



АНАЛИЗ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ГОРОДА

Н.Н. Жижин, М.С. Дьяков, М.Б. Ходяшев

Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем, Россия, 614039, г. Пермь, Комсомольский проспект, 61а

На примере г. Перми, основываясь на опыте использования системы динамического нормирования, проведен анализ, показаны достоинства и недостатки управления качеством воздуха с использованием унифицированных программ расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА). Проанализированы методологические источники завышенных эмиссии при инвентаризации выбросов стационарных источников, которые не позволяют использовать результаты расчетов рассеивания для управления качеством воздуха. На основании анализа литературных источников и опыта использования УПРЗА предложено отказаться от использования УПРЗА для оперативного управления качеством воздуха, а рассчитывать рассеивание примесей программными средствами, опробованными в мире и находящимися в свободном доступе, которые позволяют моделировать реальные метеоусловия с использованием информации о профиле ветра и температуре воздуха по высоте.

Для управления качеством воздуха за счет идентификации источников повышенного загрязнения атмосферы обоснована необходимость использования при моделировании рассеивания токсикантов не только информации от наземных метеостанций, но и данных о температуре и скорости ветра по высоте нижней тропосферы. Предложено использовать для адекватного расчета приземных концентраций следующую информацию: результаты непрерывного контроля источников выбросов в атмосферу, которые будут поступать от средств измерения выбросов в соответствии с принятыми в 2018 г. изменениями в законодательстве; данные о скорости движения автотранспорта и фиксации состава транспортных потоков, пересчитанные в выбросы от автодорог; данные приземных концентраций примесей, включая сероводород и меркаптаны, которые следует измерять на постах мониторинга окружающей среды с периодичностью не более 60 минут; профили температуры, направления и скорости ветра по высоте.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, мониторинг атмосферного воздуха, посты наблюдения, нормирование выбросов, непрерывный автоматический контроль, серосодержащие соединения, экологическое моделирование, зондирование атмосферы.

Основным механизмом управления качеством атмосферного воздуха в настоящее время согласно законодательству Российской Федерации, прежде всего в соответствии с Федеральным законом № 96-ФЗ от 04.05.1999 г. «Об охране атмосферного воздуха»¹, является нормирование выбросов. Для этого юридические лица, имеющие источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, проводят инвентаризацию выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и их источников в порядке, установленном правительством Российской Федерации.

Инвентаризация, по логике законодательства, должна выявлять и учитывать все возможные ис-

точники выделения и выброса загрязняющих веществ в атмосферу, а также вредные вещества, которые могут выделяться или образовываться при осуществлении всех процессов в соответствии с технологическим регламентом производства. Кроме того, при нормировании выбросов должно учитываться фоновое загрязнение, создаваемое совокупностью всех источников и рассчитанное на основе данных инструментальных измерений на постах Росгидромета.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации № 183 от 2 марта 2000 г. «О нормировании выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физиче-

© Жижин Н.Н., Дьяков М.С., Ходяшев М.Б., 2019

Жижин Николай Николаевич – ведущий инженер (e-mail: Nikolay@zhizh.in; тел.: 8 (922) 242-15-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0876-8968>).

Дьяков Максим Сергеевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе (e-mail: dyakov@ecology.perm.ru; тел.: 8 (342) 281-85-02; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0750-4992>).

Ходяшев Михаил Борисович – кандидат химических наук, заместитель директора по технологическому развитию (e-mail: hodyashevmb@ecologyperm.ru; тел.: 8 (342) 281-84-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4124-0687>).

¹ Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон № 96-ФЗ от 04.05.1999 г. (ред. от 26.07.2019) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ (дата обращения: 03.12.2019).

ских воздействий на него»², при определении нормативов выбросов применяются методы расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, в том числе методы сводных расчетов для территории городских и иных поселений.

Расчеты рассеивания выполняются по данным инвентаризации в унифицированных программах расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА), позволяющих рассчитывать поля приземной концентраций загрязняющих веществ. Средства УПЗА, помимо нормирования, стали инструментом выбора точек и примесей для контроля загрязнения атмосферы [1–3]. Кроме того, результаты расчетов УПРЗА используются в геоинформационных технологиях для социально-гигиенического мониторинга окружающей среды и здоровья населения [4].

Об эффективности использования сводных расчетов при нормировании выбросов свидетельствует практический опыт ряда регионов России, в том числе в Пермском крае, где применение данного метода было начато в 1994 г. [5]. Опыт применения сводных расчетов рассеивания в Прикамье в 2000–2010 гг. был распространен на другие регионы согласно приказу Госкомэкологии Российской Федерации № 66 от 16.02.1999 г.³. В крае была создана «Система динамического анализа состояния атмосферы и нормирования выбросов загрязняющих веществ предприятий города Перми» (система «Лада»). Многолетний опыт функционирования системы динамического нормирования в Пермском крае (1994–2010) показал эффективность данной методологии как для природопользователей – абонентов системы, так и для контролирующих органов.

Система «Лада», с одной стороны, позволяла природопользователям динамически, при изменениях в производственных процессах, обосновывать изменение предельно допустимых выбросов (ПДВ) для источников. С другой стороны, она позволяла природоохранным органам реагировать на жалобы граждан и неблагоприятные метеоусловия, управляя качеством воздуха на базе анализа результатов расчета рассеивания для конкретных метеоусловий за счет наличия актуальной информации о выбросах предприятий.

Вместе с тем опыт функционирования системы «Лада» в Перми, помимо эффективности, обнаружил ряд недостатков. Во-первых, ограниченное число постов государственной сети мониторинга приземного воздуха не позволяет полно учитывать фоновое загрязнение, что снижает эффективность нормирования и управления. Следует заметить, что недостаточная плотность сети мониторинга отмечается для

большинства регионов [6]. Во-вторых, сложившееся расположение постов контроля загрязнения приземного воздуха не позволяет идентифицировать выбросы стационарных источников промышленных предприятий при соответствующих направлениях ветров.

Места расположения некоторых постов остаются неизменными на протяжении 30 лет, но развитие городской среды и хозяйственной деятельности привели к тому, что расположенные ранее на хорошо проветриваемых участках местности стационарные посты оказались на «закрытых» участках, вблизи высоких зданий, источников низких выбросов. Например, пост № 17 по улице Свйазева, 52, в Индустриальном районе Перми устанавливался в 80-е гг. прошлого века на границе жилой застройки на подветренной стороне от промышленного узла «Осенцы». Сейчас вблизи данного поста расположена автодорога с интенсивным движением, с высокой локальной концентрацией токсикантов, выбрасываемых автотранспортом. В результате информация, получаемая на посту, уже не может быть использована для мониторинга влияния промышленного узла «Осенцы» на загрязнение воздуха в городе.

В-третьих, используемая в системе «Лада» методика ОНД-86, реализованная в программном пакете УПРЗА «Эколог–город», предназначена для нормирования выбросов в атмосферу. Расчет производится либо для перебора метеопараметров, либо для одного направления и скорости ветра. При таком методе расчета невозможно использовать историю изменения направления ветра, информацию о направлении и скорости ветра по высоте (профиль ветра) и температурный профиль атмосферы. Вместе с тем на сегодня имеется возможность измерения профиля ветра и температурного профиля атмосферы в городе [7].

В результате невозможности использования «Ладой» полной исходной информации расчетные вклады источников загрязнения атмосферы в реальную концентрацию на постах контроля определялись лишь приблизительно, расчетные концентрации не соответствовали реально измеренным. Полученные данные не позволяли однозначно идентифицировать источники повышенного загрязнения воздуха и, следовательно, не давали возможности сформировать полноценные и адекватные управляющие воздействия.

С прекращением в 2007 г. функционирования системы динамического нормирования в г. Перми стало невозможно обеспечить даже частичное управление качеством воздуха. В настоящее время осуществляется только измерение загрязнения воздуха

² О нормировании выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него: постановление правительства Российской Федерации № 183 от 2 марта 2000 г. (ред. от 22.04.2009 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/dokumenty/rf/228670/> (дата обращения: 03.12.2019).

³ О применении системы сводных расчетов при нормировании выбросов: приказ Госкомэкологии Российской Федерации № 66 от 16.02.1999 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901729767> (дата обращения: 03.12.2019).

силами Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС).

По данным Пермского ЦГМС в Перми функционируют семь постов мониторинга приземного воздуха [8], расположение которых отображено на рис. 1. Перечень контролируемых на постах загрязнений указан в табл. 1, в которой номера постов соответствуют номерам, обозначенным на рис. 1.

Согласно области аккредитации Пермского ЦГМС «РОСС RU.0001.512591»⁴; загрязняющие вещества анализируются методами в диапазонах, указанных в табл. 2. Методы измерения концентрации всех веществ, за исключением монооксида углерода и хлора, предполагают лабораторный анализ проб загрязняющих веществ, отобранных на поглотители. Таким образом, существующая система мониторинга не позволяет непрерывно получать информацию о загрязнении приземного воздуха.

Ввиду прекращения динамического нормирования выбросов в атмосферу поступление актуальной информации о выбросах предприятий также прекратилось, а данные, направляемые раз в пять лет для обоснования нормативов ПДВ, не могут использоваться для моделирования реального загрязнения атмосферы. Это отчасти объясняет существенные расхождения

между расчетными и натурными данными. Складываящуюся ситуацию поясним на примере нефтеперерабатывающего завода, расположенного в Перми.

Как показывают данные инвентаризации предприятия, выбросы от источников загрязнения атмосферы, определяемые в основном инструментальными методами, значительно изменяются при неизменности технологического процесса и нормальной, регламентной эксплуатации объектов. Такая изменчивость объясняется гибкостью нефтепереработки, которая позволяет при минимизации издержек удовлетворять меняющийся рыночный спрос на широкий спектр нефтепродуктов с учетом изменяющегося состава сырья. Например, выбросы SO₂, NO_x дымовых труб технологических печей могут в разы меняться ввиду широких диапазонов регламентных изменений состава топлива (которое производится на заводе), расхода и состава нагреваемых в печах потоков. Это объясняется многими факторами, например, изменением доли используемого жидкого топлива при недостатке теплотворной способности газового топлива. Изменение загрузки производственных процессов вызывает изменение направления движения промежуточных потоков, что, в свою очередь, ведет к изменению состава газового топлива технологических печей и т.п.



Рис. 1. Схема расположения постов наблюдения за загрязнением атмосферы г. Перми

⁴ Подтверждение компетентности ПКЗ-100 от 08.11.2019 г. [Электронный ресурс] // Сайт Федеральной службы по аккредитации. – URL: <https://pub.fsa.gov.ru/ral/view/6754/current-aa> (дата обращения: 05.12.2019).

Таблица 1

Перечень загрязнений, контролируемых в Перми на постах мониторинга

Контролируемое вещество	№ поста, выполнение анализа						
	12	13	14	16	17	18	20
Сернистый ангидрид	X			X	X		X
Азота диоксид	X	X	X	X	X	X	X
Углерода оксид	X	X	X	X	X		X
Аммиак	X	X	X	X	X	X	
Формальдегид	X	X	X	X	X	X	
Ксилолы	X	X	X	X	X	X	
Толуол		X	X	X	X	X	
Бензол		X	X	X	X	X	
Этилбензол	X	X	X	X	X	X	
Фенол	X		X	X	X	X	X
Сероводород					X	X	
Металлы (марганец, медь, никель, свинец, хром, цинк, кадмий, железо)			X		X		
Водород хлористый	X		X	X		X	X
Хлор						X	
Водород фтористый	X		X			X	
Взвешенные вещества	X	X		X		X	
Оксид азота			X	X			

Таблица 2

Перечень загрязняющих веществ, методов и диапазонов определения (согласно области аккредитации Пермского ЦГМС)

Определяемый показатель	Документы, устанавливающие правила и методы исследований, измерений	Диапазон определения, мг/м ³
Сернистый ангидрид	РД 52.04.822-2015	0,0025–8,0
Азота диоксид	РД 52.04.792-2014	0,021–4,3
Углерода оксид	Газоанализатор «Элан», руководство по эксплуатации ЭКИТ 5.940.000РЭ	0,6–50,0
Аммиак	РД 52.04.791-2014	0,02–5,0
Формальдегид	РД 52.04.824-2015	0,01–0,3
Ксилолы	РД 52.04.838-2015	0,02–5,0
Толуол		0,02–5,0
Бензол		0,02–5,0
Этилбензол		0,01–5,0
Фенол	РД 52.04.799-2014	0,003–0,1
Сероводород	РД 52.04.795-2014	0,006–0,1
Водород хлористый	РД 52.04.793-2014	0,04–2,0
Хлор	Газоанализатор «Элан», руководство по эксплуатации экит 5.940.000РЭ	1,0–10,0
Водород фтористый	РД 52.04.797-2014	0,002–0,2
Взвешенные вещества	РД 52.04.186-89 ч. 1 п. 5.2.6	0,26–50,0
Оксид азота	РД 52.04.792-2014	0,028–2,8
Хром	РД 52.04.186-89 ч. 1 п. 5.2.5.2	0,01–1,5
Свинец		0,06–1,5
Марганец		0,01–1,5
Никель		0,01–1,5
Цинк		0,01–1,5
Медь		0,01–1,5
Железо		0,01–1,5
Кадмий		0,002–0,24

Изменчивость выбросов характерна не только для нефтепереработки, но и для других крупных производств. Однако существующая в настоящее время система нормирования не позволяет учитывать возможные изменения выбросов, что заставляет природопользователей завышать нормативы выбросов с целью минимизации рисков нарушения ПДВ.

Стремясь учесть изменчивость выбросов на будущий период, природопользователи при разработке нормативов устанавливают ПДВ на максимальном уровне для максимального количества источников. Поэтому из большого количества данных замеров в отчет об инвентаризации включаются максимальные выбросы. В результате, даже если в реальности предельный выброс осуществляют не

более чем десять процентов источников, при расчете рассеивания моделируется ситуация, вероятность наступления которой близка к нулю, когда максимальное количество, а в идеале – все источники выбросов, работают при максимальном выбросе загрязняющих веществ.

Описанная ситуация завышения нормативов помимо изменчивости выбросов обусловлена следующими недостатками нормирования:

– во-первых, так как нормативы устанавливаются на будущий период на основании прошлых измерений выбросов, то по сути при инструментальных методах контроля необходимо предсказывать повторение ранее зафиксированных режимов работы, что является трудоемкой, а иногда – невыполнимой задачей;

– во-вторых, даже при адекватном предсказании выбросов учесть в расчете рассеивания все варианты допустимых выбросов не представляется возможным, так как количество вариантов – сочетаний выбросов, которое необходимо смоделировать при большом числе источников, – стремится к бесконечности. Последнее утверждение проиллюстрируем следующим примером.

Предположим, на промплощадке предприятия имеются две технологические печи, через трубы которых могут выбрасываться оксиды азота (NO_x) массой до 5 г/с. Изменения выбросов обусловлены изменениями расхода топлива, которое вызвано изменениями расхода нагреваемых потоков углеводородов. Возможные сочетания выбросов печей соответствуют точкам, расположенным внутри квадратной области, ограниченной координатной сеткой, приведенной на рис. 2 с размерами 5×5 г/с. Допустим, что предприятие расположено в местности, где высокие фоновые концентрации NO_x не позволяют обеспечить соблюдение санитарных норм качества воздуха на границе и за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) при максимальном выбросе 5 г/с двух печей.

Тогда при разработке нормативов ПДВ для данного предприятия область возможных выбросов должна быть ограничена некоторой линией и осями координат. Данная область ниже по тексту именуется «допустимой областью». Для двух источников выбросов граница допустимой области может быть ограничена линией, обозначенной на рис. 2 «*max*». Границы данной допустимой области определяются серией расчетов рассеивания УПЗА по стандартной методике⁵.

Существующая система нормирования предписывает выбор единственного сочетания выбросов для примера, представленного на рис. 2: точкой «ПДВ» с координатами 2,5; 2,0 г/с. Причем сово-

купность точек, лежащих в областях, ограниченных на рис. 2 координатами 2,5; 2,0 г/с и линией «*max*», соответствует фактически допустимым выбросам, которые при существующей системе нормирования считаются нарушениями.

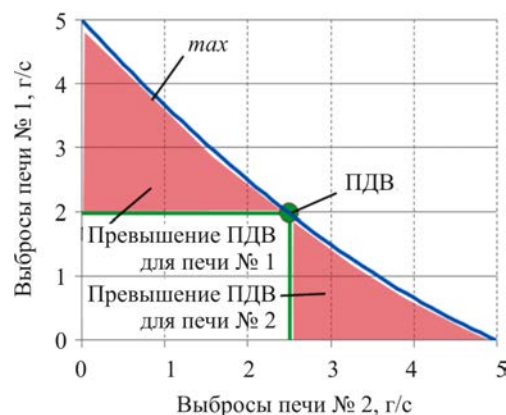


Рис. 2. Графическое отображение сочетаний выбросов двух источников загрязнений

Применяя данную логику к трем источникам выбросов, получим допустимую область и точку, соответствующую ПДВ в трехмерной системе координат. В реальности количество только дымовых труб на нефтеперерабатывающем заводе может превышать несколько десятков, что при аналогичных рассуждениях приводит n -мерному представлению допустимых сочетаний выбросов и нормативов ПДВ.

В результате, несмотря на теоретическую возможность разработки ПДВ с большим количеством сочетаний выбросов, разработчики предпочитают максимально завысить ПДВ, но ограничиться одним вариантом расчета рассеивания. Таким образом, достоверные данные инвентаризации отдельных источников загрязнения атмосферы, предоставляемые для обоснования нормативов, не позволяют судить о реальных выбросах предприятия и в целом адекватно рассчитывать приземные концентрации, устанавливать источники повышенного загрязнения атмосферы. Это в конечном итоге не позволяет природоохранным органам принимать обоснованные решения по управлению качеством атмосферного воздуха.

Обеспечение соблюдения санитарных норм качества атмосферного воздуха остается одной из важнейших задач во всем мире, включая Россию [9]. По данным Всемирной организации здравоохранения свыше 92 % жителей планеты проживают на территориях с уровнем загрязнения атмосферного воздуха, превышающем официальные пределы безопасности [10], поэтому со временем задача раз-

⁵ Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Минприроды России (Министерство природных ресурсов и экологии РФ) № 273 от 06 июня 2017 г. [Электронный ресурс] // Гарант: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/> (дата обращения: 03.12.2019).

вития средств мониторинга и управления качеством воздуха становится только актуальнее [11–13].

Предлагаемые средства мониторинга и управления. Учитывая вышеописанные недостатки системы нормирования и мониторинга, для начала функционирования системы управления качеством воздуха любого промышленного центра представляется необходимым выполнить следующие задачи:

1. Обеспечить систему мониторинга максимально детальной и оперативной информацией о выбросах предприятий и автотранспорта.

2. Обеспечить систему мониторинга информацией, непрерывно поступающей со стационарных постов мониторинга, о приземных концентрациях загрязняющих веществ, выбрасываемых расположенными в регионе предприятиями, включая дурно пахнущие вещества (сероводород, меркаптаны и т.д.).

3. Обеспечить систему мониторинга актуальной информацией о температурах, направлениях и скоростях ветра до высоты 1000 м.

4. Использовать при мониторинге методы и математический аппарат, уже опробованный в мировой практике для моделирования рассеивания загрязняющих веществ. Причем методы расчета, используемые для нормирования, в том числе для сводных расчетов рассеивания, не годятся для оперативного мониторинга, так как рассчитывают максимальные концентрации при наихудших сочетаниях метеорологических параметров и не позволяют учитывать ветер переменной скорости и направления, меняющийся в различных слоях атмосферы.

Продвинуться в решении задачи 1 позволит оснащение средствами непрерывного контроля источников выбросов объектов негативного воздействия 1-й категории в соответствии принятыми в 2018 г. изменениями в законодательстве Российской Федерации⁶.

Следует заметить, что наличие в системе мониторинга информации о выбросах основных вкладчиков в суммарный выброс SO₂, NO_x, CO, выбрасываемых дымовыми трубами печей, – высот-

ными источниками – вероятнее всего, позволит использовать выбросы данных веществ как индикаторы для настройки моделей рассеивания примесей. Сделать определенный вывод о достаточности информации, поступающей непрерывно от контролируемых источников, будет возможно только после выполнения задач 2–4.

Оценка нефтеперерабатывающего предприятия по критериям оснащения приборами учета, описанным в распоряжении правительства Российской Федерации № 262 и № 428-р от 13.03.2019 г.⁷ показывает, что приборами непрерывного контроля должны быть оснащены дымовые трубы технологических печей, являющиеся вкладчиками 80 %масс. выбросов в атмосферу таких загрязняющих веществ, как SO₂, NO_x, CO. Однако согласно предварительной оценке, в масштабах всего предприятия датчиками будет непрерывно контролироваться не более 47 %масс. от суммарных выбросов. Таким образом, при выполнении упомянутых распоряжений Правительства данные о выбросах источников, вносящих 53 % вклада в суммарное загрязнение атмосферы, останутся вне непрерывного мониторинга. Вне мониторинга остаются также источники выбросов дурно пахнущих веществ (сероводород, меркаптаны и др.), на которые приходится основное количество жалоб населения.

Многие авторы отмечают, что автотранспорт стал в последние годы основным вкладчиком в загрязнение городов [14], поэтому не может не учитываться в системе мониторинга. Для учета выбросов автотранспорта может быть использована методика непрерывного мониторинга выбросов при непрерывном измерении транспортных потоков города, опробованная в Санкт-Петербурге⁸. Для измерения могут быть использованы данные о скорости движения, отображаемые в интернет-ресурсах, подобных ресурсу «Яндекс. Пробки». Причем данные о скорости движения автотранспорта могут быть привязаны к информации о количестве и видах транспорта, получаемой при видеорегистрации с использованием алгоритмов распознавания образов⁹ [15].

⁶ О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и статьи 1 и 5 Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации» в части создания систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ: Федеральный закон № 252-ФЗ от 29.07.2018 г. (последняя редакция) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_303483/ (дата обращения: 04.12.2019).

⁷ Виды технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, стационарные источники выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ которых подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду: распоряжение правительства Российской Федерации № 428-р от 13.03.2019 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rulings.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-13.03.2019-N-428-r/> (дата обращения: 04.12.2019).

⁸ Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга / утв. распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга № 23-р от 17.02.2012 г. – СПб., 2012. – 46 с.

⁹ Кузьмин Д.М. Технология и методы интеллектуального мониторинга автотранспортных потоков и состояния автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 191 с.

Для продвижения в выполнении задачи 2 необходима информация о приземных концентрациях выбрасываемых предприятиями и автотранспортом загрязняющих веществ, измеряемых на постах контроля непрерывно или с периодичностью не более 60 минут. Ввиду отсутствия технических средств непрерывного контроля приземного воздуха предлагается начать с использования в системе мониторинга информации, получаемой от дополнительных постов непрерывного автоматического контроля, установленных крупными предприятиями в зоне их влияния. Обязательным условием должно быть оснащение всех имеющихся постов Росгидромета, на которых отбор проб осуществляется периодически, средствами непрерывного контроля и передачи данных, а также установка дополнительных постов с непрерывным измерением и передачей информации в единый информационно-аналитический центр.

Для контроля приземной концентрации дурнопахнущих веществ, по нашему мнению, следует оснастить все посты средствами непрерывного измерения суммарной концентрации серосодержащих соединений, сероводорода, меркаптанов и диоксида серы.

Учитывая, что места установки некоторых постов контроля перестали соответствовать требованиям РД 52.04.186-89¹⁰ ввиду изменения городской среды, должен быть осуществлен перенос постов контроля ЦГМС в места, определенные методами расчета рассеивания загрязняющих веществ с учетом расположения автотрасс и жилой застройки.

Опыт выбора места установки дополнительных постов контроля воздуха в зоне влияния нефтеперерабатывающего предприятия г. Перми показал, что основным препятствием выбору оптимального места установки постов явилась невозможность согласования в органах Росреестра изменения вида разрешенного использования земельных участков, находящихся в государственности, с целью размещения сооружений постов контроля (павильона, ограждения, средств дистанционной охраны и передачи данных). Для исключения указанных проблем в будущем следует предусмотреть изменения в законодательстве, позволяющие в приоритетном порядке изменять вид разрешенного использования, приобретать, брать в аренду участки земли для размещения средств мониторинга атмосферы.

Выполнение задачи 3 предлагается начать с использования для мониторинга распространения загрязнений данные профилемера температуры. Учитывая результаты анализа данных профилемера температуры для адекватного моделирования переноса загрязнений, представляется некорректным не учитывать информацию температурного профиля нижней тропосферы.

Данные ветрового аэростатического зондирования, получаемые дважды в сутки, по нашему мнению, также следует использовать в сочетании с данными температурного профиля. Однако, согласно результатам моделирования [16], подтверждаемыми данными температурно-ветрового зондирования атмосферы [17], над городскими и промышленными территориями могут возникать зоны с повышенной изменчивостью направления ветра, поэтому существующая периодичность получения данных профиля ветра недостаточна для оперативного управления качеством атмосферного воздуха. Тем не менее данные аэростатического зондирования могут быть на первом этапе использованы для настройки моделей рассеивания.

В мировой практике используются средства непрерывного дистанционного ветрового зондирования атмосферы – ветровые профайлеры. Наиболее широко применяемой технологией ветровых профайлеров является использование акустических либо радиолокационных фазированных антенных решеток в ультразвуковых содарах или радарах, работающих в диапазоне от 1 мм до 30 см. Известны также лидары – профайлеры, измеряющие доплеровский сдвиг частоты лазерного излучения для получения информации о профиле ветра и температуры по высоте атмосферы [18].

Бюджетным решением выбора оборудования на первом этапе может быть использование содара с фазированной антенной решеткой фирмы Scintec AG (Германия) «XFAS».

Для выполнения задачи 4 предлагается использовать имеющиеся в свободном доступе программные средства, подробно описанные на интернет-ресурсе Центра поддержки нормативного моделирования атмосферы (Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM)) Агентства по защите окружающей среды США (US Environmental Protection Agency) [19].

Данные средства используют комбинацию следующих методов расчета:

– рецепторное моделирование (Receptor Modeling), включая метод факторного анализа – PMF (Positive matrix factorization), которые используют измеренные непосредственно на источниках химические и физические характеристики выбросов в атмосферу загрязняющих веществ для идентификации присутствия и определения вклада источника в концентрацию на постах контроля приземного воздуха (рецепторах);

– в комбинации с методом PFM используется программный пакет HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory), реализующий моделирование распространения загрязняющих веществ с учетом метеоданных: профиля скоростей и направлений ветров, а также температуры по высоте атмосферы;

¹⁰ РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (Часть I. Разделы 1–5) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения: 03.12.2019).

– моделирование рассеивания, дисперсии и турбулентной диффузии загрязняющих веществ с использованием эйлеровых, лагранжевых и гауссовых моделей.

В работе Б.Х. Санжапова [20] отражен опыт использования в условиях города Волгограда программных пакетов для моделирования дисперсии WRF и CALPUFF, описанных на ресурсе SCRAM.

Разностное решение уравнения турбулентной диффузии, сведенное к последовательности аналитических выражений, полученных в результате аппроксимации и линеаризации решения уравнений гауссовской модели рассеивания, используют и в методике «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»⁶, утвержденной приказом Минприроды России № 237 от 06.06.2017 г.

Полагаем, что выполнение описанных выше задач позволит получать информацию, достаточную для идентификации источников повышенного загрязнения атмосферы с целью выработки управляющих воздействий, направленных на соблюдение санитарных норм качества воздуха в городской черте.

Управляющими воздействиями могут быть как оперативные мероприятия, например, снижение производительности конкретных источников загрязнения атмосферы, ограничение движения транспорта, так и стратегические решения, такие как, например, предписания хозяйствующим субъектам разработать при-

родоохранные мероприятия или строительство новых автомагистралей для перенаправления транспортных потоков.

Для реализации механизмов оперативного и стратегического управления качеством воздуха на основании данных мониторинга и моделирования, возможно, потребуется внести изменения в природоохранное законодательство.

Выводы. Переход к работоспособной системе управления качеством атмосферного воздуха в крупных промышленных городах в интересах проживающих в них людей требует:

– оснащения источников выбросов объектов I категории системами автоматического контроля в онлайн-режиме выбросов загрязняющих веществ;

– развития сети стационарных постов мониторинга широкого спектра загрязняющих, в том числе дурнопахнущих, веществ;

– дополнения систем и методами температурно-ветрового зондирования нижней тропосферы с использованием опробованных в мировой практике методов моделирования рассеивания загрязняющих веществ и рецепторного анализа данных с учетом траекторий движения воздуха в зоне мониторинга.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «Чистый воздух» / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, Д.В. Горяев // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 3. – С. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.01
2. Киселев А.В., Григорьева Я.В. Применение результатов расчета загрязнения атмосферного воздуха для социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 4. – С. 306–309.
3. Оценка качества атмосферного воздуха населенных мест расчетным методом в системе социально-гигиенического мониторинга / М.В. Винокурова, М.В. Винокуров, В.Б. Гурвич, С.В. Кузьмин, О.Л. Малых // Гигиена и санитария. – 2004. – № 5. – С. 25–26.
4. Применение геоинформационных технологий в региональных системах мониторинга окружающей среды и здоровья населения / О.В. Клепиков, Н.П. Мамчик, И.В. Колнет, С.А. Куролап, Т.В. Хорпякова // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о земле. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 249–256.
5. Костылева Н.В., Гилева Т.Е., Опутина И.П. Сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха // Антропогенная трансформация природной среды. – 2017. – № 3. – С. 106–107.
6. Оптимизация региональной системы мониторинга атмосферного воздуха на примере г. Нижнекамска / Е.И. Игонин, А.П. Шлычков, А.Р. Шагидуллин, Р.Р. Шагидуллин // Российский журнал прикладной экологии. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 33–39.
7. Шкляев В.А., Костарева Т.В. Характеристики температурных инверсий и их связь с загрязнением атмосферного воздуха в г. Перми // Географический вестник. – 2019. – Т. 48, № 1. – С. 84–92.
8. Государственная сеть наблюдений Пермского края [Электронный ресурс] // Сайт Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – URL: <http://meteo.perm.ru/gosudarstvennaya-set-nablyudenij-permskogo-kraja> (дата обращения: 05.12.2019).
9. Ayusheeva S.N., Botoeva N.B., Mikheeva A.S. Analysis of the impact of economic activity on atmospheric air quality in Ulan-Ude // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 320, № 1. – 8 p. DOI: 10.1088/1755-1315/320/1/012009
10. WHO releases country estimates on air pollution exposure and health impact [Электронный ресурс] // World Health Organization. – 2016. – URL: <https://www.who.int/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact> (дата обращения: 05.12.2019).
11. Chernyaeva V.A., Wang D.H. Regional Environmental Features and Health Indicators Dynamics. Pollution of the Earth's Atmosphere and International Air Quality Standards // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 267. – 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/267/6/062012
12. Nguyen N.P., Marshall J.D. Impact, efficiency, inequality, and injustice of urban air pollution: variability by emission location // Environmental Research Letters. – 2018. – Vol. 13, № 2. – 9 p. DOI: 10.1088/1748-9326/aa9cb5

13. Global and regional trends in particulate air pollution and attributable health burden over the past 50 years / E.W. Butt, S.T. Turnock, R. Rigby, C.L. Reddington, M. Yoshioka, J.S. Johnson, L.A. Regayre, K.J. Pringle [et al.] // *Environmental Research Letters*. – 2017. – Vol. 12, № 10. DOI: 10.1088/1748-9326/aa87be

14. Автотранспорт и его влияние на окружающую среду / В.А. Никифорова, Д.Д. Видищева, Н.А. Подойницына, В.С. Глеба // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. – 2017. – Т. 1. – С. 192–194.

15. Голиков А.А., Абросимова Е.М. Перспективы развития комплексов мониторинга подвижных транспортных средств // *Охрана, безопасность, связь*. – 2019. – Т. 1, № 4 (4). – С. 37–40.

16. Численное моделирование характеристик пограничного слоя атмосферы крупного промышленного города (на примере г. Челябинска) / О.Ю. Ленская, С.М. Абдуллаев, А.И. Приказчиков, Д.Н. Соболев // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика*. – 2013. – Т. 2, № 2. – С. 65–82.

17. Доронин А.П., Тимошук А.С., Шабалин П.В. Результаты исследования метеорологических условий формирования высоких уровней загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге по данным за 2017 год // *Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского*. – 2018. – № 662. – С. 129–134.

18. Красненко Н.П. Методы и средства дистанционного мониторинга и прогнозирования состояния нижней тропосферы // *Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн: материалы всерос. открытой науч. конф. «Всероссийские открытые Армандовские чтения»*. – Муром, 2019. – С. 20–29.

19. Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM) [Электронный ресурс] // EPA. – URL: <https://www.epa.gov/scram> (дата обращения: 05.12.2019).

20. Санжапов Б.Х., Синицын А.А., Рашевский Н.М. Использование комплекса открытых программ WRF и CALPUFF для моделирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере города Волгограда // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. – 2017. – Т. 196, № 1. – С. 46–49.

Жижин Н.Н., Дьяков М.С., Ходяшев М.Б. Анализ средств управления качеством атмосферного воздуха в условиях города Перми // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 50–59. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.05

UDC 504.064: 504.3.054

DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.05.eng



ANALYSIS OF TOOLS AIMED AT MANAGING AMBIENT AIR QUALITY IN PERM CITY

N.N. Zhizhin, M.S. D'yakov, M.B. Khodyashev

The Urals State Scientific and Research Institute for Regional Ecological Issues, 61a, Komsomolsky avenue, Perm, 614039, Russian Federation

The article dwells on analyzing tools aimed at managing ambient air quality on the example of Perm city and basing on the experience in using systems for dynamic standardizing. The authors discuss advantages and drawbacks of managing ambient air quality with unified programs for calculating atmospheric contamination (Russian abbreviation UPRZA), We analyzed drawbacks in methodology that could result in overstating when emissions from stationary sources were inventoried; those drawbacks didn't allow using results of dispersion calculation for managing ambient air quality. Basing on data taken from literature sources and experience in UPRZA systems application, we suggest to cease applying UPRZA for operative ambient air quality management; instead, we propose to calculate admixtures dispersion with software that has been tested and used worldwide and that is freely accessible. Such software enables modeling actual meteorological conditions using data on wind profile and air temperature at various heights.

To manage ambient air quality due to identifying sources that cause more substantial contamination, modeling of toxicants dispersion should necessarily be based not only on data obtained from ground meteorological stations but also on data on temperatures and wind speed in the lower troposphere. To correctly calculate ground concentrations, we suggest applying the following data: results of uninterrupted control over emission sources that will be obtained via emission measuring tools according to changes made in the legislation in 2018; data on speeds of motor transport and fixation of transport flows

© Zhizhin N.N., D'yakov M.S., Khodyashev M.B., 2019

Nikolai N. Zhizhin – Leading engineer (e-mail: Nikolay@zhizh.in; tel.: +7 (922) 242-15-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0876-8968>);

Maksim S. Dyakov – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director responsible for research (e-mail: dyakov@ecology.perm.ru; tel.: +7 (342) 281-85-02; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0750-4992>);

Mikhail B. Khodyashev – Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director responsible for technological development (e-mail: hodyashevmb@ecologyperm.ru; tel.: +7 (342)281-84-14; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4124-0687>).

structure recalculated into emissions from motorways; data on ground concentrations of admixtures including hydrogen sulphide and alkyl hydrosulphides that should be measured at ecological monitoring stations and measuring periodicity should not exceed 60 minutes; profiles of temperature, wind direction, and wind speed at various heights.

Key words: ambient air contamination, ambient air monitoring, monitoring posts, emissions standardizing, uninterrupted automated control, sulfur-containing compounds, ecological modeling, air probing.

References

1. Zaitseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Goryaev D.V. Methodical approaches to selecting observation points and programs for observation over ambient air quality within social and hygienic monitoring and «Pure Air» Federal project. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 3, pp. 4–17 (in Russian). DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.01.eng
2. Kiselev A.V., Grigor'eva Ya.V. The use of results of the calculation of atmospheric pollution for the social hygienic monitoring. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 4, pp. 306–309 (in Russian).
3. Vinokurova M.V., Vinokurov M.V., Gurvich V.B., Kuzmin S.V., Malykh O.L. Assessment of ambient air quality in the localities by the calculation method in the sociohygienic monitoring. *Gigiena i sanitariya*, 2004, no. 5, pp. 25–26 (in Russian).
4. Klepikov O.V., Mamchik N.P., Kolnet I.V., Kurolop S.A., Khorpyakova T.V. Application of geoinformation technologies in regional systems of environmental monitoring and population health monitoring. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle*, 2018, vol. 28, no. 3, pp. 249–256 (in Russian).
5. Kostyleva N.V., Gileva T.E., Oputina I.P. Summary calculations of pollution of atmospheric air. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy*, 2017, no. 3, pp. 106–107 (in Russian).
6. Igonin E.I., Shlychkov A.P., Shagidullin A.R., Shagidullin R.R. Optimization of the regional atmospheric air monitoring system on the example of Nizhnekamsk. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii*, 2016, vol. 7, no. 3, pp. 33–39 (in Russian).
7. Shklyayev V.A., Kostareva T.V. Characteristics of the temperature in versions and the irrelatship with atmospheric air pollution in Perm. *Geograficheskii vestnik*, 2019, vol. 48, no. 1, pp. 84–92 (in Russian).
8. Gosudarstvennaya set' nablyudenii Permskogo kraia [The State monitoring system in Perm region]. *Sait Permskogo tsentra po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy*. Available at: <http://meteo.perm.ru/gosudarstvennaya-set-nablyudenij-permskogo-kraia> (05.12.2019) (in Russian).
9. Ayusheeva S.N., Botoeva N.B., Mikheeva A.S. Analysis of the impact of economic activity on atmospheric air quality in Ulan-Ude. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 320, no. 1, 8 p. DOI: 10.1088/1755-1315/320/1/012009
10. WHO releases country estimates on air pollution exposure and health impact. *World Health Organization*, 2016. Available at: <https://www.who.int/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact> (05.12.2019).
11. Chernyaeva V.A., Wang D.H. Regional Environmental Features and Health Indicators Dynamics. Pollution of the Earth's Atmosphere and International Air Quality Standards. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 267, 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/267/6/062012
12. Nguyen N.P., Marshall J.D. Impact, efficiency, inequality, and injustice of urban air pollution: variability by emission location. *Environmental Research Letters*, 2018, vol. 13, no. 2, 9 p. DOI: 10.1088/1748-9326/aa9cb5
13. Butt E.W., Turnock S.T., Rigby R., Reddington C.L., Yoshioka M., Johnson J.S., Regayre L.A., Pringle K.J. [et al.]. Global and regional trends in particulate air pollution and attributable health burden over the past 50 years. *Environmental Research Letters*, 2017, vol. 12, no. 10. DOI: 10.1088/1748-9326/aa87be
14. Nikiforova V.A., Vidishcheva D.D., Podoinitsyna N.A., Gleba V.S. Avtotransport i ego vliyanie na okruzhayushchuyu sredu [Motor transport and its effects on the environment]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki*, 2017, vol. 1, pp. 192–194 (in Russian).
15. Golikov A.A., Abrosimova E.M. Prospects of development of monitoring complexes of mobile vehicles. *Okhrana, bezopasnost', svyaz'*, 2019, vol. 1, no. 4 (4), pp. 37–40 (in Russian).
16. Lenskaya O.Yu., Abdullaev S.M., Prikazchikov A.I., Sobolev D.N. Modeling study of atmospheric boundary layer characteristics in industrial city by the example of Chelyabinsk. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika*, 2013, vol. 2, no. 2, pp. 65–82 (in Russian).
17. Doronin A.P., Timoshchuk A.S., Shabalin P.V. Rezultaty issledovaniya meteorologicheskikh uslovii formirovaniya vysokikh urovnei zagryazneniya atmosfernogo vozdukh v Sankt-Peterburge po dannym za 2017 god [Results of the study on meteorological conditions that cause occurrence of substantial ambient air contamination in Saint Petersburg based on data collected in 2017]. *Trudy Voенно-kosmicheskoi akademii im. A.F. Mozhaikogo*, 2018, no. 662, pp. 129–134 (in Russian).
18. Krasnenko N.P. Metody i sredstva distantsionnogo monitoringa i prognozirovaniya sostoyaniya nizhnei troposfery [Methods and tools for distant monitoring and predicting the situation in the lower troposphere]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya, radiolokatsii, rasprostraneniya i difraktsii voln: materialy vsrossiiskoi otkrytoi nauchnoi konferentsii «Vserossiiskie otkrytye Armandovskie chteniya»*. Murom, 2019, pp. 20–29 (in Russian).
19. Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM). *EPA*. Available at: <https://www.epa.gov/scram> (05.12.2019).
20. Sanzhapov B.Kh., Sinityn A.A., Rashevskii N.M. Usage of complex of open-source software WRF and CALPUFF for dispersion modeling of atmospheric pollutants in Volgograd. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, vol. 196, no. 1, pp. 46–49 (in Russian).

Zhizhin N.N., D'yakov M.S., Khodyashev M.B. Analysis of tools aimed at managing ambient air quality in Perm city. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 4, pp. 50–59. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.05.eng

Получена: 02.11.2019

Принята: 19.12.2019

Опубликована: 30.12.2019