнике производства агидолов. Данная ситуация наглядно показывает инерционность влияния источника загрязнения на воздух селитебной зоны в период НМУ.

В качестве наглядного отображения влияния промышленных источников загрязнения на содержание маркерных соединений в воздухе жилой зоны представим следующие примеры.

В период северо-западного и северного направлений ветра в атмосферном воздухе с определенной задержкой во времени регистрируется увеличение концентрации метанола при одновременном превышении ПДВ на источнике. На основе данных, зарегистрированных за 2012 г., на источнике производства агидолов было выявлено 35 случаев превышения ПДВ метанола. В 21 из выявленных 35 случаев (60 %) данные превышения коррелировали с концентрацией вещества на источнике выброса.

Предприятие по производству поливинилхлорида (ПВХ) географически расположено к северу от города, поэтому в период северо-западного направления ветра на АСКАВ периодически регистрируются превышения ПДК по дихлорэтану и этилену.

Влияние источника производства кальцинированной соды на качество атмосферного воздуха определяется выбросами газовой смеси, содержащей сероводород, и увеличением его концентрации в жилой зоне.

С целью контроля содержания приоритетных загрязняющих веществ производства кальцинированной соды введена в эксплуатацию станция АСКАВ в жилом районе близ предприятия. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что маркерные соединения предприятия (например, сероводород, оксид и диоксид азота, пыль) при северном направлении ветра регулярно регистрируются. Однако в период преобладания ветров северного направления не наблюдается загрязнение жилой зоны города органическими соединениями, присущими выбросам производства ПВХ, агидолов, каучуков в связи с их удаленным расположением.

Проведенные исследования показывают, что согласно анализу экспериментальных данных, зарегистрированных на АСКАВ, можно выявить предприятие – виновника загрязнения соединениями озона, фенола, сероводорода, метанола, винилхлорида, этилена, дихлорэтана.

Проведен анализ экспериментальных данных концентраций загрязняющих веществ, полученных на АСКАВ за 2010–2013 гг. Согласно графикам, представ-

ленным на рис. 4, явно видна тенденция снижения количества превышений ПДК_{сс} по ряду веществ: диоксиду серы (в 3 раза), сероводороду (3–5 раз), озону (в 2 раза), фенолу (в 5–17 раз). Следовательно, существующая система мониторинга атмосферного воздуха, основанная на автоматизированном контроле, Стерлитамака является эффективной вследствие возможности наблюдения за фактическим химическим составом атмосферного воздуха города, оценивания предприятиями собственных технологических режимов и принятия оперативных мер по регулированию объемов выброса в критических ситуациях. Благодаря полученным результатам снизилась негативная нагрузка на воздух жилых кварталов города, и система управления качеством атмосферного воздуха, созданная на основе одновременного контроля воздуха жилой зоны и концентрации маркерных веществ на источнике организованного выброса, показала свою действенность.

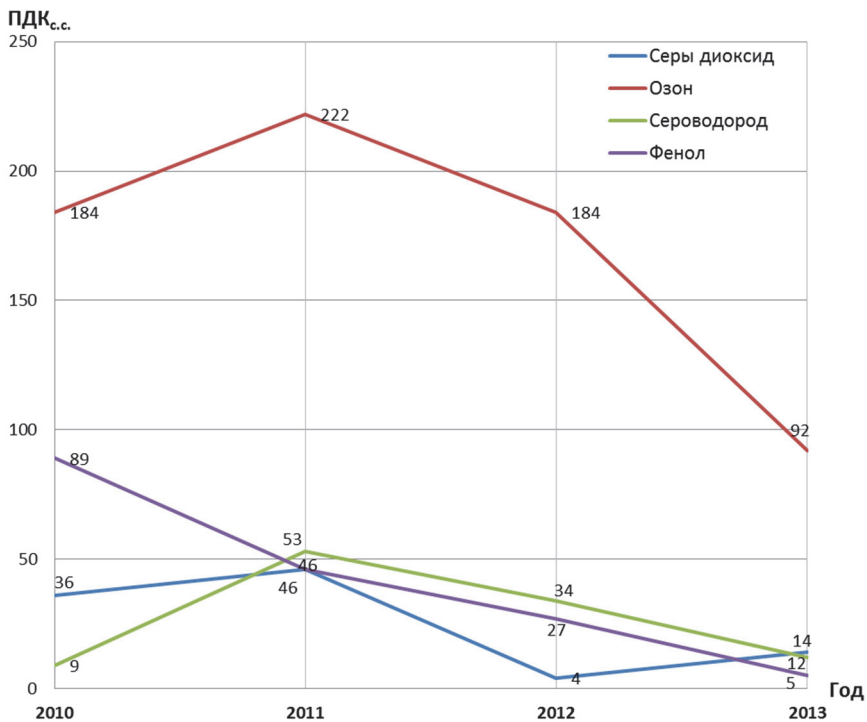


Рис. 4. Графики изменения количества среднесуточных превышений ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Стерлитамака за 2010–2013 гг. (АСКАВ по ул. Фурманова)

[Figure 4. Graphs of changes in the number of average daily exceedances of the MPC of pollutants in the air of Sterlitamak for 2010–2013 (ASKAV on Furmanov St)]

Математическая обработка полученных результатов в Стерлитамаке по автоматизированному контролю атмосферного воздуха. В Стерлитамаке достаточно часто отмечаются периоды, когда метеоусловия затрудняют процесс переноса ЗВ. В этом случае происходят одновременно процессы накопления загрязняющих веществ в воздухе, образование других более токсичных веществ, что приводит к повышению уровня загрязнения атмосферы. С целью предотвращения чрезмерного увеличения концентрации ЗВ разработаны методы краткосрочного прогноза [3].

Методом анализа временного ряда обработан накопленный массив аналитических данных для определения зависимости между качеством атмосферного воздуха, техногенными факторами и метеорологическими параметрами.

Анализ компонент временных рядов изменения концентрации ЗВ в воздухе жилой зоны города, представленных в виде аддитивной функции, показал, что случайная составляющая играет преобладающую роль. Отсутствие однозначно определенной закономерности изменения концентрации ЗВ связано с неоднородностью факторов, оказывающих влияние на рассеивание их в воздухе.

Получены ARIMA-модели изменения содержания широкого спектра загрязняющих веществ в воздухе города [8; 9]. Сделаны выводы о невозможности применения этого вида модели для краткосрочного оперативного прогноза маркерных веществ. Модели авторегрессии и скользящего среднего с высокой степенью точности описывают изменение концентрации оксидов азота в атмосферном воздухе города. Таким образом, математическое описание изменения концентрации загрязняющих веществ в воздухе более сложное.

Концентрация вещества в атмосферном воздухе – это величина, которая зависит от комплекса взаимодействующих факторов. Содержание ЗВ в атмосферном воздухе определяется параметрами, которые соответствуют данной экологической ситуации, а именно режимом выброса и метеорологическими параметрами. Причем следует учитывать не только отдельные параметры, но и их взаимодействие. Одним из методов, способных описать эффект такого влияния множества параметров, является факторная регрессия.

С целью выявления факторов, которые необходимо учитывать при построении модели, следует провести анализ метеорологических условий, при которых происходит увеличение концентрации ЗВ в воздухе жилой зоны. Для города с высоким уровнем негативного воздействия на качество атмосферного воздуха наибольший интерес представляют результаты исследований для периодов с наибольшей повторяемостью ветра, дующего со стороны промышленного предприятия. При этом происходит перемещение загрязненных воздушных масс в жилые кварталы города и увеличивается концентрация опасных для здоровья веществ в воздухе. Также интерес представляют периоды НМУ, во время которых происходит накопление ЗВ в околоземном пространстве.

Таким образом, прогнозные концентрации маркерных веществ производства ПВХ (1,2-дихлорэтана, этилена), агидолов (метанола) в воздухе целесообразно рассчитывать в периоды, когда влияние промвыбросов является наиболее значимым. Для наглядного отображения процесса прогнозирования выбрана временные периоды с преобладанием северного направления ветра и безветренной погоды.

Разработана методика построения моделей факторной регрессии, основанная на предварительном построении кросскорреляционной функции между концентрацией маркерного вещества в воздухе жилой зоны и в промвыбросе с целью установления времени переноса загрязненного газового облака. Для наглядного представления предложенного способа рассмотрены несколько примеров.

Пример 1. Рассмотрим следующие метеорологические условия: температура 8 °С, северный ветер со скоростью 2–3 м/с, влажность 80 %.

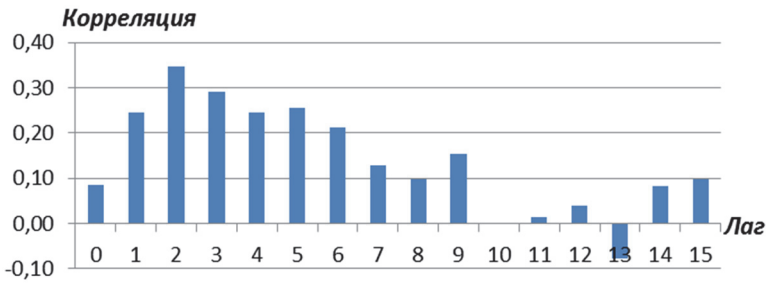


Рис. 5. График кросскорреляционной зависимости между концентрациями метанола на станции и на источнике
 [Figure 5. Cross-correlation function graph between methanol concentrations at the station and at the source]

Кросскорреляционная функция, представленная на рис. 5, наглядно отображает влияние источника промышленного выброса на содержание метанола в жилой зоне. Причем, время переноса загрязненного газового облака достаточно динамичное: 0–2 ч. Поэтому в прогнозное уравнение включены параметры концентрация на источнике с лагом 0, 1 и 2 ч.

Получено уравнение факторной регрессии для оценки взаимосвязи разных факторов с изменением концентрации метанола в воздухе жилой зоны:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{CH}_3\text{OH}_3} = & 6v - 1,1T - 0,27\varphi + 6,6I_0 - 0,4I_1 + 3I_2 + 0,01vT - 0,05v\varphi + 0,02T\varphi - \\
 & - 1,5vI_0 - 0,2TI_0 - 0,009\varphi I_0 - 0,03vI_1 - 0,14TI_1 + 0,02\varphi I_1 - 0,3I_0I_1 - 1,4vI_2 - \\
 & - 0,01TI_2 - 0,007\varphi I_2 - 0,5I_0I_2 - 0,045I_2I_1 + 0,001vTI_0 + 0,003v\varphi I_0 + 0,019vI_0I_1 + \\
 & + 0,08vTI_1 + 0,16vI_0I_1 + 0,013v\varphi I_2 + 0,004TI_0I_1I_2 - 0,0001v\varphi TI_1I_2, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где I_0, I_1, I_2 – концентрации вещества на источнике в периоды времени t, t_1 и t_2 соответственно, мг/м³; T – температура воздуха, °C; φ – влажность атмосферного воздуха, %; v – скорость ветра, м/с.

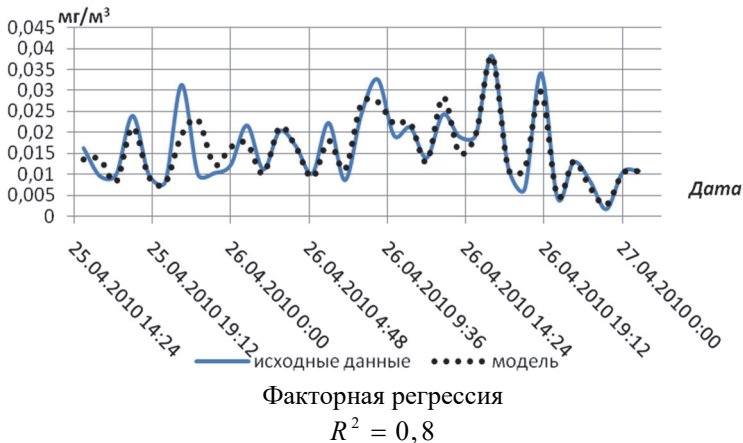


Рис. 6. Сопоставление модели для прогноза содержания метанола в атмосферном воздухе Стерлитамака с экспериментальными данными, полученными на АСКВАВ
 [Figure 6. Comparison of the model for forecasting the methanol content in the atmospheric air of Sterlitamak with the experimental data obtained at ASKAV]

На рис. 6 показаны графики экспериментальных значений метанола, полученных на АСКАВ, и прогнозных, рассчитанных с помощью модели. Значение коэффициента детерминации высоко, что свидетельствует об адекватности полученной модели и построении на ее основе наиболее точного прогноза.

Пример 2. Метеорологические условия: северный ветер 1–2 м/с, температура 8,8 °С, влажность 82 %.

Кросскорреляционные функции, представленные на рис. 7, показывают мгновенное влияние промвыброса на содержание 1,2-дихлорэтана в жилых кварталах и увеличение содержания этилена в воздухе через 2–3 ч после выброса с организованных источников производства ПВХ.

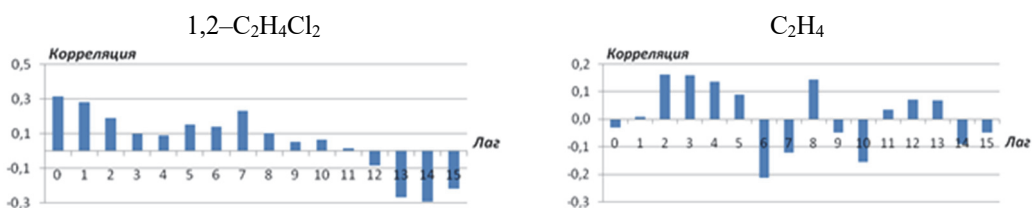


Рис. 7. График кросскорреляционной функции между концентрацией органических веществ на станции и на источнике
 [Figure 7. Graph of the cross-correlation function between the concentration of organic substances at the station and at the source]

Получены следующие модели факторной регрессии.

$$q_{1,2-C_2H_4Cl_2} = 1,68v - 0,37T - 0,18\varphi + 0,0003I_0 + 0,04I_1 + 0,44I_2 + 0,006T\varphi + 0,017vI_0 + 0,017TI_0 + 0,1vT + 0,001\varphi I_0 + 0,023v\varphi + 0,0008I_0I_1 + 0,03vI_1 + 0,002TI_1 - 0,0006\varphi I_1 - 0,004I_1I_2 - 0,18vI_2 - 0,03TI_2 + 0,001\varphi I_2 - 0,0001I_1I_2 - 0,009vTI_0 - 0,0002v\varphi I_0 - 0,0001vI_0I_1 - 0,003vTI_1 + 0,0017vI_0I_2 + 0,01vTI_2 + 0,000001\varphi TI_0I_1. \quad (2)$$

$$q_{C_2H_4} = 0,24v - 0,03T + 0,007\varphi - 0,002I_0 + 0,0007I_1 - 0,0007T\varphi + 0,0003vI_0 + 0,0003TI_0 + 0,008vT + 0,000005\varphi I_0 - 0,006v\varphi + 0,000002I_0I_1 - 0,0006vI_1 - 0,00009TI_1 + 0,000008\varphi I_1 - 0,0001vTI_0 + 0,000006v\varphi I_0 - 0,000001\varphi TI_0 + 0,0004v\varphi T + 0,0000003vI_0I_1 - 0,000004TI_0I_1 + 0,000035vTI_1 - 0,0000002\varphi I_0I_1 + 0,000001v\varphi I_1. \quad (3)$$

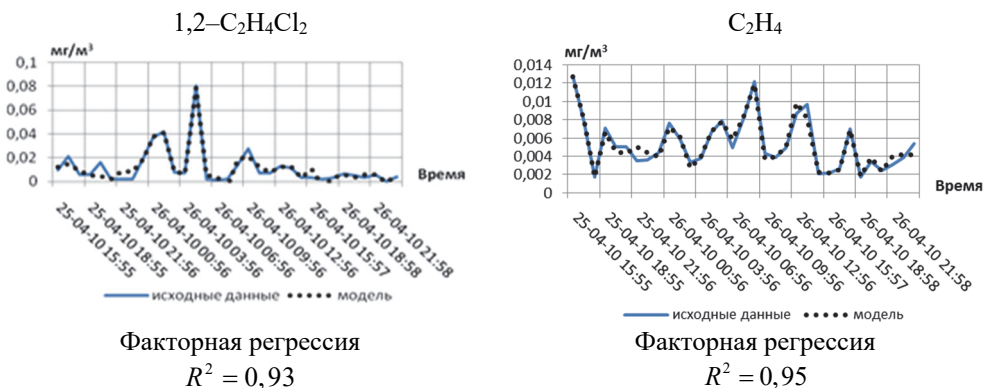


Рис. 8. Сопоставление полученной модели концентрации органических веществ с экспериментальными данными
 [Figure 8. Comparison of the obtained model of the concentration of organic substances with experimental data]

Сопоставимость значений экспериментальных данных и концентраций, полученных с помощью моделей, отражена на рис. 8.

Пример 3. Метеорологические условия: штиль, температура $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, влажность 84% . Согласно кросскорреляционной функции, представленной на рис. 9, в период безветренной погоды влияние выбросов предприятий на содержание метанола в воздухе отмечается через $24\text{--}26\text{ ч}$ после выброса.

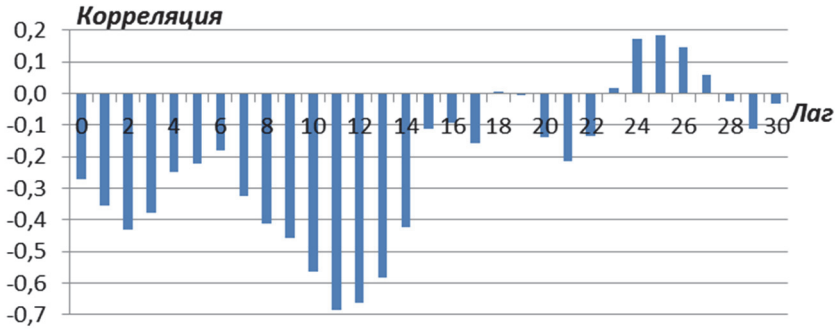


Рис. 9. Кросскорреляционная зависимость между концентрацией метанола на станции и на источнике выброса
 [Figure 9. Graph of the cross-correlation function between the methanol concentration at the station and the emission source]

На основе результатов кросскорреляционной функции получено уравнение факторной регрессии для метанола в период штиля:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{CH}_3\text{OH}_3} = & -1,8T - 0,05\varphi + 4,79I_{24} - 7,9I_{25} - 3,2I_{26} + 0,018T\varphi + 0,3TI_{24} - \\
 & - 0,07\varphi I_{24} - 0,33TI_{25} + 0,065\varphi I_{25} + 0,22I_{24}I_{25} - 0,06TI_{26} + 0,03\varphi I_{26} + \\
 & + 0,12I_{24}I_{26} + 0,32I_{25}I_{26} - 0,004T\varphi I_{24} + 0,002\varphi TI_{25} + 0,01TI_{24}I_{25} - \\
 & - 0,0001\varphi I_{24}I_{25} + 0,0005\varphi TI_{26} + 0,12TI_{25}I_{26} + 0,005TI_{24}I_{26} + 0,008TI_{25}I_{26} - \\
 & - 0,001\varphi I_{25}I_{26} - 0,017I_{24}I_{25}I_{26} - 0,0007TI_{24}I_{25}I_{26}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Графическое отображение полученной модели приведено на рис. 10.



Рис. 10. Зависимость изменения концентрации метанола в атмосферном воздухе в период штиля (на данных Стерлитамака)
 [Figure 10. Comparison of the model of methanol concentration changes in the air of Sterlitamak during the calm period]

Пример 4. Метеорологические условия: штиль, температура –14 °С, влажность 89 %. Согласно кросскорреляционной функции (рис. 11), изменение концентрации 1,2-дихлорэтана в жилой зоне Стерлитамака в период зимнего штиля отмечается после выброса из источника предприятия через 5–7 ч. Как видно, изменение этилена динамично, а время отклика мгновенно.

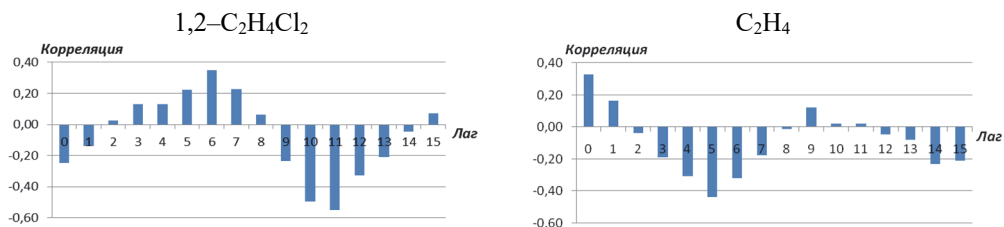


Рис. 11. Зависимости между концентрацией 1,2-дихлорэтана и этилена на станции и на источнике выброса
[Figure 11. Graph of the cross-correlation function between the concentration of 1,2-dichloroethane and ethylene at the station and at the emission source]

Получены следующие уравнения факторной регрессии изменения концентрации 1,2-дихлорэтана и этилена в воздухе в период штиля.

$$\begin{aligned}
 q_{1,2-C_2H_4Cl_2} = & -0,107T + 0,03\varphi - 1,83I_5 - 0,96I_6 - 1,21I_7 + 0,002T\varphi + \\
 & + 0,011TI_6 - 0,001\varphi I_6 - 0,069TI_5 + 0,78I_5I_7 - 0,08TI_7 - 0,004\varphi I_7 + 63I_6I_7 + \\
 & + 0,005\varphi I_5 + 1,22I_5I_6 - 0,0007\varphi TI_6 + 0,02TI_5I_6 - 0,008\varphi I_5I_6 + 0,034TI_6I_7 - \\
 & - 0,303I_5I_6I_7 + 0,038TI_5I_7 - 0,0001\varphi TI_5I_6I_7.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 q_{C_2H_4} = & -5,24T + 0,45\varphi + 0,75I_0 - 0,24I_1 + 0,1I_2 - 0,001TI_0 + 0,004\varphi I_0 + 0,087T\varphi + \\
 & + 0,004I_0I_1 - 0,02TI_1 - 0,00075\varphi I_1 + 0,005I_0I_2 + 0,023TI_2 - 0,005\varphi I_2 + \\
 & + 0,00007I_1I_2 - 0,0002\varphi TI_0 + 0,0001TI_0I_1 - 0,00002\varphi I_0I_1 + 0,000003\varphi TI_1 + \\
 & + 0,0002TI_0I_2 - 0,00003\varphi I_0I_2 - 0,0005\varphi TI_2 - 0,00002I_0I_1I_2 + 0,0002TI_1I_2 + \\
 & + 0,00003\varphi I_1I_2 - 0,000001TI_0I_1I_2.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Сопоставимость модельных и экспериментальных значений высока, что наглядно отражено на рис. 12.

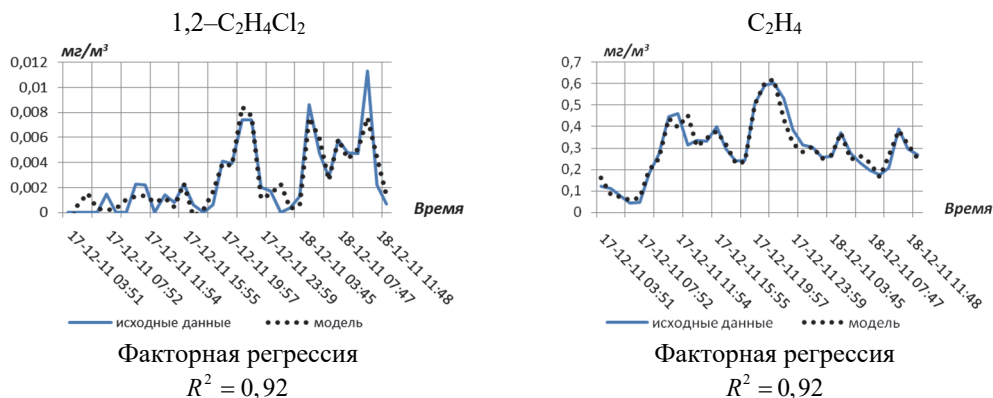


Рис. 12. Сопоставление данных эксперимента, полученных на станции, с данными расчетной модели концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Стерлитамака в период штиля
[Figure 12. Comparison of calculation models of the concentration of organic substances in the atmospheric air of Sterlitamak during the calm period with experimental data obtained at the station]

Заключение

Одновременный контроль комплекса параметров, влияющих на синонимное содержание загрязняющих веществ в воздухе, необходим с целью обеспечения населения города благоприятными условиями для жизни. Для дальнейшего совершенствования существующей системы мониторинга атмосферного воздуха промышленных центров проведен анализ данных, зафиксированных на АСКАВ. Математическая обработка статистических данных позволила получить модели, с наибольшей степенью точности описывающие изменение концентрации загрязняющих веществ в воздухе. Приведенные модели факторной регрессии имеют высокие значения коэффициентов детерминации, что говорит о высокой степени сложности динамических процессов, происходящих в условиях непрерывного антропогенного загрязнения в атмосферном воздухе.

Список литературы

- [1] Пат. 2498359 Рос. Федерация. 2012129628/28. Способ контроля загрязнения атмосферного воздуха / Сафарова В.И.; заявл. 12.07.2012; опублик. 10.11.2013. Бюл. № 31 7 с. URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/495/2498359/patent-2498359.pdf> (дата обращения: 13.05.2014).
- [2] Баладурич Б.А., Шапошников С.В., Дзюладзе Э.Э. Внедрение систем контроля аварий и оповещения на химически опасных объектах г. Москвы // Технологии техносферной безопасности. 2007. № 1 (11). С. 10.
- [3] Гизатуллин А.Р. Методология мониторинга состояния окружающей среды с применением автоматизированных станций контроля атмосферного воздуха // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 1 (5). С. 38–41.
- [4] Сересева О.В., Рапуца В.Ф., Ярославцева Т.В., Медвяцкая А.М., Глотов П.В. Анализ данных сетевых наблюдений субмикронных аэрозолей в атмосферном воздухе г. Новосибирска // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 2. № 4. С. 37–47.
- [5] Волкодаева М.В., Киселев А.В. О развитии системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 589–596.
- [6] Сафаров А.М., Коноплева С.Н., Сафарова А.М. Разработка подходов к организации мониторинга качества атмосферного воздуха (на примере Республики Башкортостан) // Журнал экологии и промышленной безопасности, 2012. № 3–4. С. 115–116.
- [7] Сафаров А.М., Коноплева С.Н., Исачкина Л.Я., Сафарова В.И. Обеспечение экологического мониторинга качества воздушного бассейна Республики Башкортостан // Нефтегазовое дело. 2013. № 4. С. 436–447. URL: http://www.ogbus.ru/authors/SafarovAM/SafarovAM_4.pdf (дата обращения: 03.05.2014).
- [8] Афанасьева Е.С., Сафаров А.М., Шайдулина Г.Ф. Построение моделей изменения концентрации веществ в атмосферном воздухе (на примере г. Стерлитамака) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. Пенза, 2018. С. 54–56.
- [9] Афанасьева Е.С., Сафаров А.М., Сафарова В.И., Шайдулина Г.Ф. Математическая оценка изменения концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в условиях влияния нефтехимических предприятий // Экология урбанизированных территорий. 2014. № 4. С. 40–45.
- [10] Шеховцов А.А. Анализ данных для разработки экологических показателей, связанных с состоянием атмосферного воздуха и воздействием антропогенных источников загрязнения // Охрана окружающей среды и природопользование. 2013. № 1. С. 12–22.

- [11] *Asfandiarova L.R., Panchenko A.A., Yamlikhanova E.A., Yunusova G.V.* Environmental analysis of contaminants in the air basin of an industrial city (the case of nitrogen oxides in Sterlitamak, Bashkortostan) // *Tyumen State University Herald*. 2013. No. 12. Pp. 152–157.
- [12] *Асфандиярова Л.Р., Даминев Р.Р., Васильев А.В., Панченко А.А., Юнусова Г.В.* Анализ выбросов в воздушную среду в условиях городских территорий на примере Республики Башкортостан и Самарской области // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. Т. 18. № 5–3. С. 512–519.
- [13] *Бикбулатов И.Х., Асфандиярова Л.Р., Панченко А.А., Юнусова Г.В., Ямлиханова Е.А.* Определение перечня загрязняющих веществ для постоянного контроля их содержания в атмосферном воздухе г. Стерлитамак // *Башкирский химический журнал*. 2013. Т. 20. № 4. С. 79–82.
- [14] *Elbir T., Kara M., Bayram A., Altioğ H., Dumanoglu Y.* Comparison of predicted and observed PM10 concentrations in several urban street Canyons // *Air Quality, Atmosphere and Health*. 2011. Vol. 4. No. 2. Pp. 121–131.
- [15] *Nomura S., Mukai H., Terao Y., Machida T., Nojiri Y.* Six years of atmospheric CO2 observations at Mt. Fuji recorded with a battery-powered measurement system // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2017. Vol. 10. No. 2. Pp. 667–680.
- [16] *Yazidi A.E., Ramonet M., Ciais P., Broquet G., Pison I., Abbaris A., Delmotte M., Hazzan L., Kachroudi N., Rivier L., Brunner D., Conil S., Gheusi F., Guerin F., Serça D., Kouvarakis G., Mihalopoulos N.* Identification of spikes associated with local sources in continuous time series of atmospheric CO, CO₂ and CH₄ // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2018. Vol. 11. No. 3. Pp. 1599–1614.
- [17] *Подрезов О.А., Подрезов А.О., Рязанов В.Е.* Загрязнение атмосферного воздуха Бишкека в зимний сезон 2017–2018 гг. // *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета*. 2018. Т. 18. № 12. С. 126–133.
- [18] *Lyubchich V.* Detecting time series trends and their synchronization in climate data // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2016. № 12. С. 132–137.
- [19] *Bratus O.* Development of adaptive moving two-sided exponential smoothing method for restoring and forecasting of time series // *Eureka: Physics and Engineering*. 2017. No. 5. Pp. 13–21.
- [20] *Oprisan S.A., Canavier C.C., Thirumalai V.* Dynamics from a time series: can we extract the phase resetting curve from a time series? // *Biophysical Journal*. 2003. Vol. 84. No. 5. Pp. 2919–2928.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 22.11.2019

Дата принятия к печати: 08.12.2019

Для цитирования:

Кулакова Е.С., Сафаров А.М., Насырова Л.А., Мизгирев Д.С. Получение и использование данных оперативного мониторинга атмосферного воздуха // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2019. Т. 27. № 4. С. 337–352. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2019-27-4-337-352>

Сведения об авторах:

Кулакова Екатерина Сергеевна – ассистент кафедры «Автоматизированные информационные и технологические системы», Уфимский государственный нефтяной технический университет (филиал в г. Стерлитамаке). eLIBRARY SPIN-код: 2576-4516. E-mail: Kulakova87@list.ru

Сафаров Айрат Муратович – доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная экология», Уфимский государственный нефтяной технический университет. eLIBRARY SPIN-код: 7372-1758. E-mail: safa-rov_a_m@mail.ru

Насырова Лилия Алсыновна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная экология», Уфимский государственный нефтяной технический университет. eLIBRARY SPIN-код: 5225-8186. E-mail: lilian_74@mail.ru

Мизгирев Дмитрий Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, Волжский государственный университет водного транспорта. eLIBRARY SPIN-код: 4787-0332. E-mail: mizgirevds@yandex.ru

Research article

Obtaining and using data of operational monitoring of atmospheric air

Ekaterina S. Kulakova¹, Ayrat M. Safarov¹,
Liliya A. Nasyrova¹, Dmitry S. Mizgirev²

¹Ufa State Petroleum Technical University
1 Kosmonavtov St, Ufa, 450062, Russian Federation

²Volga State University of Water Transport
5 Nesterova St, Nizhny Novgorod, 603951, Russian Federation

Abstract. In order to control the chemical composition of atmospheric air in cities located in the zone of influence of petrochemical enterprises, automatic atmospheric air monitoring stations (ASKAV) are installed. For the effective use of experimental data, the authors of the article developed a data collection system with ASKAV, in which the air control in residential quarters and the gas mixture at the source of organized emissions are synchronized. The analysis of data on the concentration of pollutants in the atmospheric air of the Sterlita-mak obtained from ASKAV, on the basis of which a list of marker substances for enterprises of the city was compiled. Priority sources of air pollution with marker substances during a different wind regime were identified. The authors developed models for changing the concentration of marker substances in the air using the method of factor regression. Based on the results of the cross-correlation function, the time of movement of the contaminated gas cloud from the source of emission to the residential area of the city is obtained. Conclusions are made about the effectiveness of the developed air monitoring system and the field of application of the acquired models.

Keywords: atmospheric air, marker substances, time series, factor regression, automatic station for monitoring atmospheric air

References

- [1] Safarova VI. *Sposob kontrolya zagryazneniya atmosfernogo vozdukha*. Pat. 2498359 Ros. Federatsiya. 2012129628/28; zayavl.12.07.2012; opubl.10.11.2013. Byul. No. 31. Available from: <http://www.freepatent.ru/images/patents/495/2498359/patent-2498359.pdf> (accessed: 13.05.2014).
- [2] Baladurin BA, Shaposhnikov SV, Dzneldze EE. Vnedrenie system kontrolya avarii I opoveshcheniya na khimicheskiopasnykh ob"ektakh g. Moskvy. *Tekhnologii tehnosfernoi bezopasnosti*. 2007;1(11):10.

- [3] Gizatullin AR. Metodologiya monitoring sostoyaniya okruzhayushchei sredy s primeneniem avtomatizirovannykh stantsii kontrolya atmosfernogo vozdukha. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii*. 2016;1(5):38–41.
- [4] Sereseva OV, Raputa VF, Yaroslavtseva TV, Medvyatskaya AM, Glotov PV. Analiz dannykh setevykh nablyudenii submikronnykh aerozolei v atmosfernom vozduke g. Novosibirsk. *Interespo Geo-Sibir'*. 2018;2(4):37–47.
- [5] Volkodaeva MV, Kiselev AV. O razvitiu sistemy ekologicheskogo monitoringa kachestva atmosfernogo vozdukha. *Zapiski Gornogo instituta*. 2017;227:589–596.
- [6] Safarov AM, Konopleva SN, Safarova AM. Razrabotka podkhodov k organizatsii monitoring kachestva atmosfernogo vozdukha (na primere Respubliki Bashkortostan). *Zhurnal ekologii i promyshlennoi bezopasnosti*. 2012;(3–4):115–116.
- [7] Safarov AM, Konopleva SN, Isachkina LYa, Safarova VI. Obespechenie ekologicheskogo monitoring kachestva vozdukhogo basseina Respubliki Bashkortostan. *Neftegazovoe delo*. 2013;(4):436–447. Available from: http://www.ogbus.ru/authors/SafarovAM/SafarovAM_4.pdf (accessed: 03.05.2014).
- [8] Afanas'eva ES, Safarov AM, Shaidulina GF. Postroenie modelei izmeneniya kontsentratsii veshchestv v atmosfernom vozduke (na primere g. Sterlitamaka). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki*. Penza; 2018. p. 54–56.
- [9] Afanas'eva ES, Safarov AM, Safarova VI, Shaidulina GF. Matematicheskaya otsenka izmeneniya kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozduke v usloviyakh vliyaniya neftekhimicheskikh predpriyatii. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. 2014;(4):40–45.
- [10] Shekhovtsov AA. Analiz dannykh dlya razrabotki ekologicheskikh pokazatelei, svyazannykh s sostoyaniem atmosfernogo vozdukha ivozdeistviem antropogennykh istochnikov zagryazneniya. *Okhrana okruzhayushchei sredy i prirodopol'zovanie*. 2013;(1):12–22.
- [11] Asfandiarova LR, Panchenko AA, Yamlikhanova EA, Yunusova GV. Environmental analysis of contaminants in the air basin of an industrial city (the case of nitrogen oxides in Sterlitamak, Bashkortostan). *Tyumen State University Herald*. 2013;(12):152–157.
- [12] Asfandiyarova LR, Daminev RR, Vasil'ev AV, Panchenko AA, Yunusova GV. Analiz vybrosov v vozdukhnuyu sredu v usloviyakh gorodskikh territorii na primere Respubliki Bashkortostan i Samarskoi oblasti. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2016;18(5–3):512–519.
- [13] Bikbulatov IKh, Asfandiyarova LR, Panchenko AA, Yunusova GV, Yamlikhanova EA. Opredelenie perechnya zagryaznyayushchikh veshchestv dlya postoyannogo kontrolya ikh sodержaniya v atmosfernom vozduke g. Sterlitamak. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*. 2013;20(4):79–82.
- [14] Elbir T, Kara M, Bayram A, Altioek H, Dumanoglu Y. Comparison of predicted and observed PM10 concentrations in several urban street Canyons. *Air Quality, Atmosphere and Health*. 2011;4(2):121–131.
- [15] Nomura S, Mukai H, Terao Y, Machida T, Nojiri Y. Six years of atmospheric CO₂ observations at Mt. Fuji recorded with a battery-powered measurement system. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2017;10(2):667–680.
- [16] Yazidi AE, Ramonet M, Ciais P, Broquet G, Pison I, Abbaris A, Delmotte M, Hazan L, Kachroudi N, Rivier L, Brunner D, Conil S, Gheusi F, Guerin F, Serça D, Kouvarakis G, Mihalopoulos N. Identification of spikes associated with local sources in continuous time series of atmospheric CO, CO₂ and CH₄. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2018;11(3):1599–1614.
- [17] Podrezov OA, Podrezov AO, Ryazanov VE. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukha Bishkeka v zimnii sezon 2017–2018 gg. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo slavyanskogo universiteta*. 2018;18(12):126–133.
- [18] Lyubchich V. Detecting time series trends and their synchronization in climate data. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. 2016;(12):132–137.

- [19] Bratus O. Development of adaptive moving two-sided exponential smoothing method for restoring and forecasting of time series. *Eureka: Physics and Engineering*. 2017; (5):13–21.
- [20] Oprisan SA, Canavier CC, Thirumalai V. Dynamics from a time series: can we extract the phase resetting curve from a time series? *Biophysical Journal*. 2003;84(5):2919–2928.

Article history:

Received: 22.11.2019

Revised: 08.12.2019

For citation:

Kulakova ES, Safarov AM, Nasyrova LA, Mizgirev DS. Obtaining and using data of operational monitoring of atmospheric air. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2019; 27(4):337–352. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2019-27-4-337-352>

Bio notes:

Ekaterina S. Kulakova – Assistant of the Department of Automated Information and Technological Systems, Ufa State Petroleum Technical University. eLIBRARY SPIN-code: 2576-4516. E-mail: Kulakova87@list.ru

Ayrat M. Safarov – Dr.Sci. in Engineering Science, Professor of the Department of Applied Ecology, Ufa State Petroleum Technical University. eLIBRARY SPIN-code: 7372-1758. E-mail: safarov_a_m@mail.ru

Liliya A. Nasyrova – Ph.D in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Applied Ecology, Ufa State Petroleum Technical University. eLIBRARY SPIN-code: 5225-8186. E-mail: lilian_74@mail.ru

Dmitry S. Mizgirev – Ph.D in Engineering Science, Professor, Department of Hoisting-and-Transport Machines and Machine Repair, Volga State University of Water Transport. eLIBRARY SPIN-code: 4787-0332. E-mail: mizgirevds@yandex.ru