

Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека



ЕВРОПА

Региональные публикации ВОЗ, Европейская серия, № 85

Всемирная организация здравоохранения была создана в 1948 г. в качестве специализированного учреждения Организации Объединенных Наций, осуществляющего руководство и координацию при решении международных проблем здравоохранения и охраны здоровья населения. Одна из уставных функций ВОЗ заключается в предоставлении объективной и надежной информации и консультировании по вопросам охраны здоровья людей, и эту обязанность она выполняет отчасти с помощью своих публикаций. Через свои публикации Организация стремится оказать поддержку выполнению стратегий охраны здоровья населения в странах и содействовать решению самых актуальных и неотложных проблем общественного здравоохранения.

Европейское региональное бюро ВОЗ является одним из шести региональных бюро, каждое из которых проводит собственную программу, направленную на решение конкретных проблем здравоохранения обслуживаемых им стран. Европейский регион с населением в 870 млн. человек простирается от Гренландии на севере и Средиземного моря на юге до тихоокеанских берегов Российской Федерации. Поэтому в программе Европейского региона ВОЗ акцент ставится как на проблемах, характерных для индустриального и постиндустриального общества, так и на проблемах, находящихся в процессе становления демократии стран Центральной и Восточной Европы и бывшего СССР.

В целях как можно более полного предоставления достоверной информации и надлежащего ориентирования по вопросам здоровья и его охраны, ВОЗ обеспечивает широкое международное распространение своих публикаций и поощряет их перевод и адаптацию. Содействуя укреплению и охране здоровья, профилактике болезней и борьбе с ними, книги и другие публикации ВОЗ содействуют решению важнейшей задачи Организации – достижению всеми людьми как можно более высокого уровня здоровья.

Оформление обложки: Sven Lund. Автором использована карта из публикации *Air pollution in the Czech Republic in 1997*. Прага, Чешский гидрометеорологический институт, 1998 г.

Мониторинг качества
атмосферного воздуха
для оценки воздействия
на здоровье человека

Всемирная организация здравоохранения
Европейское региональное бюро
Копенгаген



Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека

Региональные публикации ВОЗ, Европейская серия, № 85

ISBN 92 890 4351 2
ISSN 0258-4972

Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения охотно удовлетворяет обращения с просьбой разрешить перепечатку либо перевод своих публикаций частично или полностью. Заявления и запросы следует направлять в Отдел публикаций Европейского регионального бюро ВОЗ по адресу: Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark. Бюро охотно предоставит последнюю информацию о каких-либо изменениях в тексте, о планировании новых изданий, а также об уже имеющихся перепечатках и переводах.

© **Всемирная организация здравоохранения, 2001 г.**

На публикации Всемирной организации здравоохранения распространяются, с сохранением за ней всех прав, положения Протокола 2 Всемирной конвенции по охране авторских прав.

Обозначения, используемые в настоящем издании, и приводимые в нем материалы ни в коем случае не выражают мнения Секретариата Всемирной организации здравоохранения о юридическом статусе какой-либо страны, территории, города или района, их органе власти или об их государственных границах. Названия стран или территорий, используемые в настоящей публикации, соответствуют названиям, известным в период подготовки издания данной книги на языке оригинала.

Упоминание конкретных компаний или продукции отдельных изготовителей не означает, что Всемирная организация здравоохранения поддерживает или рекомендует их или отдает им предпочтение перед другими компаниями или изготовителями, не упомянутыми в тексте. За исключением ошибок и пропусков, названия патентованных продуктов выделяются начальными прописными буквами.

Ответственность за взгляды, изложенные в данной публикации, несут лица, внесшие вклад в подготовку данной публикации, причем эти взгляды необязательно совпадают с решениями или провозглашенной политикой Всемирной организации здравоохранения.

Оглавление

	<i>Стр.</i>
Лица, внесшие вклад в подготовку данной публикации	ix
Предисловие	xi
Предисловие к изданию на русском языке	xiv
Краткое резюме	xxiii
1. Введение	1
Цели и задачи	2
Структура публикации	4
Предшествующая аналогичная деятельность ВОЗ	5
Библиография	9
2. Информация о качестве атмосферного воздуха, необходимая для оценки его влияния на здоровье	13
<i>Otto Hänninen, Alexander Economopoulos & Haluk Özkaynak</i> Введение	13
Качество атмосферного воздуха и оценка его влияния на здоровье	15
Связь между информацией о качестве атмосферного воздуха и о его воздействии	24
Зависимость эффекта на здоровье от экспозиции	33

Качество атмосферного воздуха и источники его загрязнения: от оценки к управлению	39
Библиография	50
3. Планирование и функционирование системы мониторинга, включая вопросы обеспечения и контроля качества	53
<i>Jon Bower & Hans-Guido Mücke</i>	
Роль мониторинга	53
Цели мониторинга, обеспечения и контроля качества	55
Роль и функции обеспечения качества и контроля качества	58
Планирование сети	62
Вопросы, касающиеся оборудования	74
Регулярный критический анализ действующей системы ..	79
Функционирование системы: автоматизированные сети...	80
Функционирование системы: сети с отбором проб	86
Управление данными	89
Преобразование данных в информацию	92
Библиография	97
4. Стратегии мониторинга отдельных загрязняющих веществ	101
Оксид углерода	103
<i>Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo & Kari Hämekoski</i>	
Озон	111
<i>Ruth Baumann & Jürgen Schneider</i>	
Двуокись серы	120
<i>Bohumil Kotlik & Jon Bower</i>	
Двуокись азота	130
<i>Jon Bower</i>	
Взвешенные частицы (ВЧ ₁₀ и ВЧ _{2,5})	141
<i>Michal Krzyzanowski</i>	
Бензол	152
<i>Anne Lindskog</i>	
Полициклические ароматические углеводороды	160
<i>Eva Brorström-Lundén</i>	
Свинец	169
<i>Bohumil Kotlik</i>	

Атмосферный кадмий	176
<i>Laszlo Bozó</i>	
5. Отчетность и оценка	183
<i>Dietrich Schwela & Michal Krzyzanowski</i>	
Отчетность	183
Оценка	185
Форматы для представления информации	187
Хранение данных	192
Библиография	194
6. Выводы и рекомендации	197
Приложение 1. Основные мероприятия, связанные с оценкой качества атмосферного воздуха в Европейском регионе	201
Приложение 1.1. Обзор пересмотренного варианта критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы	201
<i>Rolaf van Leeuwen & Michal Krzyzanowski</i>	
Приложение 1.2. Рамочная директива и «дочерние» директивы Европейского союза	209
<i>Frank de Leeuw</i>	
Приложение 2. Общие принципы инвентаризации выбросов	213
<i>Alexander Economopoulos</i>	
Приложение 3. Моделирование качества атмосферного воздуха	223
Приложение 3.1. Модели рассеивания примесей	223
<i>Jaako Kukkonen</i>	
Приложение 3.2. Рецепторные модели	230
<i>Juhani Ruuskanen</i>	
Приложение 3.3. Статистические модели качества атмосферного воздуха	239
<i>John Stedman</i>	
Приложение 4. Модели персональной экспозиции	247
<i>Haluk Özkaynak</i>	

Приложение 5. Требования ВОЗ к показателям атмосферного воздуха	263
Приложение 6. Примечания к тексту издания на русском языке	281
<i>Сергей С. Чичерин</i>	

Лица, внесшие вклад в подготовку данной публикации

Редколлегия

Jon Bower

Otto Hänninen

Bohumil Kotlik

Hans-Guido Mücke

Halûk Özkaynak

Stanislaw Tarkowski (Председатель)

Michal Krzyzanowski (Ученый секретарь)

Члены рабочей группы

(ПГ = подготовительная группа, РГ = рабочая группа)

Ruth Baumann, Федеральное агентство по охране окружающей среды, Вена, Австрия (РГ)

Jon Bower, AEA Technology, Culham, Соединенное Королевство (РГ)

Laszlo Bozó, Институт физики атмосферы, Будапешт, Венгрия (РГ)

Сергей С. Чичерин, Главная геофизическая обсерватория им. Воейкова, Санкт-Петербург, Российская Федерация (РГ)

Alexander Economou, Технический университет на Крите, Ханья, Греция (РГ)

Paul Filliger, Швейцарское агентство по окружающей среде, лесам и ландшафтам, Берн, Швейцария (РГ)

Sagatay Güler, Университет Насетерре, Анкара, Турция (РГ)

Kari Häme Koski, Городской совет Большого Хельсинки, Хельсинки, Финляндия (РГ)

- Otto Hänninen, KTL Environmental Health, Куопио, Финляндия (ПГ/РГ)
- Bohumil Kotlik, Национальный институт здравоохранения, Прага, Чешская Республика (ПГ/РГ)
- Steinar Larssen, Норвежский институт изучения воздуха (NILU), Kjeller, Норвегия (РГ)
- Frank de Leeuw, Национальный институт здравоохранения и окружающей среды, Билтховен, Нидерланды (ПГ^а)
- Anne Lindskog, Шведский институт исследования окружающей среды (IVL), Гётеборг, Швеция (РГ)
- Hans-Guido Mücke, Институт гигиены воды, почвы и воздуха, Берлин, Германия (ПГ^б, РГ)
- Halûk Özkaşnak, Гарвардская школа здравоохранения, Бостон, штат Массачусетс, США (РГ)
- Juhani Ruuskanen, Университет Куопио, Куопио, Финляндия (РГ)
- Romualdas Sabaliauskas, Министерство здравоохранения, Вильнюс, Литва (РГ)
- Jaroslav Santroch, Чешский гидрометеорологический институт, Прага, Чешская Республика (РГ)
- Dietrich Schwela, Всемирная организация здравоохранения, Женева, Швейцария (ПГ)
- Katarina Slotova, Специализированный государственный институт здравоохранения, Банска-Бистрица, Словакия (РГ)
- John Stedman, AEA Technology, Culham, Соединенное Королевство (РГ^б)
- Stanislaw Tarkowski, Институт профессиональной медицины им. Нофера, Лодзь, Польша (РГ^а)
- William E. Wilson, Агентство США по охране окружающей среды, Ресерч Трайэнгл Парк, штат Северная Каролина, США (РГ)
- Michal Krzyzanowski, Европейский центр ВОЗ по окружающей среде и здоровью, Билтховенский филиал, Билтховен, Нидерланды (ПГ/РГ)
- Karen Tonnisen, Европейский центр ВОЗ по окружающей среде и здоровью, Билтховенский филиал, Билтховен, Нидерланды (секретариат)

^а Председатель совещания рабочей группы.

^б Составитель обобщенного отчета о дискуссиях во время совещания.

Предисловие

Во Всемирной организации здравоохранения, равно как и в ее Европейском региональном бюро, сложилась традиция заниматься разработкой политики и содействовать оздоровлению окружающей среды в целях создания благоприятных условий для поддержания здоровья. Политика достижения здоровья для всех в Европе неизменно задавала тон усилиям, предпринимаемым в Регионе в 80-е и 90-е годы. В документе «Здоровье-21», где речь идет о политике достижения здоровья для всех в Европейском регионе, ставится ряд новых сложных задач. В предлагаемом курсе действий физическая окружающая среда рассматривается в качестве важнейшей составляющей здоровья, поскольку она не только оказывает прямое влияние на здоровье и безопасность, но и имеет большое значение для обеспечения устойчивого развития общества.

Министры здравоохранения и окружающей среды всех государств-членов Европейского региона участвовали в ряде встреч, состоявшихся в 1989 г. во Франкфурте, в 1994 г. в Хельсинки и в 1999 г. в Лондоне, чтобы закрепить уже достигнутые успехи в совершенствовании региональной и национальной политики в области окружающей среды и здоровья. Разработанные большинством стран Региона национальные планы действий по гигиене окружающей среды позволяют консолидировать многосекторальные усилия на

государственном уровне. Прежде, чем приступать к проведению в жизнь мероприятий, предусмотренных такими планами, следует провести всестороннюю оценку воздействия окружающей среды на здоровье на современном этапе, а также тех выгод или потенциальных опасностей для здоровья, которые ассоциируются с планируемым развитием. По мере реализации намеченных действий необходимо продолжать мониторинг экспозиции населения, чтобы обрести уверенность в эффективности деятельности по предотвращению риска и обеспечивать оперативную обратную связь со всеми секторами и учреждениями, участвующими в этих действиях, в том числе с общественностью.

Чистый атмосферный воздух является непреложным условием для здоровой жизни. Вместе с тем, многие важнейшие виды деятельности человека, связанные с социально-экономическим развитием, приводят к загрязнению воздушного бассейна среды обитания большинства населения. В недавно опубликованных пересмотренных критериях ВОЗ по качеству атмосферного воздуха в Европе приводится характеристика опасностей, связанных с рядом наиболее распространенных загрязнителей воздушной среды. Усилия по предотвращению факторов риска, обусловленного загрязняющими веществами такого рода, оказываются особенно результативными, если удастся выявить и отслеживать конкретный характер экспозиции населения одновременно с принятием мер по предотвращению или уменьшению загрязнения.

Данная публикация представляет интерес для национальных и местных учреждений, на которые возложена ответственность за охрану здоровья населения от неблагоприятного воздействия загрязнителей атмосферного воздуха, а также за мониторинг качества атмосферного воздуха. Настоящее издание продолжает серию подготовленных Региональным бюро монографий, которые представляют обзор современных методов и стимулируют поиск оптимальных путей создания таких

условий внешней среды, которые оказывают благоприятное воздействие на состояние здоровья населения государств Европейского региона.

В состав рабочей группы по подготовке этой публикации, учрежденной по инициативе Европейского центра ВОЗ по окружающей среде и здоровью, вошли специалисты с самыми широкими познаниями и профессиональным опытом. Я выражаю свою признательность за проведенные ими на состоявшихся совещаниях творческие и конструктивные дискуссии, за их конкретный вклад в работу над текстом, а также за пересмотр и редактирование целого ряда предварительных вариантов данной публикации. Я также с благодарностью отмечаю финансовую поддержку в реализации этого проекта, оказанную правительством Германии.

J.E.Asvall

Директор Европейского регионального бюро ВОЗ

Предисловие к изданию на русском языке

Чистую воду и доброкачественные продукты питания можно купить. Чистый воздух купить нельзя. Загрязненный атмосферный воздух свободно преодолевает границы предприятий, городов и стран, проникая в офисы, жилища и больницы. Поэтому можно лишь приветствовать деятельность Европейского регионального бюро ВОЗ, связанную с решением проблем обеспечения надлежащего качества атмосферного воздуха. Одним из важнейших направлений деятельности в этой сфере давно стал мониторинг атмосферного воздуха. Вполне естественно, что во главу угла мониторинга ВОЗ ставит получение такой информации о качестве воздуха, которая позволила бы оценить его воздействие на здоровье населения, что, в свою очередь, дает более надежную информационную основу для принятия, реализации и контроля эффективности соответствующих управленческих решений.

По-видимому, настоящая книга в переводе на русский язык будет востребована, прежде всего, читателем в новых независимых государствах. В этой связи целесообразно предварить знакомство с этой книгой некоторыми соображениями, адресованными, в первую очередь, именно к такому читателю.

Государственная система мониторинга загрязнения атмосферы в странах на территории бывшего СССР имеет

общее начало, относящееся в 1970-м годам, и была организована в составе национальной гидрометеослужбы. Основным методическим документом, детально регламентирующим все основные аспекты мониторинга, остается изданное в 1991 г. “Руководство по контролю загрязнения атмосферы” РД 52.04.189-91. В настоящее время осуществляется переработка этого фундаментального “Руководства”, в ходе которой, надо полагать, будет учтен не только прогресс в законодательстве и современные научные достижения, но и относящиеся к данному вопросу документы ВОЗ, в том числе, и настоящая книга.

К решению вопросов, связанных с уменьшением вредного воздействия антропогенного загрязнения атмосферы на здоровье человека, возможны два основных подхода, каждый из которых предъявляет свои специфические требования к построению системы мониторинга атмосферного воздуха. Один из них, традиционный, базируется на управлении источниками выбросов. Целью такого подхода является обеспечение повсеместного соблюдения нормативных требований по качеству атмосферного воздуха. Для его реализации необходима информационная поддержка систем мониторинга загрязнения атмосферы, ориентированных, прежде всего, на выявление нарушений нормативов качества воздуха, где бы и в какое время ни происходили бы эти нарушения. В историческом плане именно такие системы мониторинга получили наибольшее распространение, и вплоть до настоящего времени они не утратили своей значимости.

Другой подход гораздо более гибок и, не отрицая методологии первого подхода, основывается на управлении здоровьем населения, а точнее – факторами, которые определяют степень воздействия загрязненного воздуха на здоровье человека. Для реализации такого подхода необходимо, во-первых, более детальное, чем при первом подходе, знание о пространственно-временном распределении концентраций вредных примесей с приемлемым разрешением по пространству и по времени. Во-вторых, что не менее важно, необходима информация о плотности распределения населения по территории и о динамике ее

изменения во времени. Такой подход позволяет, при наличии достаточного объема достоверной информации, более корректно и более непосредственно оценивать факторы, влияющие на здоровье населения. Преимущества этого подхода очевидны уже потому, что он дает возможность существенно расширить арсенал средств и приемов, использование которых приводит к уменьшению вредного воздействия загрязненной атмосферы на население. Системы мониторинга качества атмосферного воздуха, ориентированные на информационную поддержку этого второго подхода, и являются предметом настоящей публикации ВОЗ.

К главным достоинствам книги следует отнести, в первую очередь, удачное сочетание широты охвата и глубины освещения рассматриваемых вопросов с доступностью изложения. Поэтому можно не сомневаться, что книга будет полезна не только специалистам в области мониторинга, но и всем, чья деятельность в той или иной степени связана с вопросами качества окружающей среды и его влияния на здоровье человека.

Одно из центральных мест в книге занимает понятие экспозиции человека (персональной экспозиции и экспозиции населения как в целом, так и отдельных его групп и категорий) по тому или иному вредному веществу, содержащемуся в атмосферном воздухе. Понять, что такое персональная экспозиция очень просто, если представить, что человек, где бы он ни находился и чем бы он ни занимался, имеет при себе индивидуальный датчик, непрерывно измеряющий текущее значение концентрации определенной примеси. Тогда среднее за некоторый промежуток времени значение измеренной таким образом “персональной” концентрации и будет персональной экспозицией. Учет групповых стереотипов поведения населения дает методологию перехода от персональной экспозиции к экспозиции населения, что очень обстоятельно, с привлечением примеров, рассмотрено в соответствующих разделах книги. (Не оставлены без внимания и вопросы, связанные с учетом пребывания человека на открытом воздухе, на работе, дома, в транспорте и т.д.).

С помощью понятия экспозиции главная цель обеспечения надлежащего качества атмосферного воздуха может быть переформулирована как необходимость всемерного уменьшения экспозиции населения по всем вредным примесям, содержащимся в атмосферном воздухе. (Такая формулировка позволяет подчеркнуть, что управление источниками выбросов – не единственное средство достижения поставленной цели).

Другое центральное понятие книги – критерии качества атмосферного воздуха, рекомендованные ВОЗ для Европы. (Кстати, решением ВОЗ действие этих рекомендаций распространено на остальные регионы мира). Здесь сразу же следует отметить, что ВОЗ рассматривает эти рекомендации как базис для установления международных и национальных стандартов. (Именно такой подход был реализован при подготовке принятой в 1999 г. “дочерней” директивы ЕС о предельных значениях для классических атмосферных примесей). При этом подчеркивается, что “хотя критерии качества воздуха, рекомендованные для Европы, призваны защитить здоровье человека, они являются максимальными значениями, и уровни загрязнения воздуха должны удерживаться на настолько низком уровне, насколько это практически осуществимо”.

Отметив, что ВОЗ в своих документах достаточно последовательно разграничивает понятия гигиенического критерия качества воздуха и стандарта качества воздуха, нельзя не упомянуть о более привычном для русскоязычного читателя понятии – нормативах предельно допустимых концентраций (ПДК). К сожалению, в этом понятии нет четкого разграничения различных функций: функции гигиенического критерия, указывающего научно обоснованное значение порогового уровня концентраций, безопасных для здоровья человека, и нормативной (регуляторной) функции, которая требует обязательного соблюдения этого критерия независимо от степени реальности практического выполнения этого требования. К слову сказать, среди рекомендаций ВОЗ есть и такая, которая ориентирует на установление национальных стандартов

качества атмосферного воздуха на таком уровне, который был бы реально достижим с учетом имеющихся ресурсов. После достижения соответствия качества воздуха этим стандартам они могут быть пересмотрены в сторону ужесточения.

Нельзя не обратить внимания на то обстоятельство, что рекомендованные ВОЗ критерии (пороговые значения концентраций) сформулированы без применения каких-либо статистических характеристик. Для каждого значения пороговой концентрации приводится лишь продолжительность периода времени, к которому это значение относится (время усреднения). Вместе с тем, стандарты качества атмосферного воздуха, принятые в ЕС, в других европейских странах, в США, имеют четкие статистические характеристики (в книге приводятся соответствующие примеры), что дает им однозначное толкование при сопоставлении с данными наблюдений и в результатами моделирования. Этого, к сожалению, нельзя сказать о нормативах ПДК.

Критерии ВОЗ по качеству атмосферного воздуха, будучи положенными в основу международных и национальных стандартов, становятся одним из главных источников требований к мониторингу (по диапазону измерений, по чувствительности и точности измерительной аппаратуры, по времени усреднения результатов измерений и т.д.).

Среди атмосферных примесей, для которых ВОЗ рекомендует критерии качества воздуха, следует обратить особое внимание на одну примесь – взвешенные частицы (в русском языке более привычен термин “взвешенные вещества”), особенно на их мелкодисперсную, так называемую респирабельную, фракцию с аэродинамическим диаметром частиц не более 10 мкм (различают также фракцию с частицами не более 2,5 мкм). При разработке критериев эксперты ВОЗ не нашли убедительных доказательств того, что существует некое пороговое значение концентраций ВЧ, ниже которого не следует ожидать никаких негативных воздействий на здоровье.

Поэтому ВОЗ не приводит в своих рекомендациях такого порогового значения для ВЧ. Вместе с тем, приводится время усреднения концентраций (24 часа), что подчеркивает необходимость ориентации системы мониторинга на получение, в первую очередь, средних за 24 часа значений концентраций взвешенных частиц.

Важным новшеством в рекомендациях ВОЗ по критериям качества воздуха является использование понятия “относительный риск” для оценки ожидаемого увеличения частоты случаев различных видов респираторных расстройств (включая неотложную госпитализацию и смертность) при увеличении средних за 24 часа концентраций ВЧ. Приведенные в книге (из рекомендаций ВОЗ) показатели увеличения относительного риска позволяют получить количественные оценки увеличения числа случаев заболеваний в зависимости от конкретного наблюдаемого или прогнозируемого уровня загрязнения воздуха. Небезынтересно отметить, что предельный уровень 24-часовых концентраций ВЧ₁₀, равный 50 мкг/м³, соблюдение которого, согласно директиве Европейского союза, становится обязательным с 1 января 2005 г., соответствует увеличению риска госпитализации по случаю респираторных расстройств на 2,4% по сравнению с фоновым уровнем заболеваемости. Для действующего стандарта США (150 мкг/м³ для средних за 24 часа концентраций) соответствующее увеличение риска госпитализации составляет 10%. (Отметим в скобках, что из приведенного примера нельзя заключить, что стандарт ЕС более жесткий, чем стандарт США, поскольку эти стандарты несопоставимы непосредственным образом).

Характеристики источников выбросов во многом определяют требования к построению системы мониторинга загрязнения атмосферы в городах. В этом отношении между городами в Западной Европе и городами на территории бывшего СССР имеются существенные различия. В силу различных исторических причин в городах новых независимых государств вплоть до настоящего времени сохранилось большое количество крупных промышленных предприятий, в том числе предприятий тяжелой

промышленности, выбросы которых вносят (или, по крайней мере, вносили до недавнего времени) значительный вклад в уровень загрязнения воздуха. При этом в выбросах таких предприятий могут в значительных количествах присутствовать самые разнообразные вредные вещества. Именно поэтому еще в начале 1990-х годов национальная система мониторинга в СССР проводила регулярные наблюдения более чем за 100 вредными атмосферными примесями. В последние годы, в значительной мере из-за глубокого экономического спада структура выбросов во многих городах на территории бывшего СССР существенно изменилась – преобладающий вклад в уровень загрязнения воздуха по ряду примесей вносят выбросы автотранспорта. (Экономический спад зачастую сопровождался неожиданно высокими темпами прироста количества автотранспорта в крупнейших городах. Например, в Санкт-Петербурге количество официально зарегистрированных автомобилей возросло за несколько лет более, чем в 4 раза). Это, в свою очередь, ведет к необходимости изменения важных акцентов в методологии мониторинга, к чему, надо сказать, вынуждают и экономические реалии. В первую очередь, это относится к необходимости пересмотра перечня приоритетных веществ, за которыми следует вести регулярное наблюдение на национальном уровне. Преобладание связанных с авто-транспортом площадных источников изменяет пространственно-временную структуру распределения концентраций (о чем в книге также имеется несколько ценных замечаний). Так, вполне возможной становится ситуация, когда в каждый отдельный момент времени краткосрочные концентрации не превышают соответствующий критерий ВОЗ, но остаются большими, чем долгосрочные критерии. Такая ситуация, в частности, была недавно выявлена в Санкт-Петербурге в ходе систематических непрерывных наблюдений за NO_2 в центральной части города. Можно ожидать, что с точки зрения экспозиции населения по NO_2 именно хроническое воздействие на здоровье станет преобладающим в крупнейших городах на территории бывшего СССР с интенсивным движением автотранспорта.

В данной ситуации было бы целесообразно воспользоваться рекомендацией, которая по разным поводам неоднократно

повторяется в книге: при построении системы мониторинга всегда стремиться к наиболее выгодному соотношению “затраты - эффект”, обеспечивая при этом способность системы достичь поставленные перед ней задачи.

Для рассматриваемого случая мониторинга NO_2 это могло бы быть сочетание небольшого количества рационально размещенных непрерывных автоматических датчиков и относительно большого количества пассивных пробоотборников.

В принципе, такое сочетание является вполне разумной альтернативой (а на начальном этапе – дополнением) все еще широко распространенного способа краткосрочного отбора проб (20–30 мин.) по 2–4 раза в сутки.

В свою очередь, одновременное применение в рамках одной наблюдательной сети разных методов измерений концентраций одной и той же примеси (а в книге детально рассмотрены четыре группы методов: активный и пассивный отбор проб с последующим лабораторным анализом: точечные и трассовые автоматические газоанализаторы) предъявляет дополнительные требования к обеспечению сопоставимости данных измерений, в том числе к вопросам интеркалибровки.

Здесь, по-видимому, следует особо подчеркнуть, что на всем протяжении книги настойчиво подчеркивается важность тщательно продуманного решения всех вопросов обеспечения и контроля качества. Обеспечение и контроль качества не исчерпываются, при всей их важности, чисто метрологическими аспектами и должны пронизывать всю технологическую цепочку мониторинга, начиная с планирования сети, через все элементы ее функционирования, и кончая подготовкой и распространением информационной продукции.

Созданию информационной продукции, вопросам преобразования первичных данных наблюдений в полезную информацию в книге уделено большое внимание. Информационная продукция, будучи итогом деятельности системы мониторинга, должна быть достоверной и

удовлетворять запросы конечных пользователей. На заседании рабочей группы по обсуждению проекта настоящей книги, эксперты ВОЗ были единодушны в своем мнении, что конечным пользователям должны передаваться не первичные данные наблюдений, а специальным образом подготовленная информационная продукция. Форматы подготовки и режим передачи информации следует предварительно согласовывать с потребителями.

В заключение хотелось бы отметить и всячески приветствовать тот терминологический оптимизм, который уже в течение ряда лет является неизменным признаком публикаций ВОЗ. В предлагаемой вниманию читателя книге крайне редко употребляется термин “загрязнение атмосферного воздуха”, который заменен более оптимистичным “качество атмосферного воздуха”. Что, в свою очередь, ведет к последовательному замещению понятий “борьба с загрязнением атмосферы”, “охрана атмосферного воздуха” на не только более оптимистичное, но и более адекватное понятие “управление качеством атмосферного воздуха”. Это понятие более органично вписывается в методологию устойчивого развития, в рамках которой вопросы обеспечения надлежащего качества окружающей среды рассматриваются не как препятствие экономическому и социальному прогрессу, а как его естественная неотъемлемая часть.

С. Чичерин,
заместитель директора Главной геофизической
обсерватории им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург

Краткое резюме

Нередко обоснованием для проведения оценки качества атмосферного воздуха служит необходимость контроля за соблюдением действующего стандарта или критерия. По своей важности эта задача является более приоритетной в сравнении с другой задачей оценки качества атмосферного воздуха, состоящей в получении информации, необходимой для количественной оценки экспозиции населения в условиях загрязненной воздушной среды и определению характера его воздействия на здоровье населения. В результате большинство действующих систем мониторинга качества атмосферного воздуха не могут быть нацеленными на определение экспозиции населения по токсичным загрязнителям атмосферного воздуха. Настоящий доклад, отдавая должное бесспорному значению этих данных для управления качеством атмосферного воздуха, посвящен описанию стратегий и методов получения информации о качестве атмосферного воздуха, отвечающей требованиям оценки воздействия окружающей среды на здоровье человека.

Экспозиция человека в условиях загрязненной воздушной среды может приводить к самым различным эффектам на здоровье в зависимости от конкретного типа загрязняющих веществ; от величины, продолжительности и повторяемости экспозиции; от токсического воздействия вредностей, вызывающих особую тревогу. В зависимости от той или иной

деятельности человека на его здоровье оказывают влияние загрязнители воздушной среды как внутри помещений, так и на открытом воздухе. Не менее важной представляется оценка уровней экспозиции различных контингентов населения, особенно таких чувствительных или восприимчивых к факторам внешней среды, как дети, пожилые и хронические больные. При оценке воздействия факторов среды совместно учитываются характеристики экспозиции населения и информация об их токсичности или о взаимосвязи между экспозицией и реакцией организма на загрязняющие вещества.

Информация о взаимосвязи между экспозицией и реакцией организма на загрязняющие вещества необходима для оценки возможного риска для здоровья. Расчет количественных показателей воздействия на здоровье той или иной групп населения проводится на основании прогнозируемого увеличения уровня негативных последствий для здоровья (на примере роста показателей поступления больных на стационарное лечение или повышения уровня смертности), обусловленных экспозицией при определенном уровне загрязнения воздушной среды. Для этого необходимо располагать информацией не только о реакции организма на конкретные концентрации загрязнителей на основании эпидемиологических или же токсикологических исследований, но и о конкретной численности обследуемой части населения, оказавшейся под воздействием определенной концентрации атмосферных загрязняющих веществ в обследуемом населенном пункте.

В представленном докладе рассматриваются общие требования к планированию и организации работы сети, обеспечивающей мониторинг состояния окружающего воздуха, а также несколько классов моделей качества атмосферного воздуха, которые нашли свое применение в комплексных программах оценки качества воздушной среды и управления им. В докладе не приводится подробная информация о практике и методах мониторинга. Однако, представленный материал может служить основанием для формирования надлежащей практики в области мониторинга

и оценки последствий для здоровья. С этой для каждого этапа процесса мониторинга качества атмосферного воздуха особое внимание обращается на ряд важнейших вопросов и приводятся рекомендации. Технические детали, связанные с данным кругом проблем, обсуждаются в основной части доклада, а также в других отчетных материалах, упоминаемых в нем.

В связи с оценкой качества атмосферного воздуха вниманию лиц, принимающих решения, и разработчикам соответствующих систем предлагаются вопросы, рассматриваемые ниже.

Разработка и планирование системы мониторинга

- Действующие системы мониторинга атмосферного воздуха часто не являются полностью предназначенными для определения количественных характеристик экспозиции населения по токсичным атмосферным примесям и оценке связанных с этим последствий для здоровья.
- Поэтому при разработке новых или при усовершенствовании уже действующих программ мониторинга следует учитывать необходимость получения данных измерений, на основании которых будет проводиться оценка влияния на здоровье населения.
- Изучаемые загрязнители, временные интервалы измерений и места для отбора проб должны отвечать требованиям оценки экспозиции человека, а также ожидаемым эффектам на здоровье. От специфики местных условий и конкретной ситуации с загрязнением среды будет зависеть выбор приоритетных загрязняющих веществ и методов мониторинга.
- Помимо получения оценки воздействия на здоровье перед мониторингом могут стоять и многие другие цели. При разработке или усовершенствовании систем мониторинга эти цели, равно как и цели обеспечения качества данных, должны быть обозначены самым тщательным образом.
- Мониторинг представляет собой лишь один из многих инструментов получения оценки качества атмосферного

воздуха; мониторинг, инвентаризация выбросов и прогностические модели взаимно дополняют друг друга в рамках целостного подхода к оценке экспозиции и характера влияния на здоровье.

Экономическая эффективность программ проведения оценки

- Благодаря инвестициям в системы мониторинга, оценки и контроля загрязнения удастся избежать таких последствий для здоровья и экосистем, которые, как правило, связаны с более высокими затратами по сравнению с профилактическими мероприятиями.
- Программы мониторинга должны быть эффективными с точки зрения затрат, стабильно финансироваться, обеспечиваться необходимыми материальными и кадровыми ресурсами и соответствовать местным потребностям и условиям.
- Следует всегда отдавать предпочтение самым простым технологиям и процедурам, находящимся в полном соответствии с достижением общих целей мониторинга.
- В дополнение к начальным капитальным затратам при планировании финансового обеспечения программ мониторинга необходимо полностью учитывать текущие расходы на эксплуатацию системы и ее поддержание в работоспособном состоянии, на управление данными, а также на обеспечение и контроль качества.

Обеспечение и контроль качества

- Всеобъемлющее обеспечение и контроль качества при выполнении программ мониторинга является важнейшим условием для получения точных и надежных результатов измерений, соответствующих намеченным целям.
- Гармонизация качества проводимых измерений как на национальном, так и на международном уровне должна обеспечиваться посредством координации усилий по обеспечению и контролю качества, аккредитации лабораторной службы на национальном уровне и проведения международных программ оценки качества.

Управление данными и распространение информации

- Полезность первичных данных измерений весьма ограничена; такие данные необходимо преобразовать с помощью соответствующего анализа и интерпретации в полезную информацию, нацеленную на учет потребностей широкого круга конечных потребителей. Для проведения таких мероприятий требуются специальные знания, инфраструктура и финансирование.
- К конечным потребителям можно отнести научную и медицинскую общественность, лиц, принимающих решения в области политики и планирования на местном или национальном уровне, средства массовой информации и население в целом.
- Данные и информация, получаемые с помощью программ мониторинга, должны доводиться до сведения пользователей из среды научной и медицинской общественности в такой форме и в таких временных рамках, которые отвечают их конкретным потребностям.
- Каждый человек имеет право быть информированным о качестве атмосферного воздуха, которым он или она дышит. Благодаря распространению информации о качестве атмосферного воздуха среди населения выполняется задача информирования, обучения и повышения уровня осознания важнейших вопросов окружающей среды и здоровья.
- Хорошо информированная и сведущая общественность также может сыграть конструктивную роль и оказать действенную помощь в решении проблемы улучшения окружающей среды. В связи с этим рекомендуется проводить работу по обучению населения и распространению общественно значимой информации.
- Рекомендуется также обеспечивать свободный международный обмен информацией о качестве атмосферного воздуха и ее распространение, используя для этого такую открытую и легко доступную среду для передачи информации, как Интернет (World Wide Web).

В представленном докладе обсуждается целый комплекс технических вопросов. Ниже перечисленные вопросы в

основном адресованы менеджерам по управлению сетью и ученым-гигиенистам, деятельность которых связана с использованием данных о качестве атмосферного воздуха.

Оценка экспозиции населения

- Качество окружающего воздуха следует рассматривать как один из показателей истинной экспозиции населения, поскольку факторы, связанные с источниками загрязнения воздушной среды внутри зданиями и помещений, оказывают прямое влияние на персональную экспозицию.
- С точки зрения потребностей оценки воздействия внешней среды на здоровье, при оценке качества атмосферного воздуха следует принимать во внимание весь диапазон экспозиции населения, обусловленной загрязнением окружающего воздуха.
- При оценке экспозиции населения следует учитывать вариации качества атмосферного воздуха по территории города путем включения в ее структуру типичных взаимосвязей между определенными видами деятельности и временем суток и проводя расчеты средневзвешенных по времени величин.
- Для корректного определения экспозиции населения необходимо знать структуру распределения населения, а также места, где следовало бы разместить пункты мониторинга атмосферного воздуха для определения концентраций загрязнителей, воздействию которых подвергается население. При этом следует обеспечить наблюдение не только за очагами загрязнения или районами с максимальными уровнями загрязнения, но и иметь в своем распоряжении репрезентативные посты наблюдения в местах проживания основной массы населения.

Установление соотношений между уровнем экспозиции и реакцией на загрязнение

- Математическая форма взаимосвязей между экспозицией и реакцией на загрязнение может варьироваться в зависимости от степени токсичности загрязнителя.

- Данные о концентрациях и экспозиции по конкретному загрязнителю должны соответствовать времени осреднения и находиться в прямой зависимости от временной структуры взаимосвязей между уровнем экспозиции и реакцией на загрязнение или другой информацией о влиянии на здоровье.

Соотношения между источниками выбросов и качеством атмосферного воздуха

- В городских условиях к источникам загрязнения окружающего воздуха относятся различные стационарные, подвижные и площадные источники¹ выбросов. Все источники такого рода должны быть известны с тем, чтобы можно было принимать эффективные контрмеры по минимизации экспозиции.
- Модели рассеивания и статистические модели, предназначенные для описания загрязнения атмосферного воздуха, используются в качестве дополнения к действующим сетям мониторинга и являются важнейшими составляющими всесторонней программы управления качеством атмосферного воздуха.
- Модели рассеивания вредных веществ в атмосфере часто находят свое применение при определении мест размещения репрезентативных пунктов мониторинга или контрольных пунктов в очагах загрязнения для измерения типичных или повышенных уровней загрязнения.
- Модели качества атмосферного воздуха нередко используются при разработке оптимальных и экономически эффективных, ориентированных на источники программ снижения выбросов с целью охраны здоровья населения.

¹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

1

Введение

Значительный процент населения Европейского региона ВОЗ проживает на территориях, где загрязнение атмосферного воздуха достигает уровней, которые приводят к негативным последствиям для здоровья (1). Снижение риска здоровью является главной целью борьбы с загрязнением, которая проводится органами власти на различных уровнях и находит поддержку у большинства членов общества. Такие же цели являются составной частью региональной стратегии достижения здоровья для всех (2). Разработка эффективной стратегии борьбы с загрязнением обуславливает необходимость установления основных характеристик загрязнения, являющегося причиной самых серьезных или наиболее распространенных проблем здоровья, возникающих у экспонированной части населения. Особого внимания заслуживают вопросы, касающиеся выявления очагов загрязнения, изменения степени загрязнения с течением времени и химического состава загрязняющих веществ. Благодаря действующим сетям мониторинга качества атмосферного воздуха удастся определять вышеперечисленные параметры и воссоздавать общую ситуацию с состоянием и тенденциями изменения качества атмосферного воздуха в Европе.

Для разработки стратегии уменьшения загрязнения, нацеленной на эффективную защиту общественного

здоровья, скорее требуется информация, а не просто знание о тех местах, где может проявляться неблагоприятное влияние на здоровье. С точки зрения разновидности поражений и ожидаемой численности пострадавших вследствие загрязнения информация о тяжести и масштабах такого влияния может понадобиться для принятия или поддержки решений, реализация которых бывает связана с большими затратами и различными усилиями со стороны общества. Выгоды для здоровья, получаемые в результате борьбы с загрязнением, могут превосходить понесенные при этом затраты, а соответствующие программы с большей степенью вероятности могут пользоваться поддержкой общественности. Количественные оценки полученных результатов позволяют отрабатывать методики оценки последствий загрязнения для здоровья. Для таких методик необходима как информация об экспозиции населения по конкретным атмосферным примесям, так и знания о связях между экспозицией и состоянием здоровья, которые основываются на результатах эпидемиологических и токсикологических исследований.

Системы мониторинга качества атмосферного воздуха не всегда позволяют адекватным образом оценить показатели экспозиции населения к загрязненному атмосферному воздуху. Пространственные вариации уровней загрязнения и различия между территориями, охваченными мониторингом, и районами проживания населения создают определенные трудности при практическом применении данных о качестве атмосферного воздуха, полученных посредством сетей рутинного мониторинга. Кроме того, метод, в соответствии с которым формируются отчетные данные мониторинга качества атмосферного воздуха, ограничивает возможность использования собранной информации для оценки экспозиции к загрязненному атмосферному воздуху, и поэтому связанных с ним последствий для здоровья.

Цели и задачи

Ввиду важности получения достоверной информации об экспозиции населения, обусловленной загрязнителями

атмосферного воздуха, Европейский центр ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья организовал рабочую группу, перед которой ставилась следующая задача: определить характеристик сетей мониторинга, соответствие которым позволяло бы использовать эти сети для оценки потенциальной экспозиции населения по отношению к примесям, содержащимся в атмосферном воздухе. Оценка качества атмосферного воздуха должна проводиться с учетом возможности последующего определения экспозиции населения и показывать связь с источниками загрязнения.

Принципы, изложенные в данном докладе, служат дальнейшему совершенствованию систем мониторинга качества атмосферного воздуха, чтобы эти системы стали более полезны для оценки воздействия загрязнения на здоровье.

Задачи настоящего доклада были определены на встрече подготовительной группы в июле 1997 г., участники которой также определили состав рабочей группы, разработали план настоящей публикации и утвердили кандидатуры авторов ее первой редакции. Первая редакция публикации была рассмотрена на совещании рабочей группы, проходившем в ноябре 1997 г. в Вене. По результатам состоявшейся дискуссии авторами первых версий или дополнительными авторами в текст были внесены соответствующие изменения для его последующего редактирования на совещании редколлегии, которое проводилось в январе 1998 г. в Билтховене, Нидерланды.

Методы, о которых идет речь в данном докладе, полностью соответствуют тем принципам, которые предложены в пересмотренном и обновленном варианте Руководства ВОЗ по контролю качества атмосферного воздуха (Приложение 1.1). Поскольку перечень наблюдаемых загрязнителей зависит от текущей ситуации в обследуемом городе, в докладе приводится описание методов выбора измеряемых примесей применительно к конкретной ситуации.

Основное внимание в данном докладе уделено проблеме загрязнения на локальном уровне с учетом роли и вклада

атмосферных загрязнений, переносимых на большие расстояния. Наряду с этим для воссоздания общей картины по стране также рассматриваются вопросы гармонизации деятельности локальных сетей. Несмотря на общеизвестную роль источников загрязнения воздушной среды внутри помещений в суммарной экспозиции, обусловленной атмосферными примесями, как в отношении отдельных лиц, так и целых групп населения – основное внимание в рамках данного доклада уделяется мониторингу загрязнения наружного воздуха. Из-за необходимости разработки методов управления факторами риска здоровью, связанными с присутствием загрязняющих веществ в окружающем воздухе, такой подход представляется целесообразным ввиду существующих отличий мониторинга экспозиции к загрязненной воздушной среде внутри помещений (3). Вот почему и по этой причине, в том числе, на страницах данной публикации обсуждаются вопросы, касающиеся связей между качеством окружающего воздуха и источниками загрязнения.

К целевым группам специалистов, которым адресовано данное издание, относятся:

- менеджеры по управлению сетью, занимающиеся проектированием новых или совершенствованием уже действующих сетей;
- лица, формулирующие политику на различных административных уровнях;
- лица, оказывающие свое влияние на политику.

При этом центральное место отводится вопросам стратегии и общим подходам. Поэтому для получения более подробной технической информации по методам, о которых идет речь в данном случае, читателю предлагается обратиться к другим публикациям.

Структура публикации

За вводной частью следуют четыре основных раздела доклада. В первом из них (Глава 2) представлен детальный

анализ места и роли оценки качества атмосферного воздуха в цепи причинных связей между выбросом загрязняющих веществ и последствиями их влияния на здоровье. Во втором разделе (Глава 3) формулируется общая концепция оценки качества атмосферного воздуха, включая принципы планирования сети мониторинга, интерпретации и подготовки отчетных данных, а также решения проблем обеспечения качества. В третьем разделе (Глава 4) изложены конкретные подходы к мониторингу отдельных атмосферных примесей в целях иллюстрации принципов, о которых говорится в предыдущих разделах. В докладе также приводится ряд конкретных примеров определения формата и содержания отчетных материалов с результатами оценки качества атмосферного воздуха, подлежащих распространению (Глава 5). Четвертый раздел, состоящий из пяти приложений, посвящен техническому описанию некоторых аспектов, краткая характеристика которых представлена в предыдущих разделах. Выводы и рекомендации, полученные в процессе дискуссий между членами рабочей группы, даются в Главе 6.

В духе устоявшейся традиции ВОЗ в области разработки программ, связанных с оценкой качества атмосферного воздуха, в предлагаемой читателю вводной части приводится краткое описание предыдущей деятельности, логическим продолжением которой является настоящий доклад.

Предшествующая аналогичная деятельность ВОЗ

ГСМОС/ВОЗДУХ и Информационная система по управлению качеством атмосферного воздуха

Вопросы, связанные с оценкой качества атмосферного воздуха и последствиями воздействия воздушных примесей на здоровье, были и остаются на повестке дня предыдущей и текущей деятельности ВОЗ. Программа по Глобальной системе мониторинга окружающей среды (ГСМОС)/ВОЗДУХ², проводившаяся под эгидой ВОЗ и Программы

² См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Организации Объединенных Наций по окружающей среде в период с 1973 по 1996 гг., была ориентирована на совершенствование оценки качества атмосферного воздуха во всем мире и получение важнейшей содержательной информации о глобальных тенденциях в изменении концентраций загрязняющих веществ. Перед Программой ГСМОС/ВОЗДУХ были поставлены следующие задачи:

- улучшение качества данных;
- оказание помощи городам при разработке стратегий борьбы с загрязнением воздушной среды; и
- использование правил контроля и обеспечения качества для обеспечения сопоставимости и совместимости соответствующих данных.

Благодаря функционированию станций мониторинга состояния воздуха по программе ГСМОС/ВОЗДУХ, находившихся в ведении государственных органов стран или городских властей, базу данных ГСМОС/ВОЗДУХ удавалось пополнять на добровольной основе. Города, принимавшие участие в Программе, представляли широкий диапазон климатических, топографических и социально-экономических условий; к тому же городские власти обладали различными потенциальными возможностями в решении проблем управления качеством атмосферного воздуха. ГСМОС/ВОЗДУХ была единственной программой глобального масштаба, обеспечивающей получение данных долгосрочного мониторинга загрязнения воздушного бассейна городов в развивающихся странах. Таким образом, эта программа позволяла заниматься не только глобальной оценкой уровней загрязнения воздушной среды в городах и тенденций их изменения, но и проводить анализ потенциала населенных пунктов по контролю ситуации с загрязнением атмосферного воздуха.

Подготовка методологических документов и публикаций была важной составляющей в рамках мероприятий по Программе ГСМОС/ВОЗДУХ (4–14). Содержание пяти вышедших в свет томов в Серии обзорного руководства по методологии ГСМОС/ВОЗДУХ (4–8) наиболее тесно перекликаются с настоящим изданием.

В 1996 г. Программа ГСМОС/ВОЗДУХ завершилась. Проект ВОЗ, начатый в рамках Программы «Здоровые города» и называющийся “Информационная система по управлению качеством атмосферного воздуха” (АМИС)³, можно считать преемницей Программы ГСМОС/ВОЗДУХ. Одним из компонентов этой системы является база данных по качеству атмосферного воздуха в городах, которая распространяется ВОЗ на компакт-дисках CD-ROM. Информация, собранная посредством АМИС, уже нашла свое применение при анализе состояния и динамики трендов качества атмосферного воздуха в городах развивающихся стран (15).

Критерии ВОЗ по контролю качества атмосферного воздуха

Критерии качества атмосферного воздуха, рекомендованные ВОЗ для Европы⁴, служат основанием для характеристики воздействия основных атмосферных примесей на здоровье (16). В пересмотренном и обновленном варианте названных критериев возможности проведения такой оценки расширились за счет количественных соотношений между экспозицией по некоторым загрязнителям и ответной реакцией. Пересмотренный вариант критериев кратко описан в Приложении 1.1 к данному докладу.

Одним из важных достижений, ставших реальным благодаря выходу в свет пересмотренного варианта критериев, является признание такого явления, как непрерывность воздействия отдельных загрязнителей, а также их эффекта на некоторую часть населения, который проявляется даже при относительно низких концентрациях, довольно часто наблюдаемых в окружающей среде. Это подчеркивает необходимость более комплексного подхода к управлению качеством воздуха, чем просто не допускать случайно происходящих превышений концентрациями определенных критериев качества воздуха, что может оказаться приемлемым для примесей, которые обладают пороговым уровнем воздействия. Понимание пределов, в которых проявляется зависимость состояния

³ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

⁴ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

здоровья населения от качества атмосферного воздуха, позволяет осуществлять выбор наиболее эффективной стратегии предотвращения факторов риска и добиваться улучшения здоровья населения. В поддержку выполнения поставленной задачи были разработаны методы оценки воздействия загрязнителей на здоровье на основе совместного использования информации об экспозиции населения и данных токсикологии.

Разработка критериев имеет целью получение научного обоснования для таких инструментов управления качеством атмосферного воздуха, как национальные стандарты. При подготовке директив контроля загрязнения атмосферного воздуха Европейская комиссия⁵ использовала в своей работе пересмотренный вариант критериев качества атмосферного воздуха (17). В этих директивах, наряду с другими вопросами, приводится описание методов, используемых при оценке качества атмосферного воздуха, а также при проверке соответствия качества воздушной среды объявленным целям. Эти методы кратко изложены в Приложении 1.2 и служат конкретным примером всестороннего подхода, которым должны скоординировано руководствоваться 15 стран - участниц Европейского союза, также входящие в состав Европейского региона ВОЗ.

Проведение оценки воздействия загрязнения воздуха на здоровье

Методы, нашедшие свое применение при оценке воздействия загрязнителей воздуха на здоровье, были предметом обсуждения на семинарах и конференциях, организованных по инициативе или при участии Европейского центра ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья (18, 19). Определение воздействия атмосферных загрязняющих веществ исключительно путем мониторинга состояния здоровья населения не имеет практического значения, поскольку ожидаемые эффекты на здоровье не специфичны. Поэтому, в данном случае более приемлемый подход базируется на тщательно спланированных эпидемиологических обследованиях, позволяющих разграничить

⁵ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

степень воздействия загрязнения воздушной среды от целого ряда других определяющих факторов здоровья и получить данные, на основании которых будет установлена зависимость между экспозицией и состоянием здоровья. Из-за сложности эпидемиологических обследований и связанных с ними больших временных и материальных затрат они не могут получить широкое распространение, и вместо них свое практическое применение находит подход с позиции оценки риска (20). Такой метод основан на комбинировании информации о зависимости между экспозицией и ответной реакцией, а также данных об экспозиции населения при оценке степени последствий для здоровья, ожидаемых в результате неблагоприятного воздействия этой экспозиции на здоровье населения. Описание конкретного примера использования такого метода на практике дается на с. 35–39 данного доклада.

Для применения вышеуказанного метода крайне необходимы достоверные данные об экспозиции. Участники проведенного в 1995 г. консультативного совещания по показателям факторов качества атмосферного воздуха (21), влияющих на здоровье, предложили формат для сбора данных, получаемых в рамках сетей мониторинга качества атмосферного воздуха, предназначенных для оценки экспозиции населения воздействию отдельных и наиболее часто контролируемых воздушных примесей. Помимо этого, участники консультативного совещания отметили, что структура сети станций мониторинга качества атмосферного воздуха в конкретной стране или регионе может предопределять, насколько полезными являются данные, получаемые в рамках сети, для оценки экспозиции населения и, следовательно, для анализа последствий для здоровья. Отдельные выдержки из отчета о работе консультативного совещания приведены в Приложении 5.

Библиография

1. WHO EUROPEAN CENTRE FOR ENVIRONMENT AND HEALTH. *Concern for Europe's tomorrow. Health and the environment in the European Region*. Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1995.

2. *ЗДОРОВЬЕ-21. Основы политики достижения здоровья для всех в Европейском регионе ВОЗ*. Копенгаген, Европейское региональное бюро ВОЗ, 1999 г. (Европейская серия по достижению здоровья для всех, № 6).
3. JANTUNEN, M. ET AL., ED. *Assessment of exposure to indoor air pollutants*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1997 (WHO Regional Publications, European Series, No. 78).
4. *Quality assurance in urban air quality monitoring*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 1, document WHO/EOS/94.1).
5. *Primary standard calibration methods and network intercalibrations for air quality monitoring*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 2, document WHO/EOS/94.2).
6. *Measurement of suspended particulate matter in ambient air*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 3, document WHO/EOS/94.3).
7. *Passive and active sampling methodologies for measurement of air quality*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 4, document WHO/EOS/94.3).
8. *Guidelines for GEMS/AIR collaborative reviews*. Geneva, World Health Organization, 1995 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 5, document WHO/UNEP 1995).
9. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME AND WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Urban air pollution in megacities of the world*. Oxford, Blackwell Reference, 1992.
10. ECONOMOPOULOS, A.P. *Assessment of sources of air, water, and land pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies*. Part 1. *Rapid inventory techniques in environmental pollution*. Geneva, World Health Organization, 1993 (document WHO/PEP/GETNET/93.1-A).
11. ECONOMOPOULOS, A.P. *Assessment of sources of air, water, and land pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies*. Part 2. *Approaches for consideration in formulating environmental control strategies*. Geneva, World Health Organization, 1993 (document WHO/PEP/GETNET/93.1-B).

12. *City air quality trends (GEMS/AIR data)*. Vol. 1. Bangkok, Beijing, Bombay, London, Sao Paulo, Shanghai, Tehran, Tokyo, Wroclaw, Zagreb. Geneva, World Health Organization, 1992 (document WHO/PEP 92.1).
13. *City air quality trends (GEMS/AIR data)*. Vol. 2. Athens, Cairo, Caracas, Christchurch, Hong Kong, Los Angeles, Madrid, New York, Shenyang, Toronto. Geneva, World Health Organization, 1993 (document WHO/PEP/93.26).
14. *City air quality trends (GEMS/AIR data)*. Vol. 3. Calcutta, Chicago, Guangzhou, Jakarta. Kuala Lumpur, Lisbon. Santiago, Sydney, Tel Aviv, Warsaw. Geneva, World Health Organization, 1995 (document WHO/EOS 95.17).
15. KRZYZANOWSKI, M. & SCHWELA, D. Patterns of air pollution in developing countries. In: HOLGATE., S.T. ET AL., ED. *Air pollution and health*. San Diego, Academic Press, 1999, pp. 105–113.
16. *Air quality guidelines for Europe*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1987 (WHO Regional Publications, European Series, No. 23).
17. Council directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official journal of the European Communities*, **L163**(29/06): 41–60 (1999).
18. INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND HEALTH. *Health effects of ozone and nitrogen dioxides in an integrated assessment of air pollution*. London, Department of Environment, 1997.
19. *Quantification of health effects related to SO₂, NO₂, O₃ and particulate matter exposure. Report from the Nordic Expert Meeting, Oslo, 15–17 October 1995*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1995 (document EUR/ICP/EHAZ 94 04/DT01).
20. KRZYZANOWSKI, M. Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. *Occupational and environmental medicine*, **54**: 145–151 (1997).
21. *Health related air quality indicators and their application in health impact assessment in HEGIS: report on a WHO consultation, Sosnowiec, Poland, 21–23 November 1995*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1997 (document EUR/ICP/EHAZ 94 06/MT03).

2

Информация о качестве атмосферного воздуха, необходимая для оценки его влияния на здоровье

*Otto Hänninen, Alexander Economopoulos
и Halûk Özkaynak*

Введение

Оценка качества атмосферного воздуха имеет большое значение при определении характера экспозиции населения ввиду загрязнения воздушной среды. В то же время оценка экспозиции населения необходима для оценки последствий для здоровья, которая, в свою очередь, чрезвычайно важна для разработки планов управления качеством атмосферного воздуха и охраны здоровья населения.

Влияние вредных воздушных примесей на человеческий организм может проявиться в целом разнообразии эффектов на здоровье в зависимости от таких факторов, как тип загрязнителя; степень, продолжительность и частота экспозиции; и характерная токсичность для конкретного загрязняющего вещества. В своей повседневной деятельности люди контактируют с атмосферными примесями как внутри помещений, так и за их пределами. Следовательно, необходимо учитывать различия в источниках и составе загрязняющих веществ, присутствующих внутри помещений и на открытом воздухе, а также их относительный вклад в

суммарную персональную экспозицию. В данной главе приводится описание не только различных факторов, негативно влияющих на персональную экспозицию, но и той роли, которая отводится загрязнению окружающего воздуха при определении экспозиции населения и ее последствий для здоровья.

Поскольку многочисленные эпидемиологические исследования уже доказали, что повышенные уровни воздействия различных атмосферных примесей ассоциируются с острыми или хроническими эффектами на здоровье, то в данной публикации особое внимание уделяется методам определения количественной оценки экспозиции населения, обусловленной загрязнением окружающего воздуха. В частности, обсуждаются методы мониторинга и приемы моделирования, полезные при определении экспозиции населения воздействию наружного воздуха. Мониторинг качества атмосферного воздуха наряду с другими методами играет важнейшую роль при оценке экспозиции населения воздействию загрязнения воздушного бассейна, а также при прогнозировании масштабов риска здоровью населения.

Мониторинг качества атмосферного воздуха нередко находит свое применение для определения уровней загрязнения воздушного бассейна как в городах, так и в сельской местности. Сеть мониторинга позволяет получить количественные данные по концентрации загрязнителей, которые можно впоследствии сопоставить с национальными или международными критериями. Распространенность факторов риска может использоваться для оценки риска здоровью населения на основании данных экспозиции. Одна из важнейших функций мониторинга заключается в получении основополагающей информации для определения:

- уровня и распределения экспозиции по численности населения;
- контингентов населения с высокими параметрами экспозиции; и
- риска, связанного с возможными последствиями для здоровья.

Мониторинг качества атмосферного воздуха в режиме «он-лайн» может использоваться в системах предупреждения и тревоги при резком повышении уровня загрязнения. Такие системы работают во взаимодействии со средствами массовой информации в целях информирования населения о текущем уровне качества атмосферного воздуха, а при необходимости и для распространения рекомендаций по снижению чрезмерного загрязнения среды или минимизации экспозиции. Мониторинг качества окружающего воздуха также позволяет получать ценные исходные данные для эпидемиологических исследований, которым принадлежит жизненно важная роль при выявлении зависимости между последствиями для здоровья и концентрациями загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

В целом для оценки экспозиции необходимы как мониторинг, так и моделирование для определения источников, к которым следует применять меры по уменьшению выбросов, а также для осуществления эффективной программы управления качеством атмосферного воздуха ради охраны здоровья человека.

Качество атмосферного воздуха и оценка его влияния на здоровье

Цель мониторинга качества атмосферного воздуха и управления им

На состояние окружающей среды оказывают свое влияние различные виды деятельности человека – экономика, товарное производство, транспорт и сфера потребления. Все этапы такой деятельности прямо или косвенно влияют на загрязнение воздушного бассейна.

Под управлением качеством атмосферного воздуха подразумеваются все виды деятельности, нацеленные на регулирование качества воздуха в окружающей среде. Конечной целью управления качеством атмосферного воздуха является обеспечение такой степени его чистоты, которая была бы безопасна для здоровья населения и окружающей среды.

Процесс такого рода, развитие которого начинается с функций экономики общества в целом и завершается возникновением эффектов на здоровье ввиду загрязнения воздушной среды, наглядно представлен в виде непрерывной цепи событий «движущая сила–давление–состояние–экспозиция–эффект–действие» (рис. 2.1) (1). Представленная цепь событий наглядно демонстрирует те звенья, в период действия которых общество может принять меры по минимизации неблагоприятных последствий для здоровья. Роль мониторинга качества атмосферного воздуха заключается в получении информации о концентрациях загрязняющих веществ в окружающей среде. В дальнейшем полученные данные используются для оценки экспозиции

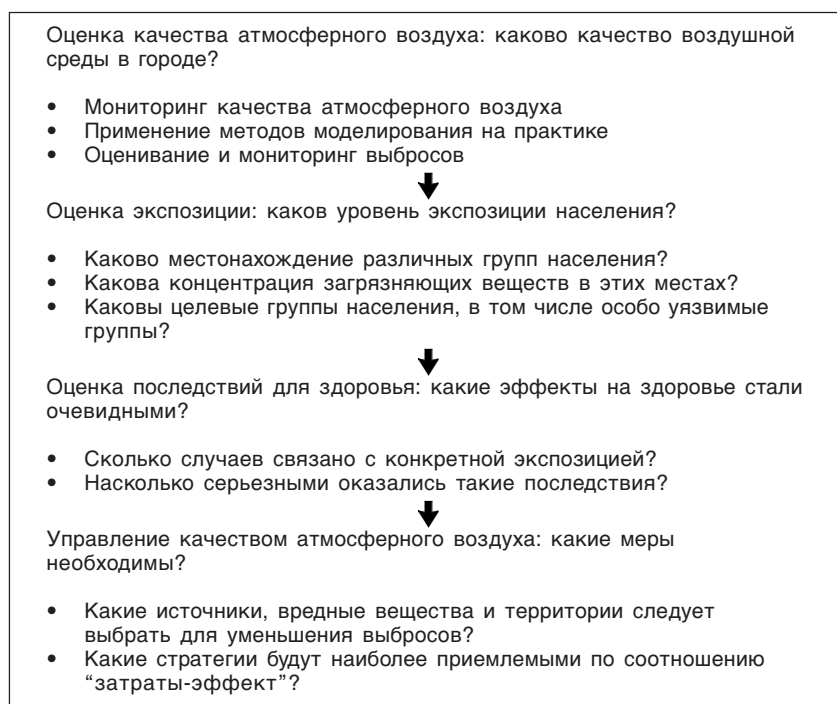
Рисунок 2.1. Роль мониторинга в цепи «движущая сила–давление–состояние–экспозиция–эффект–действие»



населения и неблагоприятных последствий для здоровья, обусловленных загрязнением среды. Если факторы риска для здоровья оцениваются как слишком высокие, то необходимы меры по контролю выбросов, а также по улучшению санитарного состояния окружающей среды. Текст в рамке 2.1 показывает логику развития событий при мониторинге качества атмосферного воздуха.

В целях предотвращения неблагоприятного воздействия загрязнения на здоровье можно воспользоваться двумя подходами. Согласно сформировавшейся методике, следует предпринимать усилия по улучшению окружающей среды, по контролю выбросов, а также по мониторингу и контролю уровня загрязнения окружающей среды. Таким образом

Рамка 2.1. Логика развития событий применительно к мониторингу качества атмосферного воздуха



можно будет добиться оздоровления окружающей среды в целом. Более эффективный с точки зрения затрат подход к охране здоровья человека состоит в анализе неблагоприятных эффектов на здоровье населения, после которого начинается этап планирования мероприятий по охране окружающей среды, ориентированных на максимально возможное уменьшение экспозиции, обуславливающей такие эффекты.

Связь между загрязнением воздушной среды и его воздействием на здоровье человека

Воздействие на здоровье человека, обусловленное загрязнением воздушной среды, проявляется посредством удлиненной цепи событий, включающих в себя физические, химические, поведенческие и физиологические процессы. Звенья этой цепи начинаются с момента выбросов вредных веществ в атмосферу, где происходит рассеивание и разбавление примесей с образованием изменчивых пространственно-временных распределений концентраций загрязняющих веществ. При переносе загрязнителей с воздушными потоками фотохимические и другие реакции, при которых трансформируются примеси.

Люди, между тем, занимаются своей повседневной деятельностью. Основную часть времени (около 80–90% в Европе) население проводит внутри помещений. Такими помещениями в основном являются жилые дома, рабочие места и промышленные предприятия, где могут иметь место собственные источники загрязнения атмосферного воздуха. Кроме того, даже в быту могут быть внутренние источники поступления загрязнения в окружающий воздух, такие, например, как строительные материалы и деятельность человека в домашних условиях, в частности табакокурение, приготовление пищи, пользование нагревательными приборами, а также любимые занятия, свойственные каждому человеку.

Мониторинг качества окружающего воздуха предназначен для определения концентраций загрязняющих веществ в воздухе вне помещений. При этом персональная экспозиция находится в зависимости от состояния микросреды и распределения видов деятельности по времени. Экспозиция,

обусловленная загрязнителями наружного воздуха, предопределяет их дозу воздействия на легкие и, следовательно, определенную дозу, поступающую к разным органам-мишеням организма человека. Впоследствии индивидуальные эффекты на здоровье определяются дозой загрязнителя, проникшей в разные биологические системы, токсичности загрязняющего вещества или его метаболитов, а также от индивидуальной восприимчивости человеческого организма. Поэтому результаты мониторинга в лучшем случае лишь косвенным образом указывают на риск проявления возможных эффектов на здоровье. Несмотря на то, что экспозиция является достаточно обоснованной мерой степени риска для здоровья, разные люди, подвергшиеся приемлемой экспозиции, могут получить разные дозы одного и того же загрязнителя, а возникающие при этом последствия для их здоровья могут оказаться несопоставимыми. Чтобы объяснить развитие обостренной реакции у чувствительных людей, необходимо провести оценку уровней экспозиции у различных контингентов населения, особенно у таких наиболее уязвимых групп, как дети, пожилые и инвалиды. Это означает, что в отношении различных контингентов населения должен проводиться анализ распределения рода деятельности по времени суток и концентраций загрязнителей в микросреде.

Исследования загрязнения атмосферного воздуха, выполненные на локальном уровне, позволили продемонстрировать целый ряд различных неблагоприятных последствий для здоровья человека в результате воздействия загрязненной воздушной среды. В критериях качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы (Приложение 1.1), представлен всесторонний обзор таких последствий для здоровья. Ожидаемые эффекты на здоровье зависят от типа загрязнителя, уровня экспозиции и персональной чувствительности организма человека. К наиболее распространенным последствиям для здоровья, выявленным в ходе исследований, относятся следующие:

- снижение функции легких;
- приступы астмы;
- респираторные симптомы;

- ограничение активности;
- расширение масштабов лекарственного лечения;
- рост показателей стационарного лечения;
- рост показателей обращаемости в кабинеты неотложной помощи;
- развитие респираторных заболеваний;
- наступление преждевременной смерти.

Среди лиц, проживающих на загрязненных территориях, наблюдаются повышенные уровни заболеваемости или более длительные периоды течения болезней по сравнению с населением районов с более низким уровнем загрязнения. Кроме того, воздействие повышенных уровней загрязнения также ассоциируется с наступлением преждевременной смерти. Повышенные уровни смертности и заболеваемости связаны с соответствующими затратами из государственного бюджета и личных средств граждан и приводят к человеческим страданиям, которые в будущем можно предотвратить, направляя развитие общества по пути сохранения чистоты воздушного пространства и добиваясь, в частности, снижения уровней экспозиции.

Определение понятия «экспозиция»

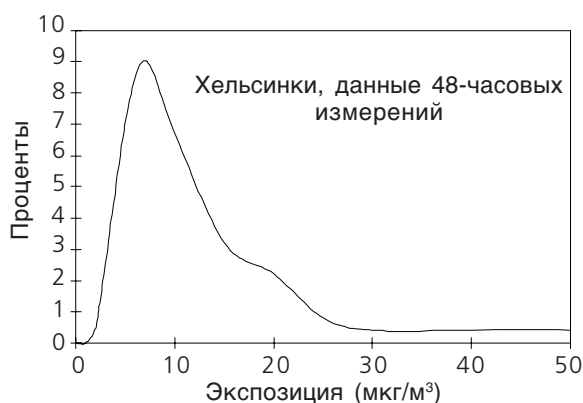
Мониторинг качества атмосферного воздуха служит основным источником информации для оценки экспозиции населения, обусловленной загрязнением воздушной среды. Экспозиция определяется концентрацией загрязняющих веществ, воздействующих на людей в среде их обитания. Следовательно, в ходе мониторинга следует измерять концентрации загрязнителей в местах, где находится население, принимая во внимание не только территории с максимальными уровнями загрязнения, но и районы с высокой плотностью населения.

Слово «экспозиция» имеет разное значение в зависимости от того или иного контекста. Персональная экспозиция связана с истинными накопленными концентрациями, воздействию которых подвергся индивидуум. Если человек находится в одном месте, то воздушная среда в этом месте определяет уровень экспозиции. Если человек перемещается

из одного места в другое, то общая, итоговая за время воздействия, персональная экспозиция определяется средневзвешенным по времени качеством атмосферного воздуха во всех местах, которые он посещает⁶.

Экспозиция населения отражает суммарную экспозицию всех членов рассматриваемой группы населения⁷. Экспозицию населения можно представить в виде частотного распределения количественной оценки персональной экспозиции (рис. 2.2). Истинное распределение популяционной экспозиции не так легко измерить, поскольку стереотипы поведения индивидуума носят сложный характер.

Рисунок 2.2. Распределение персональной 48-часовой экспозиции, обусловленной взвешенными частицами с диаметром 2,5 мкм и менее, среди самодеятельного населения Хельсинки за период 1996–1997 гг. по данным измерений в рамках исследования EXPOLIS



Первоисточник: Jantunen et al. (2).

Качество окружающего воздуха можно считать одним из индикаторов экспозиции населения. Если бы измеренное качество атмосферного воздуха характеризовало пространственно-временную изменчивость концентраций

⁶ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

⁷ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

загрязнителей, а люди в течение всего времени суток находились бы на открытом воздухе (или загрязняющие вещества свободно проникали бы внутрь помещения без очистки), и источники загрязнения воздушной среды внутри помещения не принимались бы во внимание, то результаты мониторинга указывали бы на истинную популяционную экспозицию. В данном случае слово «индикатор» вводится для отражения сложности связи между качеством наружного атмосферного воздуха и истинной популяционной экспозицией. Соотношение между концентрациями загрязнителей во внешней среде и персональной экспозицией рассматривается более подробно в Приложении 4.

Деятельность по управлению качеством атмосферного воздуха

Если концентрации загрязнителей в окружающем воздухе расцениваются как слишком высокие, то такая окружающая среда нуждается в оздоровлении. Для предотвращения загрязнения требуется снизить количество выбросов. Подход к снижению уровня выбросов в атмосферу должен быть таким, чтобы обеспечить эффективное уменьшение экспозиции населения. Вполне общепринятым является регулирование важнейших источников выбросов, включая изменение технологических процессов или фильтрацию отработавших газов. Более всеобъемлющие стратегии могут включать в себя изменение спроса на некоторые виды деятельности, связанные с интенсивным загрязнением окружающей среды. Повышение эффективности использования энергии служит примером сокращения выбросов путем регулирования спроса на такую продукцию.

Наряду с осуществлением контроля за газообразными отходами планирование городского развития представляет собой еще одну возможность для снижения уровня экспозиции, т.е. необходима постановка вопроса о том, каким образом следует распределять источники выбросов по территории, где живут и работают люди. Жизненно важная роль в данном случае принадлежит транспортным системам, поскольку плотность населения и загруженность автодорожных магистралей самым тесным образом связаны

между собой. Более того, выхлопные газы от автомобильного транспорта попадают в окружающий воздух в приземном слое в местах пребывания людей. Распределение выбросов в пределах населенных мест, высота поступления выбросов в окружающий воздух и местонахождение людей – все эти переменные можно зачастую изменить в процессе планирования населенных пунктов, добившись таким образом снижения их потенциального негативного воздействия на здоровье населения.

Для уменьшения степени экспозиции, помимо предотвращения загрязнения окружающего воздуха, можно воспользоваться такими техническими приемами, как выпуск отработавших газов автомобиля с дизельным двигателем не на уровне установки последнего, а в верхней части кузова грузовика. Это позволяет снизить уровень экспозиции пассажиров автомобилей, следующих непосредственно за грузовиком, но не обязательно уровень экспозиции тех, кто едет по этой же дороге. В таких ситуациях следует проявлять известную степень осторожности, чтобы не допустить такого положения, когда меры по уменьшению пиковой персональной экспозиции в отношении нескольких лиц приводили бы к повышению суммарной экспозиции населения или же проявлялись бы в совершенно непредсказуемой экспозиции, наносящей вред здоровью человека или состоянию окружающей среды. Так, использование высоких дымовых труб обеспечивало в свое время снижение пиковой экспозиции по SO₂ для лиц, находившихся в непосредственной близости от них, и для окружающей среды, однако в конечном итоге это подвергало гораздо большее число людей экспозиции по взвешенным частицам солей серной кислоты, а экспозиции по кислотному дождю – значительно большие по площади участки окружающей среды.

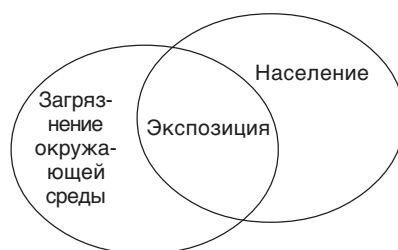
Осознание общественностью проблемы качества атмосферного воздуха может способствовать снижению не только уровней выбросов, но и экспозиции. Это обстоятельство особенно справедливо в отношении поведения транспорта. В городах мира с высоким уровнем загрязнения окружающей среды введены ограничения на пользование

личными легковыми автомобилями. Можно добиться дальнейшего уменьшения неблагоприятных эффектов на здоровье путем предотвращения необязательной экспозиции особо чувствительных лиц. В крайних случаях наиболее уязвимым людям рекомендуется оставаться в помещении в те дни, когда уровни загрязнения среды особенно высоки. Сами по себе эти методы не ассоциируются с желаемой целью, однако оправданы состоянием окружающей среды, которое нередко одновременно оказывается следствием комбинации деятельности человека и природных явлений, как например, неблагоприятные метеорологические условия или стихийное бедствие.

Связь между информацией о качестве атмосферного воздуха и о последствиях его воздействия

Загрязнение воздушной среды при экспозиции населения приводит к нарушениям здоровья. В концептуальном плане экспозиция представляет собой наложение области определенных концентраций загрязняющих веществ в окружающем воздухе на местонахождение населения (рис. 2.3). Оценка качества атмосферного воздуха в целом и мониторинг качества воздушной среды в частности позволяют получать информацию, интерпретация которой показывают возможную экспозицию населения. Для этого необходимо учитывать местонахождение различных подгрупп населения и определять качество воздушной среды на этих территориях.

Рисунок 2.3. Экспозиция представляет собой наложение области изменяющихся концентраций загрязняющих веществ на динамику плотности населения



Изменчивость пространственно-временных распределений концентраций загрязняющих веществ в окружающем воздухе

Часто атмосферное загрязнение в окружающей среде распределено неравномерно. Во многих случаях повышенные концентрации загрязнителей наблюдаются неподалеку от источников загрязнения. С ростом интенсивности автотранспортных потоков в городах наиболее загрязненные территории переместились из промышленных зон в места компактного проживания населения. Причем, когда происходит совмещение загрязненных территорий с населенными районами, наблюдается тенденция к постепенному нарастанию экспозиции.

Время года оказывает свое влияние на уровни выбросов многих источников. Наряду с меняющимися уровнями таких выбросов рассеивающая способность атмосферы изменяется от сезона к сезону, что становится особенно заметным при смене нормальных условий на экстремальные. Для оценки диапазона возможных колебаний концентраций загрязняющих веществ на конкретной территории обычно требуется от 6 до 12 месяцев⁸.

Такая пространственно-временная изменчивость выбросов, равно как и изменяющиеся условия рассеивания загрязнителей в атмосфере, обуславливают сложный характер изменчивых полей концентраций загрязняющих веществ в окружающей среде. Результаты мониторинга представляют лишь то место и время, когда и где происходил отбор, взятие пробы или проводились соответствующие измерения. Стратегия отбора проб должна быть спланирована самым тщательным образом с тем, чтобы наиболее оптимально использовать отведенное для этого время, а также количество постов мониторинга и места их расположения.

Концентрации загрязняющих веществ внутри помещений всегда отличаются от их уровней на открытом воздухе в непосредственной близости от самих помещений.

⁸ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Вентиляционные системы отфильтровывают часть отдельных загрязнителей, однако некоторые внутренние источники могут также оказаться причиной повышения концентраций тех же самых загрязнителей внутри помещений.

В самом простом случае в целях определения концентраций загрязнителей на всей территории города и экспозиции всех его жителей используется всего один пост для измерения параметров окружающего воздуха. Подобные измерения оказываются весьма неточными в отношении загрязнителей с высоким уровнем пространственной изменчивости. С развитием сети мониторинга могут быть развернуты дополнительные станции мониторинга, и определенные концентрации загрязнителей, измеренные разными станциями мониторинга, могут характеризовать степень их воздействия на разные группы населения. Кроме того, использование других методов, как например, моделей рассеивания примесей воздуха, может сыграть важную роль при оценке пространственно-временной изменчивости качества атмосферного воздуха. В Приложении 4 рассмотрен целый ряд других идей, связанных с обработкой и демонстрацией пространственного изменения качества атмосферного воздуха, а также различия в концентрациях конкретных загрязнителей, содержащихся в воздушной среде как внутри, так и снаружи помещений.

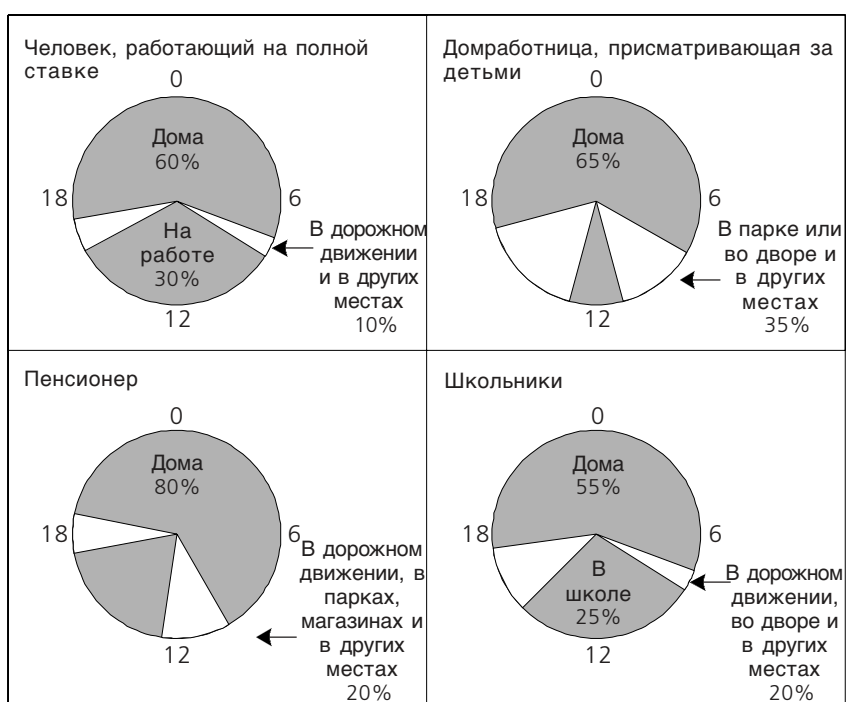
Плотность населения и характеристика связи рода деятельности и времени суток

Плотность населения определяется тем, где проживает население. Местопребывание населения также меняется в зависимости от времени суток, дня недели или времени года. В ночное время большинство населения находится дома. Днем многие люди отправляются на работу, в школу, в центры дневного наблюдения или другие места. По ночам население центральной части городов может быть весьма малочисленным по сравнению с тем количеством людей, которые работают там или посещают эти места в дневное время. В своей обычной повседневной жизни люди перемещаются в поле различных концентраций загрязнителей, оказываясь при этом под воздействием различных уровней воздушных примесей. В течение дня население подвергается воздействию повышенных

и пониженных уровней атмосферных загрязнений. Фактический уровень средней экспозиции зависит от образа жизни конкретного человека.

Измерение стереотипов поведения людей и структуры использования ими своего времени может осуществляться с помощью дневников, в которых фиксируется связь рода деятельности со временем (2) или путем прямых наблюдений. Взаимосвязь рода деятельности и времени по некоторым наиболее типичным группам населения представлена в виде секторальных диаграмм на рис. 2.4. К динамичности структуры истинной плотности населения следует добавить, что большинство людей проводит основную часть времени внутри помещений, тогда как некоторые группы населения преимущественно находятся на открытом воздухе.

Рисунок 2.4. Характеристика взаимосвязи рода деятельности и времени суток на примере обычного 24-часового дня



Концентрации загрязнителей в окружающем воздухе и популяционная экспозиция

Когда речь идет о мониторинге качества окружающего воздуха, имеют в виду воздушную среду вне помещений и привязку постов мониторинга в той или иной мере к конкретному месту. Ежедневно люди въезжают на территорию населенного пункта, выезжают оттуда и пересекают ее. Расчет экспозиции, проведенный по концентрациям загрязнителей на открытом воздухе, соответствует потенциальной экспозиции населения. Если человек все свое время проводил вне помещения в пределах территории, прилегающей к станции мониторинга, или в другом месте с аналогичной концентрацией загрязнителей, то результат мониторинга будет соответствовать его истинной экспозиции.

В основном различия между потенциальной и истинной экспозицией обусловлены тем, что значительную часть своего времени люди проводят внутри помещений. В отношении некоторых загрязнителей (таких, как озон) здания играют роль фильтров, обеспечивая удаление части загрязнения из того объема воздуха, который проникает в помещение. Вентиляционная система также сглаживает изменения в уровне загрязнения на открытом воздухе, снижая его пиковые концентрации внутри помещения. Данные процессы означают, что потенциальная экспозиция приводит к завышенной оценке фактической персональной экспозиции. Существенная неодинаковость удаления загрязняющих веществ из воздушной среды объясняется различиями в технических характеристиках вентиляционных систем зданий. При открытых окнах и умеренной или высокой скорости ветра концентрации загрязнителей внутри помещения могут быть такими же, как и снаружи.

В других ситуациях в помещениях могут находиться значительные источники таких загрязнений, как летучие органические соединения (ЛОС) или взвешенные вещества. Даже относительно малозначительные источники выбросов в воздушную среду внутри помещения могут приводить к высоким концентрациям загрязнителей в замкнутом

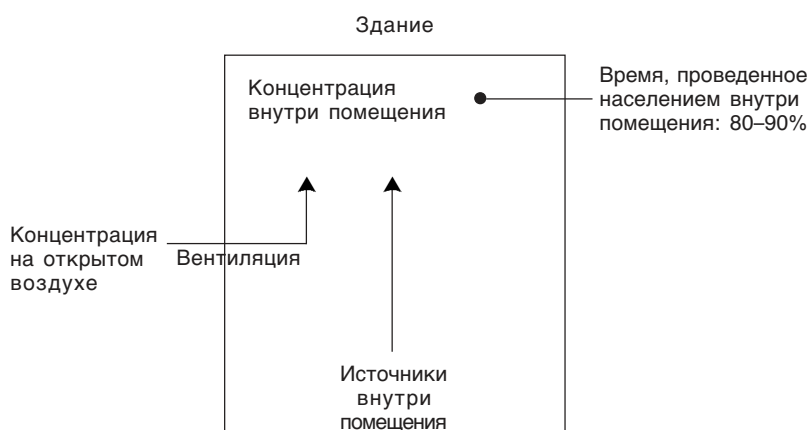
пространстве. Связь концентрации загрязнителей на открытом воздухе (потенциальной экспозиции) с фактической экспозицией внутри помещения представлена на рис. 2.5 и более детально рассмотрена в Приложении 4. Если же источники загрязнения воздушной среды внутри помещения весьма существенны, то расчеты на основании одних лишь концентраций загрязнителей на открытом воздухе приведут к заниженной оценке фактической персональной экспозиции.

К важнейшим источникам загрязнения воздуха внутри помещений можно отнести табачный дым, топливные нагревательные приборы и сушилки, приготовление пищи (даже на электроплитах), бытовую химию, а также химические вещества, выделяемые бытовой техникой или строительными материалами. Данные источники загрязнения среды могут повышать концентрации окиси углерода, двуокиси азота, мелких твердых частиц, многих ЛОС и других соединений.

Пространственная изменчивость колебания концентрации загрязнителей

Концентрации загрязнителей в городах, на территории которых нет местных источников загрязнения окружающей

Рисунок 2.5. Связь между концентрацией загрязнителей в окружающем воздухе и фактической экспозиции при условии, что большинство людей основную часть своего времени проводят внутри помещения



среды, могут рассматриваться в качестве базовых при расчете истинной загрязненности среды в условиях города. Минимальные концентрации многих загрязняющих веществ можно наблюдать на территориях именно такого типа. Местные источники загрязнения среды, расположенные в разных районах города, будут дополнительно влиять на фоновое загрязнение и служить причиной более высоких концентраций. Повышенные концентрации загрязнителей наблюдаются в пределах потока транспорта, в центральной части крупных городов и промышленных зонах. Для районов с пиковыми концентрациями загрязнителей информация о загрязнении среды представляется особенно актуальной. Первые посты наблюдения в рамках сети мониторинга, по-видимому, должны располагаться в тех местах, где прогнозируются максимальные концентрации (очаги) загрязнения. Кроме того, по мере расширения сети станций мониторинга следует обеспечивать охват пригородных зон со значительной жилой застройкой и численностью населения, а также участков с низкими уровнями локальных выбросов.

Озон и некоторые другие химически реактивные загрязнители представляют собой исключение из данной схемы. Запасы озона истощаются в процессе химических реакций на фоне присутствия других загрязнителей, а наличие местных источников загрязнения среды в связи с этим имеет тенденцию к корректировке базовой концентрации в сторону уменьшения.

Методы оценки экспозиции населения на основании данных мониторинга

При оценке последствий для здоровья используются характеристики относительного риска, полученные в ходе эпидемиологических исследований, причем информация об экспозиции населения служит в этом случае в качестве исходного компонента. Один из простых методов оценки экспозиции населения на основании результатов мониторинга предполагает использование данных, полученных только одной станцией мониторинга или же несколькими отобранными или всеми сразу станциями мониторинга в пределах города, и определение средней арифметической

величины концентраций. Затем полученное таким образом среднее значение, допустим, за один день или год, используется для определения экспозиции всего населения.

Согласно более сложному методу, все население делится на группы, экспозиция которых оценивается в отдельности. Далее проводится анализ времени, потраченного на различные виды деятельности, а также территорий, где работает и проживает население. Процедура такого рода представлена в схематичном виде на примере табл. 2.1. Все население изучаемого города делится на группы в зависимости от факторов, определяющих различную степень экспозиции данных групп. Применительно к приведенному примеру к таким факторам относятся данные о взаимосвязи рода деятельности и времени и сведения о районах проживания людей. Таким образом были сформированы три группы: 1) население пригородов, не работающее за пределами местожительства; 2) население пригородов, выезжающее на работу в центр города; и 3) население, проживающее и, вероятно, работающее в центре города.

Таблица 2.1. Распределение экспозиции населения по взвешенным частицам с диаметром 10 мкм и менее ($ВЧ_{10}$) на основании результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, а также с учетом аппроксимированного места жительства и данных взаимозависимости рода деятельности и времени

Группа населения (численность)	Доля времени, соотнесенная с каждым пунктом мониторинга (средняя концентрация $ВЧ_{10}$ в $мкг/м^3$)				Расчетная экспозиция ($мкг/м^3$)
	В центре (50)	На транс- порте (70)	В пригороде (30)	В пригороде (20)	
Неработающие, включая детей (100 000)	0	0	0,5	0,5	25
Работающие и выезжающие в город (500 000)	0,3	0,1	0,3	0,3	37
Жители центра (400 000)	0,9	0,1	0	0	52
Все население (1 000 000)	0,51	0,09	0,20	0,20	42

В предложенной ситуации предусмотрены четыре пункта мониторинга, один из которых находится в центре города, другой расположен вдоль основной дороги и ориентирован на измерения в непосредственной близости потока автотранспорта, а еще два поста функционируют в пригородах разного типа. В табл. 2.1 приведены конкретные примеры распределения доли времени, проведенного тремя отобранными группами населения в таких условиях окружающей среды, при которых концентрация загрязнения за определенную единицу времени, например за один день, может быть аппроксимирована данными измерений, полученными на каждом пункте мониторинга.

Судя по приведенному выше примеру (табл. 2.1), видно, что жители пригородов, едущие в город к месту работы, проживают в различных по типу пригородных зонах вокруг города. Экспозиция населения пригородов рассчитывается как средняя величина загрязнения, полученная двумя пригородными станциями мониторинга. В отношении неработающей части населения, включая детей, используется такой же порядок расчета. Очевидна довольно ощутимая разница в среднем уровне экспозиции указанных групп. Прогнозируемая средняя экспозиция по $ВЧ_{10}$ (см. раздел, где приводится определение понятия «взвешенные частицы») для неработающей части населения соответствует 25 мкг/м^3 по сравнению с 52 мкг/м^3 для жителей центра города и 37 мкг/м^3 для жителей пригородов, работающих в городе. Прогнозируемая средневзвешенная по времени экспозиция по $ВЧ_{10}$ для всего населения города составляет 42 мкг/м^3 . Из данного примера видно, что могут изменяться не только концентрации $ВЧ_{10}$ в пределах большой территории города, но и экспозиция различных групп населения в зависимости от их местонахождения и характера деятельности.

Таким образом, благодаря разбивке населения на отдельные группы удастся более правильно рассчитать экспозицию и последствия для здоровья всего населения города. Можно также провести отдельную оценку эффектов на здоровье у различных групп населения. Такой подход позволяет улучшить полное представление о структуре распределения неблагоприятного влияния на здоровье населения и принять более эффективные меры в области управления качеством атмосферного воздуха.

Зависимость эффекта на здоровье от экспозиции

С точки зрения потенциального воздействия на здоровье, экспозиции принадлежит ключевая роль. Высокие концентрации загрязнителей не причиняют людям какого-либо вреда, если последние никогда не находятся в зоне влияния загрязнения, но если же в такой зоне постоянно присутствует много людей, то даже низкие уровни загрязнения становятся относительно опасными. Следовательно, самым важным фактором при оценке риска неблагоприятного влияния на здоровье служит экспозиция населения.

Временная характеристика эффектов на здоровье

Эффекты на здоровье, обусловленные некоторыми воздушными примесями, связаны с общей суммарной экспозицией в течение всей жизни человека или за очень длительный период времени. В качестве примера можно привести один из загрязнителей такого рода, радон⁹, который является источником радиоактивного излучения и приводит к развитию рака легкого. При этом воздействие на здоровье не зависит от того, оказалась ли суммарная экспозиция (единицы излучения, перемноженные на количество часов)¹⁰ результатом кратковременного максимального эффекта или постоянной низкоуровневой пожизненной экспозиции.

Другие загрязняющие вещества в основном приводят к влиянию на здоровье в острой форме. В таких случаях пиковая экспозиция является более вероятной причиной эффекта на здоровье, нежели суммарная пожизненная экспозиция. Конкретным примером загрязнителя такого рода является оксид углерода (СО). Кратковременная экспозиция по СО в высоких дозах приводит к явному эффекту на здоровье, в том числе к летальному исходу, тогда как сопоставимая суммарная экспозиция, распределенная по времени на гораздо более продолжительный период, не обладает каким-либо заметным эффектом.

⁹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

¹⁰ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Временная характеристика воздействия загрязнителей на здоровье учитывалась при подготовке критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы (см. Приложение 1.1). Для различных периодов экспозиции дается свой критерий качества воздуха¹¹. В рамках системы мониторинга загрязнения атмосферы следует заниматься оценкой экспозиции населения по всем временным интервалам воздействия загрязнителей, для которых имеются критерии качества воздуха¹². Возможно получение усредненных величин за длительные периоды времени по результатам измерений за более короткие промежутки времени, однако следует проявлять осторожность при оценке пиковой экспозиции по результатам долгосрочных интегрированных измерений¹³.

Взаимосвязь экспозиции и ответной реакции

Некоторые эффекты на здоровье носят хронический характер, который проявляется, к примеру, в развитии рака легкого вследствие высокого уровня экспозиции по радону. Хронические последствия для здоровья могут проявляться не сразу, а спустя годы после экспозиции. Из категории других острых эффектов можно назвать отравление окисью углерода. Кратковременная пиковая экспозиция, как правило, является причиной возникновения острых последствий для здоровья.

Для некоторых загрязнителей предполагается существование порогового уровня. Если экспозиция ниже порогового уровня, то никаких эффектов на здоровье не возникает (рис. 2.6)¹⁴. В других же случаях, как например, в связи со взвешенными частицами, фактические данные говорят о том, что последствия для здоровья могут наблюдаться на уровне популяции (т.е. больших групп населения) даже при весьма низких концентрациях таких частиц. Таким образом, эти загрязняющие вещества не имеют безопасного уровня

¹¹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

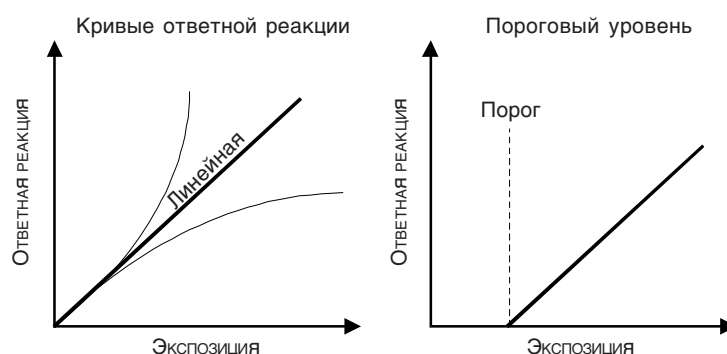
¹² См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

¹³ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

¹⁴ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Рисунок 2.6. Зависимость последствий для здоровья, обусловленных воздействием атмосферных примесей, от уровня экспозиции нередко принято характеризовать как линейную.

Для некоторых загрязнителей предполагается существование порогового уровня: если экспозиция ниже порогового уровня воздействия, то никаких эффектов на здоровье не ожидается.



воздействия, при котором можно предположить отсутствие какого-либо риска для здоровья¹⁵.

Получение оценки воздействия на здоровье – конкретный пример

Оценку воздействия на здоровье можно получить путем расчета атрибутивной пропорции (AP), отражающую ту долю эффектов на здоровье, которую можно отнести за счет экспонирования определенной группы населения (при условии существования причинной связи между экспозицией и влиянием на здоровье). Если распределение экспозиции среди населения определяется на этапе оценки экспозиции при известной функции зависимости эффекта от экспозиции, то атрибутивную пропорцию можно рассчитать по следующей формуле:

$$AP = \frac{\sum \{[RR(c) - 1] \times p(c)\}}{\sum [RR(c) \times p(c)]}, \text{ где} \quad [1]$$

$RR(c)$ – относительный риск¹⁶, связанный с эффектом на здоровье при экспозиции градации c , а $p(c)$ – доля группы населения, подвергавшейся экспозиции градации c .

¹⁵ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

¹⁶ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Пусть известна (или нередко предполагается известной) определенная частота I проявления эффекта среди всего населения, тогда соответствующую частоту I_E (или число случаев на единицу численности населения) проявления этого эффекта, который обусловлен суммарной экспозицией населения, можно получить следующим образом:

$$I_E = I \times AP$$

Следовательно, частоту результирующего эффекта среди населения, не подвергавшегося экспозиции, можно рассчитать так¹⁷:

$$I_{NE} = I - I_E = I \times (1 - AP) \quad [2]$$

Для популяции с определенной численностью N полученную частоту можно преобразовать в расчетное число случаев, причиной возникновения которых послужила экспозиция: $N_E = I_E \times N$.

Если же известны (расчетная) частота новых случаев в неэкспонированной части населения и относительный риск при определенном уровне загрязнения среды, то можно произвести расчет избыточной частоты случаев ($I_+(c)$) и превышения числа случаев ($N_+(c)$) при экспозиции определенной категории:

$$I_+(c) = (RR(c) - 1) \times p(c) \times I_{NE} \quad [3]$$

$$N_+(c) = I_+(c) \times N \quad [4]$$

Пример, приведенный в табл. 2.1, иллюстрирует данный метод. Цель предложенного упражнения состоит в оценке числа пациентов из 400 000 жителей центра города, поступивших в стационар по поводу респираторных заболеваний, и диагноз которых по данным мониторинга качества воздушной среды в течение 1 года можно связать с воздействием атмосферного воздуха, загрязненного ВЧ₁₀. Пользуясь методом, проиллюстрированным в табл. 2.1, можно произвести расчет оценки экспозиции по каждому дню рассматриваемого года. Расчетные оценки в количестве

¹⁷ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

365 величин образуют частотное распределение, на основании которого можно получить информацию о повторяемости дней по конкретной категории уровня загрязнения ($p(c)$), как показано в табл. 2.2. Средняя ежегодная концентрация $ВЧ_{10}$, которую можно рассчитать на основании представленных данных, соответствует $50,3 \text{ мкг/м}^3$.

Данные о повышении относительного риска поступления больных в стационар по причине загрязнения окружающей среды взяты из пересмотренного варианта критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы (Приложение 1.1, табл. А1.2). Величина риска изменяется в 1,008 раза с каждым увеличением концентрации $ВЧ_{10}$ на 10 мкг/м^3 ; 95 % доверительные интервалы полученной оценки находятся в пределах от 1,0048 до 1,0112. Предполагается, что концентрация $ВЧ_{10}$ ниже 20 мкг/м^3 соответствует фоновому уровню, а степень риска по этой категории равна $1,00^{18}$. Допускается также, что повышение относительного риска носит линейный характер.

Далее, пользуясь уравнением 1, можно рассчитать атрибутивную пропорцию АР. По приведенному примеру $АР = 0,0276$: 2,76 % всех больных из состава жителей центра города, поступивших в стационар по поводу респираторных заболеваний, можно считать заболевшими по причине загрязнения окружающего воздуха $ВЧ_{10}$, под воздействием которых они оказались.

Расчетные оценки средней частоты поступления больных в стационар по поводу респираторных заболеваний основываются на данных государственной статистики. При $I = 126$ случаев на 10 000 населения в год можно ожидать, что ежегодно из 400 000 человек на стационарное лечение будет поступать около 5040 пациентов. Из этого числа 139 человек (2,76 % от 5040) можно отнести к пострадавшим от загрязнения среды $ВЧ_{10}$. При учете в уравнении 1 границ доверительного интервала применительно к оценке относительного риска соответствующие границы оценки

¹⁸ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Таблица 2.2. Расчет количества поступлений больных в стационар на примере гипотетического населения численностью 400 000 человек по поводу респираторных заболеваний, обусловленных загрязнением окружающего воздуха $ВЧ_{10}$ в течение 1 года

Концентрация $ВЧ_{10}$ (мкг/м ³)	Количество дней под воздействием загрязнения с	Доля количества дней (1,00 = 365 дней)	Относительный риск в категории с	Расчетное превышение числа случаев в категории с ^a
c		$\rho(c)$	RR(c)	$N_+(c)$
< 20	10	0,027	1,000	–
20–29	30	0,082	1,008	3
30–39	71	0,195	1,016	15
40–49	83	0,227	1,024	27
50–59	76	0,208	1,032	33
60–69	50	0,137	1,040	27
70–79	20	0,055	1,048	13
80–89	10	0,027	1,056	8
90–99	8	0,022	1,064	7
100–109	5	0,014	1,072	5
110–119	2	0,005	1,080	2
120–129	0	0,000	1,088	0
Всего	365	1,000		139

^a Итоговая сумма не совпадает с цифрой в строке «Всего» по причине округления.

атрибутивной пропорции изменяются в диапазоне от 1,67% до 3,82%, а разброс дополнительного числа случаев заболеваний на примере группы населения численностью 400 000 человек изменяется в пределах от 84 до 193.

Помимо общего числа дополнительных случаев такой анализ позволяет получить оценки распределения случаев по отдельным категориям концентрации (экспозиции), рассчитанные согласно уравнению 4. Из приведенного выше примера (последняя графа в табл. 2.2) следует, что менее половины (62) из 139 ожидаемых дополнительных случаев оказались заболевшими вследствие относительно высокой экспозиции, превышающей 60 мкг/м³. Такое положение является следствием характера зависимости между экспозицией и ответной реакцией, а также повышенного риска в низких, но наиболее часто встречающихся категориях экспозиции. Информация по отдельным категориям экспозиции указывает на то, что стратегия борьбы с загрязнением среды,

которая была бы ориентирована на предотвращение дней с высоким уровнем загрязнения (например, более 80 мкг/м³), будет иметь ограниченный эффект. Напротив, рекомендуется всеобъемлющая политика, нацеленная на смещение всего диапазона распределения загрязнения на более низкие уровни.

Расчеты, аналогичные приведенным в табл. 2.2, можно воспроизвести для каждой группы населения, для которой можно определить обоснованную оценку экспозиции. Однако, всегда необходимо анализировать отдельно адекватность предположений, используемых при расчетах. Например, оценка частоты госпитализации больных в масштабе страны может оказаться ошибочной в отношении жителей пригородов, работающих в городах, так как у этой части населения средний уровень здоровья оказывается, по всей вероятности, выше по сравнению с лицами (пожилого возраста), находящимися дома, причем последние могут быть чаще госпитализированы по поводу респираторных заболеваний. Кроме того, прежде чем приступить к оценке эффектов на здоровье, необходимо тщательным образом проанализировать возможные ограничения по оценке относительного риска (например, применительно к детскому контингенту или пожилым).

Методы оценки воздействия на здоровье более подробно рассматриваются в других литературных источниках (3). Математические расчеты, приведенные выше, можно выполнить с помощью программного обеспечения AIRQ, разработанного Европейским центром ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья и бесплатно распространяемого по заявкам.

Качество атмосферного воздуха и источники его загрязнения: от оценки к управлению

Введение

Источники загрязнения окружающего воздуха, особенно в городах, нередко весьма разнообразны. Источники выбросов можно, в принципе, разделить на следующие категории: стационарные, подвижные и площадные источники загрязнения.

Как правило, выбросы загрязняющих веществ этими тремя типами источников приводят к сложному пространственно-временному распределению концентраций загрязнителей в окружающем воздухе. Инвентаризация выбросов представляет собой краеугольный камень для планирования стратегии мониторинга. Максимальные концентрации многих воздушных примесей отмечаются у поверхности земли в непосредственной близости от местных источников загрязнения. Инвентаризация позволяет выявить территории с наибольшими выбросами загрязняющих веществ и, где, таким образом можно ожидать появления очагов повышенного загрязнения. Вопрос об инвентаризации выбросов более подробно рассматривается в Приложении 2.

Для получения надежной оценки распределения экспозиции для подвижного городского населения требуется исчерпывающая информация о сезонной и суточной изменчивости концентраций загрязняющих веществ в репрезентативных местах, где экспонируется население. Для примесей, уровни загрязнения для которых в значительной мере зависят от конкретной локализации основных источников выбросов, как например, диоксида серы (SO_2) от тепловых электростанций или CO от автотранспорта, измерения концентрации должны проводиться во многих различных местах, где отмечается их серьезное воздействие на здоровье. Поскольку достижение этой цели посредством одного лишь мониторинга сопряжено с трудностями как технического, так и практического плана, то необходимо опираться на методы моделирования, которые позволили бы косвенным образом получить более полное представление о распределении концентраций, воздействующих на различные группы населения. Модели качества атмосферного воздуха предназначены для оценки не только краткосрочных, но и долгосрочных средних концентраций загрязнения, применительно к которым проводится оценка воздействия на здоровье по отдельным загрязняющим веществам. По своей сути эти модели являются детерминистическими или статистическими. Для построения диффузионных моделей загрязнения воздуха (или моделей качества атмосферного воздуха) используют данные о выбросах и метеорологические данные как исходные и

производят расчет концентраций загрязнителей в приземном слое с помощью физических, статистических и эмпирических уравнений. Модели такого плана рассматриваются ниже в Приложении 3.1. Детерминистические или физические модели находят свое применение также при разработке или усовершенствовании сетей мониторинга путем определения очагов загрязнения или территорий с максимальной потенциальной экспозицией населения.

Результаты мониторинга качества атмосферного воздуха имеют весьма важное значение при сопоставлении результатов моделирования с наблюдаемыми уровнями загрязнения окружающего воздуха. Сравнительная оценка целесообразности применения диффузионных моделей и мониторинга качества атмосферного воздуха представлена в табл. 2.3.

Полуэмпирические или статистические модели, как например, рецепторные модели, находят широкое применение при определении относительного вклада от различных источников выбросов в концентрации загрязнителей, регистрируемые отдельными постами мониторинга. С помощью

Таблица 2.3. Сравнительная характеристика мониторинга качества атмосферного воздуха и моделирования рассеивания загрязнителей как инструментов для проведения оценки качества воздушной среды

Задача	Рейтинг применительно к:	
	Мониторингу	Моделированию
Оценка истинных концентраций	Высокий	Низкий ^a
Системы предупреждения о резком повышении уровня загрязнения	Высокий	Низкий
Оценка изменчивости во времени	Высокий	Высокий
Оценка изменчивости в пространстве	Низкий ^b	Высокий
Оценка концентраций в будущем	Низкий	Высокий
Определение вклада источников загрязнения	Низкий	Высокий

^a Следует всегда сопоставлять результаты, полученные путем моделирования, с выборочными расчетными величинами, чтобы убедиться в надежности модели и правильности исходных данных.

^b Благодаря увеличению количества измерительных приборов или отбираемых проб можно добиться улучшения параметров пространственного разрешения и расширения области, охваченной сетью мониторинга.

таких моделей предпринимаются целенаправленные меры по снижению выбросов тех источников, которые дают наибольший вклад в концентрации. Более подробное описание рецепторных моделей представлено в Приложении 3.2. Статистические модели применяются при построении систем прогнозирования качества атмосферного воздуха, которые могут способствовать повышению уровня информированности населения и оказаться полезными в плане адаптации повседневной жизни людей к конкретным условиям окружающей среды. Описание статистических моделей дается в Приложении 3.3.

Неотъемлемыми компонентами комплексной программы управления качеством атмосферного воздуха являются как физические диффузионные модели, так и статистические рецепторные модели. В соединении с данными мониторинга атмосферного воздуха вышеуказанным моделям принадлежит важная роль при разработке оптимального и/или эффективного с точки зрения затрат плана сокращения выбросов, ориентированного на конкретные источники. В последнее время были разработаны различные модели одного и другого типа, причем многие из них периодически пересматриваются и совершенствуются. Европейское агентство по окружающей среде располагает системой документирования моделей в области диффузионных моделей загрязнения атмосферного воздуха. В названной системе содержится информация о более чем 80 моделях, областях их применения и потенциальных возможностях в плане проведения их оценки и проверки достоверности по данным их разработчиков (с 12 августа 1999 г. доступ открыт по следующему адресу: <http://aix.meng.auth.gr/database/index.html>). Возможности этой системы позволяют пользователям осуществлять поиск конкретной модели или моделей для определенных областей применения.

Ниже по тексту приводится описание и различные области применения таких моделей качества атмосферного воздуха.

Применение диффузионных моделей загрязнения воздуха

Модели качества атмосферного воздуха служат хорошим подспорьем и дополняют возможности систем мониторинга

окружающего воздуха. Масштабы мониторинга неизбежно ограничены данными, получаемыми несколькими постами наблюдения, которые не всегда способны обеспечить охват всех важнейших загрязненных территорий, что обуславливает неполную картину с загрязнением атмосферного воздуха. С помощью моделей качества атмосферного воздуха можно получить более исчерпывающее представление о пространственно-временных распределениях концентраций загрязняющих веществ, а также оценить величину вклада от различных источников загрязнения и последствия применения альтернативных мер борьбы с ним. Вот почему модели такого рода представляют собой ценные инструменты при решении вопросов управления и оценки последствий для здоровья. Результаты моделирования могут найти свое применение в совершенствовании схем размещения станций мониторинга, а полученным при этом данным мониторинга отводится важное место при проверке и калибровке результатов моделирования.

Проведение расчетов концентраций загрязняющих веществ относится к разряду сложных задач, поскольку для этого требуются не только соответствующие модели, но и знание местности, метеорологические данные и подробная информация об инвентаризации источников газообразных выбросов в атмосферу. Такие данные включают в себя информацию не только о величине выбросов загрязняющих веществ, но и об условиях поступления этих выбросов в окружающую среду и их пространственно-временного распределения. Наряду с этим для выверки и калибровки результатов моделирования также требуются данные о качестве окружающего воздуха.

Набор необходимых данных зависит от специфики используемой модели. На практике, тем не менее, выбор той или иной модели часто зависит от объема доступных данных. Такой подход имеет место именно потому, что сбор соответствующих исходных данных, как правило, сопряжен с наиболее сложным процессом, предваряющим этап моделирования.

Применение моделей качества атмосферного воздуха непосредственно связано с задачами управления его качеством.

Поэтому, используемые модели должны обеспечить получение таких характеристик концентраций примесей, которые будут совместимы с применяемыми критериями или стандартами качества атмосферного воздуха. В целом, модели подразделяются на две категории. Первая категория служит для решения задач по предотвращению острого (кратковременного) воздействия воздушных примесей на здоровье человека, а соответствующие критерии или стандарты относятся к короткому периоду осреднения – от нескольких минут до 24 часов. Вторая категория служит для предотвращения долгосрочных эффектов загрязнения воздушной среды на здоровье человека, а соответствующие критерии или стандарты соотносятся с годовыми и/или сезонными средними концентрациями загрязнителей.

На этом основании большинство моделей качества атмосферного воздуха можно разделить на две обширные категории: на модели, прогнозирующие либо краткосрочные, либо долгосрочные концентрации загрязнителей. Для любой из этих категорий доступны подходящие диффузионные модели, некоторые из которых (но далеко не все) способны удовлетворять требованиям обеих категорий. Краткосрочные концентрации можно прогнозировать с помощью стохастических моделей, практическое применение которых обычно не сопряжено с особыми трудностями. Рецепторные модели попадают в дополнительную категорию, так как с их помощью анализируются наблюдаемые концентрации загрязнителей с целью уточнить вклад от различных источников загрязнения (Приложение 3.3).

Описание этих моделей представлено здесь в связи с задачами в области управления, решаемыми с их помощью, а также требованиями, предъявляемыми к исходным данным. В Приложении 3 дается более подробная информация с упором на формулирование моделей и принципов математических расчетов.

Информация об инвентаризации источников выбросов занимает центральное место среди входных данных, необходимых для моделей всех типов за исключением, пожалуй,

стохастических моделей. Соответствующие методики рассмотрены в Приложении 2, а описание реальных моделей приводится в других публикациях (4).

Модели краткосрочного воздействия

Модели краткосрочного воздействия, применяемые в борьбе с загрязнением атмосферного воздуха, нередко используются в связи с конкретными эпизодами загрязнения или для анализа критического воздействия загрязнения. Основное различие между этими двумя задачами заключается в том, что при анализе первого типа рассматриваются эпизоды, имевшие место в прошлом, а условия, из-за которых они произошли, как правило, хорошо известны. При анализе критического воздействия загрязнения преследуемая цель сводится к прогнозу критических эпизодов загрязнения при наиболее вероятных условиях, которые необходимо исследовать или охарактеризовать каким-либо образом.

В зависимости от целей анализа (например, при анализе первичных или фотохимических загрязняющих веществ или оценке простой или сложной местности) следует подбирать соответствующие модели, т.е. в реальной ситуации обычно используется комбинация из различных моделей.

Модели для анализа эпизодического загрязнения

Модели для анализа эпизодического загрязнения также можно отнести к категории моделей, на базе которых выполняется тщательный анализ с помощью достаточно сложных пакетов прикладных программ, и к категории более простых моделей, которые находят свое применение в рутинной практике изучения проблем загрязнения окружающей среды.

Необходимые метеорологические данные и данные о состоянии местности существенно отличаются от модели к модели. Вместе с тем, для большинства моделей требуются сходные данные об инвентаризации источников. Данные о каждом точечном источнике загрязнения обычно включают в себя сведения о местонахождении дымовой трубы, ее геометрической высоте и внутреннем диаметре. Кроме того,

для периода моделирования необходимо располагать данными о почасовой интенсивности выбросов загрязняющих веществ, объеме отработавших газов или о скорости и температуре отходящих газов.

Для каждого типа площадных источников загрязнения требуются данные о средней высоте выбросов, а также о почасовой интенсивности выбросов загрязняющих веществ в каждом квадрате сетки со стороной от 500 м до 2 км, которая покрывает всю изучаемую зону.

При проведении тщательного анализа отдельных эпизодов загрязнения метеорологическую модель можно использовать в сочетании с совместной диффузионной моделью и/или с фотохимической моделью¹⁹. Помимо сведений об инвентаризации источников загрязнения для вышеупомянутых моделей также необходимы топографические и метеорологические данные. В свою очередь, топографические данные включают в себя легко доступные сведения о высоте земной поверхности над уровнем моря с разрешением около 1 км, а также данные о растительности и почве, которые обычно доступны с меньшим разрешением. Данные о растительности и почве используются для расчетов скорости испарения и теплового обмена²⁰. Для инициализации расчетов нужны метеорологические данные. В локальных задачах для территории размером 50 × 50 км или даже 100 × 100 км вполне достаточной будет ежедневная информация о суточном ходе скорости ветра, температуре и влажности у поверхности земли и их вертикальных профилях.

При проведении типичного анализа сначала используются метеорологические препроцессоры модели предварительной обработки метеорологических данных для преобразования последних в исходные данные о состоянии воздушного потока у поверхности земли и на высотах с целью их последующего использования в диффузионных моделях. В этом случае метеорологические данные включают в себя результаты наземных метеорологических наблюдений (направление ветра,

¹⁹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

²⁰ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

скорость ветра, температура сухого термометра, общая облачность и плотная облачность) и данные о высоте слоя перемешивания, получаемые дважды в день²¹. Для моделей, учитывающих сложный рельеф местности, также необходимы данные о рельефе.

Существуют и доступны разные диффузионные модели; выбор той или иной модели зависит от типа источников загрязнения и от рельефа изучаемой местности. Кроме того, имеются фотохимические модели загрязненности, которые находят свое применение не только для имитационного моделирования эпизодического загрязнения, но и для определения необходимого уровня сокращения выбросов ЛОС и окислов азота (NO_x), чтобы выйти на приемлемый норматив по еже часной концентрации озона.

Стохастические модели

Стохастические модели применяются для прогнозирования эпизодического загрязнения на основании предполагаемых погодных условий. Такие модели помогают специалистам по планированию принимать решения о том, какие временные ограничительные меры следует устанавливать. Эти модели являются полуэмпирическими, и их следует калибровать применительно к каждой изучаемой территории, используя для этого соответствующие данные о качестве атмосферного воздуха, собранные сетью мониторинга. После калибровки такие модели можно использовать без особых трудностей, дополнив их главным образом метеорологической информацией.

Модели анализа критического воздействия

Модели анализа критического воздействия включают в себя такие модели, с помощью которых проводится типовой анализ и предназначены для точечных и площадных источников, а также модели, позволяющие получить экспресс-оценку и предназначенные лишь для точечных источников. Второй тип моделей имеет большое значение при разработке стратегии, поскольку можно сразу же сформулировать требования,

²¹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

предъявляемые к предельно допустимым выбросам и/или к минимальной высоте дымовой трубы.

Модели экспресс-оценки, применяемые при анализе основных точечных источников обеспечивают ускоренный прогноз, требуют меньший объем исходных данных (Приложение 3.3) (4). При этом местные метеорологические данные не требуются, так как из рассчитанных при всевозможных вероятных сочетаниях метеорологических параметров концентраций определяются их максимальные значения. Помимо получения оценки максимальных приземных концентраций при текущих условиях такие модели позволяют выполнять прямой расчет предельно допустимых выбросов, минимальную высоту дымовой трубы и суммарное загрязнение дымовых газов, поступающих в атмосферу от совокупности близко расположенных источников²².

Большинство моделей, обеспечивающих выполнение типового анализа эпизодов загрязнения, могут быть использованы для типового анализа критического воздействия. В таком случае прогон моделей делается для длительного времени, например, для одного года и более, чтобы зарегистрировать наиболее неблагоприятные условия и соответствующие уровни качества атмосферного воздуха.

Долгосрочные модели

Долгосрочные модели позволяют прогнозировать сезонные и ежегодные средние концентрации загрязняющих веществ, и в зависимости от степени сложности проводимого анализа их можно отнести к различным категориям. Некоторые диффузионные модели, способные рассчитывать ежечасную концентрацию загрязнителей для конкретных реципиентов, также позволяют получать сезонные или годовые усредненные концентрации.

Климатологические модели достаточно просты в практическом применении. Для использования таких моделей требуется подходящий метеорологический препроцессор,

²² См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

который преобразует данные приземных метеорологических наблюдений в функции совместного распределения повторяемости.

Разработанная в последнее время модель экспресс-оценки, предназначенная для площадных источников, требует меньший объем исходных данных и проста в обращении (4). Эта модель, предполагающая, что город имеет форму круга, а плотность выбросов площадных источников имеет нормальное распределение позволяет получить максимальную концентрацию загрязнения для центра города и усредненные по пространству концентрации загрязнителей для территории города. Полученные таким образом концентрации соотносятся с нормативами качества атмосферного воздуха и с типичной экспозицией населения по загрязнению окружающего воздуха. Каждый площадной источник загрязнения анализируется отдельно, после чего можно без труда рассчитать совокупное воздействие всех источников загрязнения. Это позволяет получить важную информацию об относительной роли каждого из источников загрязнения, а также о результатах мер по контролю загрязнения.

Характеристики выбросов загрязняющих веществ и качество атмосферного воздуха

Практический опыт подсказывает, что при неукоснительном соблюдении точечными источниками загрязнения нормативов по краткосрочному воздействию на качество атмосферного воздуха долгосрочные эффекты последних на любого реципиента будут, как правило, почти незначительными. Это означает, что соблюдение критериев или стандартов по краткосрочному воздействию во многом определяет допустимую величину выбросов для точечных источников и условия их поступления в атмосферу.

Что же касается первичных примесей, то практический опыт также подтверждает, что если площадные источники функционируют без каких-либо чрезмерных сезонных колебаний (так, чтобы не нарушались критерии или стандарты по долгосрочному (сезонному или ежегодному) воздействию), то краткосрочный эффект от таких источников будет, как

правило оставаться в пределах соответствующих критериев или стандартов. Данное правило не распространяется на такие чрезмерно изменчивые источники загрязнения, как отопительные котельные, которые подчас серьезно нарушают установленные 24-часовые стандарты и на вторичные загрязняющие вещества (такие, как озон), в отношении которых отклонение от стандартов по краткосрочному воздействию (например, в течение 1 ч или 8 ч) может оказаться критичным для здоровья человека. На основании этого соблюдение долгосрочных критериев или стандартов в значительной степени диктует проведение контрольных мер применительно к первичным загрязняющим веществам, поступающим в атмосферу от площадных источников загрязнения без резких сезонных колебаний.

Практические приложения изложенного выше очень важны для решения задач в области управления, поскольку они позволяют эффективно разбить сложные вопросы обеспечения надлежащего качества атмосферного воздуха на более простые проблемы, с каждой из которых можно будет справиться в отдельности. Иными словами, появляется возможность провести отдельный анализ ситуации по каждому точечному источнику загрязнения или по каждой группе соседних точечных источников, а также для определенных типов площадных источников загрязнения. Для решения таких задач могут использоваться модели экспресс-оценки для точечных источников. Такие модели, являясь надежным подспорьем в борьбе с загрязнением окружающей среды, могут оказаться полезными в решении вопросов надлежащей организации работы сети мониторинга качества атмосферного воздуха, а также в проведении оценки экспозиции населения.

Библиография

1. BRIGGS, D. ET AL., ED. *Linkage methods for environment and health analysis. General guidelines*. Geneva, World Health Organization, 1996 (document WHO/EHG/95.26).
2. JANTUNEN, M. ET AL. Air pollution exposure in European cities: the EXPOLIS study. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, **8**: 495–518 (1998).

3. KRZYŻANOWSKI, M. Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. *Occupational and environmental medicine*. **54**: 145–151 (1997).
4. ECONOMOPOULOS, A.P. *Assessment of sources of air, water, and land pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies. Part 2. Approaches for consideration in formulating environmental control strategies*. Geneva, World Health Organization, 1993 (document WHO/PEP/GETNET/93.1-B).

3

Планирование и функционирование системы мониторинга, включая вопросы обеспечения и контроля качества

Jon Bower и Hans-Guido Mücke

Роль мониторинга

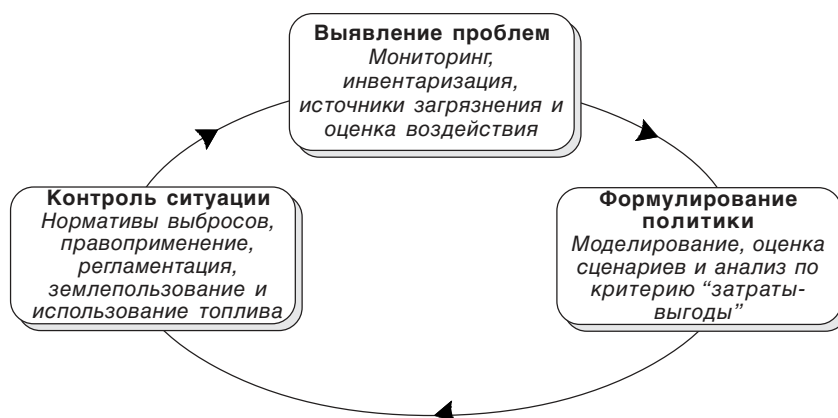
В этой главе представлен обзор некоторых требований, предъявляемых к планированию сетей мониторинга окружающего воздуха, включая вопросы обеспечения и контроля качества, применительно к оценке экспозиции населения вследствие загрязнения окружающей среды. Здесь также рассматриваются аспекты, касающиеся организации сбора, обработки и распространения данных. В соответствии с методическими рекомендациями, изложенными в пересмотренном варианте критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы, к основным загрязняющим веществам, вызывающим особую тревогу, относятся следующие: CO, озон (O₃), NO₂, SO₂, взвешенные частицы, свинец (Pb) и кадмий (Cd). Соответствующие периоды усреднения колеблются от 10 мин (SO₂) до одного года (NO₂, SO₂, Pb и Cd).

Конечная задача мониторинга сводится не только к сбору данных, но и к получению информации, необходимой ученым,

лицам, формулирующим политику, и плановикам для принятия обоснованных решений, касающихся управления окружающей средой и улучшения ее санитарного состояния. Мониторингу принадлежит центральное место в этом процессе в плане создания необходимой научно обоснованной базы для разработки политики и стратегий, постановки задач, оценки достижения намеченных целей и планирования мер по реализации нормативно-правовых актов (рис. 3.1).

Вместе с тем, мониторинг имеет и свои ограничения. Во многих случаях для получения полного представления об экспозиции населения в городе или стране может быть недостаточно или непрактично ограничиваться одним лишь измерением параметров окружающей среды. Поэтому, как подчеркивалось выше, помимо мониторинга нередко возникает необходимость сочетать его с другими объективными методами получения оценочных данных, включая моделирование, измерение и инвентаризацию выбросов, интерполирование и картирование. Измерение качества атмосферного воздуха и проведение оценок посредством моделирования взаимно дополняют друг друга. Никакая программа мониторинга, как бы хорошо она ни была профинансирована и спланирована, не способна обеспечить

Рисунок 3.1. Роль мониторинга в управлении качеством атмосферного воздуха



получение всеобъемлющих количественных пространственно-временных характеристик загрязнения атмосферного воздуха. И напротив – идея полной зависимости от моделирования в равной степени несостоятельна. Несмотря на то, что моделирование представляет собой мощный инструмент для интерполирования, прогнозирования и оптимизации стратегий борьбы с загрязнением, оно теряет всякий смысл при отсутствии должной выверки моделей на основании реальных данных мониторинга. Поэтому мониторинг и моделирование, с точки зрения комплексного подхода к оценке экспозиции, должны дополнять друг друга.

Директива Европейского союза по оценке качества окружающего воздуха и управлению им (1) со всей очевидностью признает целесообразность использования в государствах-членах широкого диапазона методов мониторинга, моделирования и объективного анализа при проведении оценки качества атмосферного воздуха. Выбор того или иного метода зависит от состояния качества атмосферного воздуха на изучаемой территории. Четкие методические рекомендации, касающиеся всех деталей разработки стратегии мониторинга и выбора мест размещения пунктов наблюдения и измерительных приборов для регистрации загрязняющих веществ с установленным предельно допустимым содержанием, будут включены рабочими группами в различные «дочерние» директивы Европейского союза, на которые возложена их подготовка в соответствии с кратким описанием, представленным в Приложении 1.2.

Цели мониторинга, обеспечения и контроля качества

Первым шагом на пути планирования или реализации любой системы мониторинга должно быть определение стоящих перед нею общих целей. Постановка недостаточно четких, чрезмерно строгих или амбициозных целей мониторинга приведет к формулированию программ, неэффективных с точки зрения затрат и неспособных обеспечить получение полезных данных. В такой ситуации не удастся добиться

оптимального использования имеющихся кадровых и материальных ресурсов²³.

При планировании и осуществлении программы мониторинга, а также при подготовке отчетной документации соотношения между собранными данными и информацией, которую следует получить на их основе, должны учитываться в обязательном порядке. Это означает, что в планировании наблюдений должны принимать участие известные и потенциальные пользователи такими данными, чтобы проводимые наблюдения соответствовали их запросам, а выделяемые для этого ресурсы были бы должным образом обоснованы.

Оценка экспозиции и ее воздействия на здоровье представляет собой лишь одну из многочисленных целей, которые стоят перед мониторингом. На практике в рамках сетей мониторинга неизменно реализуется широкий диапазон функций. Выполнению государственных нормативных требований всегда будет придаваться первостепенное значение; к другим задачам можно отнести такие, как разработка политики и стратегий в поддержку планирования на местном или национальном уровне, анализ достижений с учетом международных стандартов, выявление факторов риска и их количественная оценка и повышение уровня информированности населения. Краткий перечень типичных целей мониторинга приводится в тексте в рамке 3.1. В связи с этим любая служба или сеть мониторинга имеет свои особенности, являясь объектом влияния уникального сочетания задач и целей местного и государственного масштаба.

Следует добиваться постановки четких и реально достижимых целей мониторинга. Исходя из этого, представляется возможным сформулировать адекватные цели в области обеспечения качества данных (текст в рамке 3.2). В свою очередь, такой подход позволяет разработать целенаправленную и эффективную в затратном отношении программу гарантии качества. Соответствующие требования, предъявляемые к программе такого рода, также

²³ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Рамка 3.1. Типичные цели мониторинга

- Определение экспозиции населения и проведение оценки воздействия на здоровье
- Выявление факторов, угрожающих природным экосистемам
- Контроль за соблюдением государственных и международных стандартов
- Информирование общественности о качестве атмосферного воздуха и развертывание систем предупреждения о резком повышении уровня загрязнения
- Получение объективных исходных данных, на основании которых обеспечивается управление качеством атмосферного воздуха и планирование транспортных систем землепользования
- Выявление источников загрязнения и долевого распределения из вкладов
- Разработка политики и постановка приоритетных задач в области управления
- Создание и оценка применимости таких инструментов управления, как моделирование и географические информационные системы
- Получение количественной характеристики тенденций для прогнозирования возможных проблем в будущем или для оценки хода работы по выполнению задач в области управления или борьбы с загрязнением

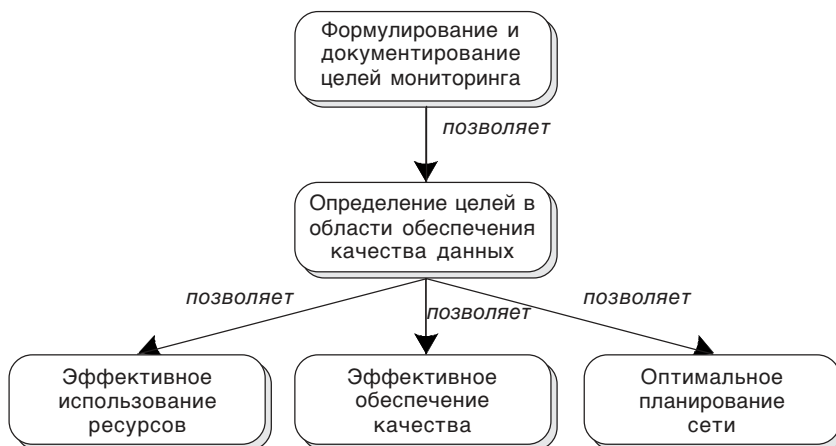
Рамка 3.2. Цели в области обеспечения качества данных

Для достижения общих целей мониторинга необходимо обеспечить выполнение следующих важнейших требований, предъявляемых к проведению измерений:

- правильность и точность измерений
- возможность адаптации к метрологическим стандартам
- полнота собранных данных (охвата данных) во временном масштабе
- пространственная репрезентативность и охват территории
- непротиворечивость данных, получаемых с отдельных постов наблюдения и в разное время
- международная сопоставимость и гармонизация

приводятся в других литературных источниках (2,3). Следовательно, для того, чтобы оптимальным образом осуществить мероприятия по планированию сетей мониторинга, уточнить перечень приоритетных загрязняющих веществ и методы их измерений, а также обозначить требования по управлению данными и к отчетности, чрезвычайно важно четко сформулировать общие цели, стоящие перед мониторингом, и цели в области обеспечения качества данных (рис. 3.2).

Рисунок 3.2. Важность постановки целей



Роль и функции обеспечения качества и контроля качества

Обеспечение качества и контроль качества являются важнейшими элементами любой системы мониторинга атмосферного воздуха²⁴. Меры по обеспечению качества и контролю качества входят в программу деятельности, нацеленной на то, чтобы проводимые измерения соответствовали определенным и общепринятым стандартам и целям в отношении качества, а также заданной степени достоверности. Суть обеспечения и контроля качества заключается не в том, чтобы добиться получения данных максимально возможного качества. Это нереальная цель, которую невозможно достичь в реальных условиях ограниченных ресурсов. За счет обеспечения и контроля качества получаемые на практике данные пригодны для выполнения той или иной задачи.

Основные цели обеспечения и контроля качества кратко изложены в тексте в рамке 3.3; функциональные компоненты программы по обеспечению и контролю качества перечислены в рамке 3.4.

²⁴ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Рамка 3.3. Обеспечение и контроль качества в области мониторинга атмосферного воздуха: общие цели

- Измерения должны быть правильными, точными и надежными
- Получаемые данные должны быть репрезентативными для окружающих условий
- Результаты должны быть сопоставимыми и удовлетворять требованиям единства измерений
- Результаты измерений должны быть регулярными во времени
- Уровни полноты данных должны быть высокими, а их распределение равномерным
- Выделяемые ресурсы должны использоваться оптимальным образом

Рамка 3.4. Основные компоненты обеспечения и контроля качества применительно к мониторингу атмосферного воздуха

Обеспечение качества

- Определение целей мониторинга и конкретизация требований к качеству данных
- Планирование сети и систем управления и подготовки кадров
- Выбор и развертывание пунктов наблюдений
- Проведение оценки и подбор оборудования

Контроль качества

- Контроль за повседневным функционированием постов наблюдения
- Установление процедур калибровки и проверки данных
- Инспекционные проверки и интеркалибровка сети станций мониторинга
- Обеспечение должного функционирования систем и оказание им поддержки
- Проведение просмотра данных и управление процессом сбора и обработки данных

Мероприятия в области обеспечения качества охватывают все этапы работы, предваряющие процесс измерений в рамках мониторинга, включая установление целей мониторинга и конкретизацию требований к качеству данных, планирование системы, выбор пунктов наблюдения, проведение оценки оборудования и подготовку операторов. Функции по контролю качества оказывают непосредственное влияние на такие виды деятельности, связанные с проведением измерений, как функционирование постов

наблюдения, калибровка, организация сбора и обработки данных, инспекционные проверки работы в полевых условиях и подготовка кадров. Иными словами, обеспечение качества имеет прямое отношение к процессу измерения, тогда как контроль качества в основном ориентирован на конечный результат.

Все компоненты программы обеспечения и контроля качества должны быть полностью реализованы, чтобы создать условия для успешного функционирования программы в целом.

Основные принципы, лежащие в основе планирования системы обеспечения и контроля качества, в одинаковой мере применимы для большинства типов сетей мониторинга или инструментария. Однако, нередко основные направления деятельности в рамках системы и результаты ее реализации на практике имеют свои особенности. Наиболее распространенная форма надзора проявляется в том, что первостепенное внимание уделяется обеспечению качества лабораторных операций, поскольку последние гораздо легче контролировать и отслеживать. Несмотря на важность таких задач, особенно в связи с программами проведения измерений путем отбора проб, подлежащих тщательному лабораторному анализу, в любой системе обеспечения качества в области мониторинга во главу угла должны быть поставлены собственно измерения. Ошибки или проблемы, возникшие в начальных звеньях цепи проведения измерений, не так легко поддаются корректировке в дальнейшем. Поэтому в рамках мониторинга важная роль в обеспечении качества принадлежит планированию и обеспечению должного функционирования системы отбора проб, регулярным посещениям постов наблюдения, инспекционным проверкам и интеркалибровке.

Помимо выполнения внутренних процедур на любом посту наблюдения, необходимо регулярно заниматься интеркалибровкой в масштабе всей сети (обычно раз в 6–12 месяцев). В ходе интеркалибровки, как правило, распространяются тщательно подготовленные стандарты, т.е. такие стандарты доставляются большому числу лабораторий или пунктам размещения измерительных приборов, которые занимаются

конкретным анализом. Затем для участвующих лабораторий на базе центрального органа по отбору проб атмосферного воздуха могут быть организованы рабочие совещания по сопоставлению полученных данных.

Рабочие совещания по сравнительной оценке, проводимые в Германии на национальном уровне, могут служить конкретным примером организации такой работы; начиная с 1984 г. Государственное агентство по охране окружающей среды Земли Северный Рейн-Вестфалия проводит такие совещания не реже одного раза в год для представителей всех учреждений, отвечающих за мониторинг атмосферного воздуха в немецких *землях* (4). В период с 1994 по 1996 гг. по инициативе ВОЗ на международном уровне состоялось пять мероприятий по сравнительной оценке мониторинга качества атмосферного воздуха в Европейском регионе (5–7).

Необходимость в эффективном скрининге и проверке достоверности данных является еще одной общей чертой систем обеспечения качества в рамках сети мониторинга. В любой программе проведения измерений, как бы хорошо спланирована или отлажена она ни была, могут происходить сбои в работе оборудования, ошибки оператора, случаи отключения электроэнергии, помехи (мешающие факторы) и целый ряд других нарушений, которые в конечном итоге могут привести к получению искаженных или ошибочных данных. Поэтому необходимо выявить такие нарушения и нейтрализовать их еще до того, как будет получен или использован окончательно сформированный набор данных, позволяющий максимально обеспечить их целостность и полезность.

Планирование эффективной и целенаправленной программы обеспечения и контроля качества представляет собой лишь первый этап в решении проблемы качества. Такая программа должна быть оформлена документально самым тщательным образом, а за соблюдением установленных в ней процедур и требований должно проводиться пристальное наблюдение. Со временем программы мониторинга часто изменяются по мере того, как изменяются стоящие перед ними

цели, законодательство, ресурсы или характер проблем загрязнения атмосферного воздуха. Таким образом, программы обеспечения качества должны регулярно пересматриваться, чтобы и впредь оставаться нацеленными в нужном направлении и соответствовать поставленным задачам.

Поэтапная модель для разработки и реализации программ обеспечения и контроля качества в области мониторинга атмосферного воздуха представлена на рис. 3.3. Вопросы, связанные с системами обеспечения и контроля качества, более подробно рассматриваются в других литературных источниках (2,8).

В связи с процессами гармонизации измерений и данных на международном уровне для участников сети ГСМОС/ВОЗДУХ было подготовлено руководство по программе обеспечения качества (2). В руководстве дается обзор разных аспектов, которые следует принимать во внимание, а также представлена базовая информация для специалистов, занимающихся проблемой управления качеством атмосферного воздуха.

Целый ряд уже разработанных стратегий по вопросам обеспечения качества в области мониторинга атмосферного воздуха отчасти нашел свое применение в национальных (8,9) и международных (2,10–13) программах.

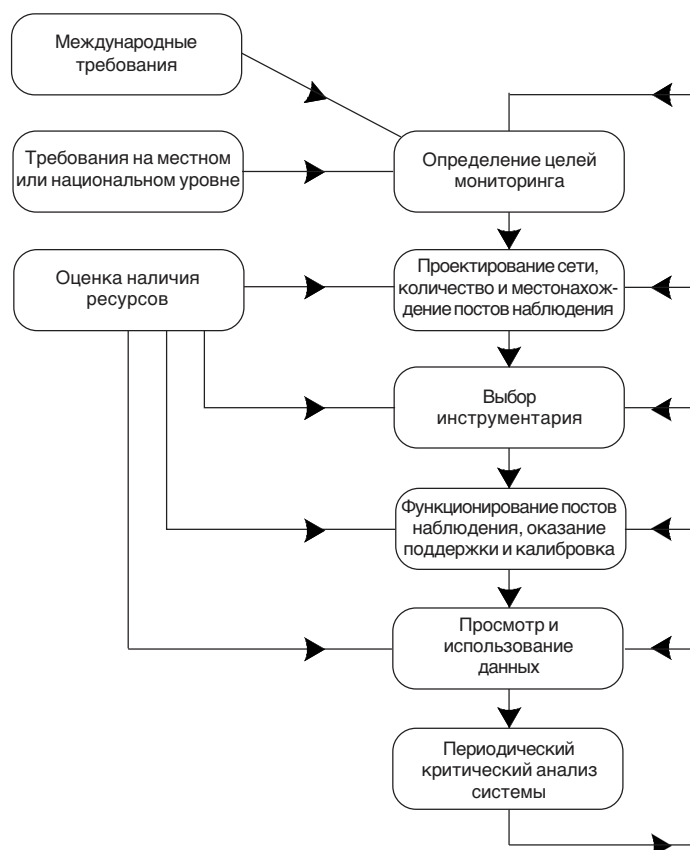
Планирование сети

Для планирования сети не существует универсальных правил, поскольку любые решения будут в конечном счете зависеть от постановки общих целей мониторинга (включая оценку экспозиции и последствий для здоровья) и от наличия ресурсов²⁵.

Несмотря на то, что перед системами мониторинга может стоять одна конкретная цель, они, как правило, имеют широкий диапазон целенаправленных программных функций. Никакая система наблюдения не сможет обеспечить полный

²⁵ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Рисунок 3.3. Поэтапный подход к обеспечению и контролю качества в области мониторинга качества атмосферного воздуха



охват всевозможных целей мониторинга, которые перечислены в рамке 3.1. Однако, планирование систем наблюдений, которые бы соответствовали некоторым из таких требований, часто имеет общие черты, и для проверки надежности получаемых результатов и выводов может быть использована не только общая база данных (чтобы не дублировать усилия), но и частично совпадающие данные. Общая цель организации системы заключается в том, чтобы получать максимум информации за счет минимальных усилий.

Наличие необходимых ресурсов и ограничения

Вопрос о наличии необходимых ресурсов является ключевым, и его решением следует заниматься с самого начала этапа планирования сети (рамка 3.5). На практике от этого во многом зависит не только сам проект организации сети, но и количество планируемых постов наблюдения, конкретный выбор загрязняющих веществ и приборов для наблюдения за состоянием воздуха.

Рамка 3.5. Планирование сети: какие ресурсы имеются в наличии?

- £ деньги (стартовый капитал и средства на эксплуатационные расходы)
- 😊 квалифицированный персонал
- 🕒 сжатые сроки и время, отведенное для создания сети

В связи с проведением любой программы мониторинга атмосферного воздуха неизбежно возникают многочисленные вопросы, связанные с определенными обязательствами и затратами. Некоторые из таких вопросов перечислены в рамке 3.6. Прежде, чем принять окончательное решение о выделении каких-либо финансовых или других ресурсов, в обязательном порядке должен быть решен вопрос о запланированных наблюдениях, проведена оценка имеющихся средств, подобрано наиболее адекватное оборудование и определены места развертывания постов наблюдения.

Рамка 3.6. Расходы, связанные с мониторингом атмосферного воздуха

- Первоначальная закупка анализаторов и пробоотборников и затраты на развитие инфраструктуры пунктов наблюдения
- Обслуживание, техническое обеспечение и ремонт оборудования
- Затраты на содержание персонала и оплату услуг субподрядных организаций, включая вопросы эксплуатации и управления
- Процедуры обеспечения и контроля качества, интеркалибровка и подготовка специалистов
- Управление данными, включая их сбор, анализ, ведение архива и вопросы отчетности
- Отбор и обработка проб и лабораторные анализы
- Текущие расходы: аренда земельных участков под посты наблюдения, оплата электричества, расходных материалов, запчастей, калибровочных газовых смесей, телефона, транспортных средств и другие статьи расхода

Закупка любого оборудования должна проводиться с учетом долгосрочных технических характеристик и устойчивого финансирования его эксплуатации. Потенциал устойчивости на местном уровне складывается из следующих условий: постоянная возможность обращения к внешним организациям (или к собственным службам) по вопросам технического обеспечения и ремонта оборудования, а также наличие подготовленных кадров специалистов по повседневной эксплуатации и калибровке оборудования. Устойчивость финансового обеспечения предполагает наличие средств для покрытия текущих расходов на эксплуатацию оборудования, которые обычно составляют около 10 % в год от суммы исходных капитальных затрат.

Регулярное выделение средств на обеспечение и контроль качества также необходимо для функционирования любой системы или сети мониторинговых наблюдений, чтобы гарантировать полное соответствие результатов измерений целям программы по качеству данных и, следовательно, исходным требованиям, предъявляемым к мониторингу. В зависимости от степени сложности самой программы и строгости критериев, которым должно соответствовать качество получаемых данных, сумма в размере 20–50 % от общего годового бюджета на текущие расходы обычно бывает достаточной для решения вопросов обеспечения и контроля качества.

Количество пунктов наблюдения и выбор мест для их размещения

В соответствии с подробным описанием в главе 2 (см. текст в рамке 3.7) в связи с планированием сети для оценки

Рамка 3.7. Основные вопросы при оценке экспозиции

- Где находится население?
- Каковы концентрации загрязняющих веществ, оказывающих воздействие на здоровье населения, и какова продолжительность экспозиции?
- Каковы приоритетные загрязняющие вещества (с точки зрения стандартов)?
- В каких районах и микросредах проблема экспозиции вызывает тревогу?

экспозиции населения необходимо в первую очередь решить целый ряд основополагающих вопросов.

На практике количество и территориальное распределение станций мониторинга качества атмосферного воздуха, необходимых для любой сети, равно как и конкретный перечень пробоотборников для мониторингового наблюдения, также находятся в зависимости от площади охваченной территории, пространственной изменчивости регистрируемых загрязняющих веществ и целей использования получаемых данных (рамка 3.8).

Существует несколько возможных подходов к решению вопросов организации мониторинговой сети и выбора участков для постов наблюдения. Для проведения оценки экспозиции нередко требуется расположить посты наблюдения таким образом, чтобы они были ориентированы как на конкретные источники загрязнения (что зачастую равнозначно очагам загрязнения окружающей среды или «наихудшим» условиям), так и на регистрацию фонового загрязнения, оптимизированного с учетом количественной оценки общей экспозиции населения (см. пример, приведенный в табл. 2.1). Таким образом, в зависимости от конкретного перечня анализируемых загрязняющих веществ для воссоздания относительно комплексной картины воздействия условий окружающей среды на здоровье человека могут понадобиться данные, поступающие из самых разных мест расположения постов наблюдения (табл. 3.1). В других литературных источниках (14,15), а также в Приложении 5 приводится более подробное описание всевозможных

Рамка 3.8. Планирование сети мониторинга: количество пунктов наблюдения

Определение количества пунктов наблюдения зависит от следующих факторов:

- предполагаемые области и цели использования получаемых данных
- площадь территории, подлежащей охвату
- пространственная изменчивость загрязняющих веществ
- наличие необходимых ресурсов
- конкретный набор установленных измерительных приборов

Таблица 3.1. Возможные варианты расположения постов мониторинга с точки зрения оценки экспозиции

Классификация места/участка	Описание
Центр города	Расположение в пределах города, за счет чего обеспечивается сбор репрезентативной информации об общей экспозиции населения в городе или в центральной части города, в частности в таких местах, как пешеходные дорожки (тротуары) или торговые зоны
Городской фон	Расположение в пределах города вдали от источников загрязнения, что позволяет получать достаточно репрезентативную информацию об общегородском фоне
Пригородные или жилые районы	Расположение на территории жилого района на окраине города
У края тротуара или у дороги	Место для взятия проб в пределах 1-5 м от дороги с интенсивным движением
Промышленная зона	Местонахождение промышленных источников загрязнения, обуславливающих образование долгосрочных или пиковых концентраций загрязняющих веществ
Сельская местность	Открытая сельская местность как можно дальше от дорог, жилых массивов и промышленных зон
Прочие	Любое особое место вблизи источника загрязнения или посреди микросреды, или возле важного объекта, подвергающегося воздействию загрязнителей (школа или больница)

вариантов расположения постов наблюдения с точки зрения оценки воздействия загрязнителей на здоровье или соответствия мониторинга установленным требованиям.

Несмотря на то, что общая задача любой сети мониторинга или обследования сводится к достижению максимально возможного пространственного разрешения и репрезентативности, в действительности к этой цели можно только приблизиться, полагаясь на стратегии мониторинга, согласно которым пункты наблюдений размещаются в узлах регулярной сети точек (принцип “регулярной сети”). За счет оптимизации этих стратегий можно получать подробную информацию о пространственной изменчивости и устойчивых характеристиках экспозиции по важнейшим загрязняющим

веществам. Однако данный подход требует привлечения многих ресурсов, что ограничивает его широкое применение. Чтобы уменьшить потребности в ресурсах, можно воспользоваться сетевым принципом расположения постов, одновременно обеспечивая периодический отбор проб или использование подвижных пробоотборников (маршрутных наблюдений). Тем не менее, применение такой методики вступает в противоречие с необходимостью добиваться наилучших показателей временной репрезентативности и пространственного разрешения.

В соответствии с более гибким подходом к планированию сети мониторинга, которая бы соответствовала городскому или общенациональному масштабу, станции мониторинга или места отбора проб должны располагаться на тщательно отобранных репрезентативных участках, местоположение которых было определено в соответствии с намеченными областями применения получаемых данных, а также на основании изученной структуры распределения выбросов и рассеивания анализируемых загрязняющих веществ. Некоторые факторы, которые должны учитываться при выборе мест расположения постов наблюдения, подробно перечислены в рамке 3.9.

Этот подход к планированию сети позволяет развернуть значительно меньшее число постов наблюдения по сравнению

Рамка 3.9. Планирование сети мониторинга: факторы, принимаемые во внимание при выборе участка для поста наблюдения

- Расположение основных источников или выбросов загрязняющих веществ на данной территории
- Основные объекты и среды, подвергающиеся воздействию загрязняющих веществ
- Погодные условия и топографические данные
- Результаты имитационного моделирования структуры рассеивания загрязнителей на данной территории
- Имеющаяся информация о качестве атмосферного воздуха (например, полученная в результате скрининговых исследований)
- Демографические данные, информация о состоянии здоровья населения и землепользовании

со стратегией, основанной на принципе “регулярной сетки”, и, следовательно, связан с меньшими расходами на его обеспечение. Вместе с тем, места расположения постов наблюдения должны быть тщательно выбраны, чтобы получаемые при этом данные оказались полезными. Более того, не исключено, что для восполнения пробелов в той или иной стратегии мониторинга потребуется использование такого приема, как моделирование, или других методов получения объективной оценки. При выборе участка для поста наблюдения следует учитывать множество факторов.

Как правило, планируемые направления обследований, важнейшие загрязняющие вещества и количество необходимых постов наблюдения зависят от поставленных общих задач мониторинга.

При принятии решений о выборе участков под посты наблюдения особенно полезными могут оказаться данные об источниках загрязнения и выбросах. С помощью таких данных можно будет определить наиболее загрязненные районы, а также иные типы территорий со значительной экспозицией населения. Если полной информации об инвентаризации выбросов не имеется, то для оценки вероятных очагов загрязнения можно воспользоваться такими статистическими данными для приближенных оценок, как плотность населения, потоки автотранспорта и уровни потребления топлива.

Если на обследуемой территории мониторинг уже действовал, то с точки зрения оценки воздействия загрязнителей на здоровье населения при определении характера наблюдений на проблемных территориях уже накопленные данные о качестве атмосферного воздуха могут оказаться полезными. Если же таких обследований не велось, то можно запланировать проведение специальных скрининговых наблюдений (обследований) для получения информации о состоянии загрязнения окружающей среды на данной территории или ее участке. Для выполнения этой задачи часто используются пассивные пробоотборники и/или передвижные лаборатории мониторинга.

Результаты имитационного моделирования рассеивания воздушных примесей могут найти свое применение при прогнозировании характеристик рассеивания и осаждения загрязнителей, сыграв при этом положительную роль при уточнении границ районов с возможной максимальной экспозицией. Для того, чтобы иметь практическое значение, данные о газообразных выбросах и метеорологическая информация должны быть надежными и использоваться в сочетании с адекватной и выверенной моделью.

Преобладающие погодные условия и топографические особенности местности оказывают сильное влияние на рассеивание воздушных загрязнителей, а также воздействуют на образование в атмосфере вторичных загрязняющих веществ.

Информация иного рода, например касающаяся демографической структуры, состояния здоровья людей, плотности населения и землепользования, может оказаться ценной при решении вопроса о размещении постов наблюдения для получения репрезентативных данных о фоновой экспозиции и экспозиции, формирующейся по «наихудшему» сценарию. В частности, применение географических информационных систем делает возможным совместное использование данных измерений состояния окружающей среды и других наборов данных с географической координатной привязкой с целью проведения оценки экспозиции, эпидемиологических исследований и целого ряда мероприятий в области управления качеством атмосферного воздуха.

При выборе участков под посты наблюдения следует также учитывать пространственное распределение и изменчивость газообразных загрязняющих веществ и взвешенных частиц в окружающей среде города. К примеру, концентрации первичных загрязнителей на автодорожных магистралях, в частности СО, оказываются самыми высокими на обочинах дорог, тогда как уровни озона характеризуются более равномерным пространственным распределением, но на придорожных участках его

концентрации минимальны вследствие взаимодействия с NO, выбрасываемым автомобилями. В связи с этим обычно не представляется возможным добиться оптимизации измерений по всем загрязняющим веществам в точке размещения отдельно взятого поста наблюдения. Зачастую в таких обстоятельствах требуется некоторый компромисс.

В целом, пространственная изменчивость таких вторичных загрязнителей, как NO₂ и O₃, имеет тенденцию к более полной однородности, чем изменчивость первичных примесей, поступающих в атмосферу в результате выбросов, например, CO или SO₂. Такая, более высокая степень изменчивости первичных загрязняющих веществ, особенно вблизи источников загрязнения, оказывает влияние на плотность размещения и количество постов мониторинга, которые требуются для организации любых наблюдений.

Для получения осмысленных и репрезентативных результатов измерений следует также учитывать макромасштабные факторы размещения постов наблюдения. Если ставится задача по уточнению фоновых уровней загрязнения, то посты мониторинга должны располагаться на достаточном расстоянии от местных источников (например, от дорог или небольших котельных) или стоков (например, вблизи густой растительности) атмосферных примесей. Кроме того, важными нередко оказываются аэродинамические характеристики воздухозаборного устройства метеорологических будок. Для обеспечения репрезентативности данных выборки необходимо, чтобы вблизи воздухозаборного отверстия было свободное движение воздуха; по этой причине следует также не допускать забора проб воздуха в микросреде с застойным воздухом или же в местах, тщательно укрытых от воздействия внешней среды.

Для проведения оценки воздействия загрязнения на здоровье высота установки пробоотборников должна как можно точнее, но не в ущерб технологической целесообразности, соответствовать высоте расположения зоны дыхания соответствующих контингентов населения.

Адекватным образом продуманная система забора проб воздуха имеет чрезвычайно важное значение. Для того, чтобы пробоотборники или автоматические анализаторы давали надежные результаты измерения концентраций воздушных примесей, последние должны поступать в сорбционную трубку или в датчик в неизменном виде.

Система воздушных шлангов пробоотборника представляет собой важнейший и часто недооцениваемый компонент в любой системе мониторинга, оказывающий заметное влияние на общую правильность и достоверность всех получаемых результатов измерений. Некоторые конструктивные требования, типичные для всех устройств отбора проб газовых смесей в конструкции газоанализаторов, перечислены в рамке 3.10.

При выборе участков для постов мониторинга следует также руководствоваться рядом практических соображений. Такие посты должны быть доступны для посещения специалистами, но в то же время следует обеспечить их защиту от посягательств посторонних лиц и актов вандализма. Для работы анализаторов загрязняющих веществ к станции мониторинга должно быть подведено электричество и создана необходимая инфраструктура наряду с телефонной связью, если предусмотрена телеметрия данных (рамка 3.11).

Рамка 3.10. Основные конструктивные особенности, которые следует учитывать при проектировании воздухоотборных устройств

- Инертность по отношению к анализируемым загрязняющим веществам
- Минимальное время пребывания в приборе забранных проб воздуха
- Незначительное взаимодействие между потоком воздуха и контуром прохождения пробы
- Создание потока воздуха, превышающего необходимый для анализатора общий объем
- Минимальный перепад давления
- Устранение мешающих факторов, например, водяных паров или загрязняющих веществ
- Недопустимость резких перепадов температуры при взятии проб воздуха
- Легкость технического обслуживания и очистки воздушного тракта

Рамка 3.11. Соображения, которыми следует руководствоваться при создании небольших постов наблюдения

- Общественная безопасность
- Хороший обзор места размещения поста
- Сохранность оборудования и акты вандализма
- Доступность коммунальных услуг
- Разрешение на строительство
- Местные источники или стоки атмосферных примесей
- Аэродинамическая открытость или защищенность

Стратегии отбора проб

Мониторинг подразумевает определение поведения загрязняющих веществ в пространстве и во времени. Поэтому хорошо спланированная сеть означает оптимизацию пространственно-временного разрешения с учетом ограничений в наличии ресурсов.

Основное место в предыдущем разделе было отведено максимизации пространственного разрешения сети и репрезентативности результатов измерений. В случае большинства наиболее распространенных методов, используемых при мониторинге атмосферного воздуха, определение зависящих от времени параметров не сопряжено с каким-либо трудностями. Однако для приоритетных загрязняющих веществ выбранные технологии измерений должны иметь такое разрешение по времени, чтобы оно соответствовало времени осреднения концентрации загрязнителей, которое установлено критериями качества атмосферного воздуха, разработанными ВОЗ для Европы.

Автоматические анализаторы, работающие в непрерывном режиме, могут использоваться для оценки соответствия критериям по краткосрочному или долгосрочному воздействию загрязнителей. Хорошо зарекомендовавшие себя полуавтоматические методы, как например, пробоотборники для анализа SO₂, принцип измерений которых основывается на использовании ультрафиолетового излучения и люминесценции, или

пробоотборники для взвешенных частиц, обеспечивающие забор большого объема воздуха, идеально подходят для проведения измерений в соответствии с суточными стандартами или критериями. Такие методы получения интегрированных данных измерения, как пассивные пробоотборники, являются полезными для оценки долгосрочной экспозиции и представляют ценность для выполнения целого ряда функций, включая обследование территории, картирование и планирование сети, несмотря на то, что их разрешающая способность по времени в принципе ограничена (11).

Вместе с тем, могут возникать трудности в отношении методов отбора проб вручную, в основу которых положен принцип периодического или стохастического²⁶ отбора проб и использования передвижных пробоотборников. Такой подход, как правило, находит свое применение ввиду производственной необходимости или из технических соображений, либо просто из-за отсутствия возможности для обработки того количества образцов или данных, которые получены посредством непрерывного наблюдения.

И все же, как это ни удивительно, метод периодического отбора проб по-прежнему широко используется во всем мире, в частности, в некоторых странах Восточной Европы и Китае. В Соединенных Штатах нередко устанавливаются пробоотборники для взвешенных частиц, которые обеспечивают забор большого объема воздуха и работают в режиме отбора проб за один день из шести. Названная стратегия отбора проб характеризуется ограниченной полезностью при оценке суточных, сезонных или годовых параметров загрязнителей, а также непригодна для получения надежных оценок тенденций изменения экспозиции населения²⁷.

Вопросы, касающиеся оборудования

Потенциальные возможности методов мониторинга атмосферного воздуха, равно как и крайне необходимые для

²⁶ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

²⁷ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

этого ресурсы, определяющим образом влияют на организацию сети мониторинга. В данном разделе рассматриваются некоторые из таких вопросов. Конкретные методы мониторинга, касающиеся отдельных загрязнителей, для которых рекомендованы критерии, рассмотрены в главе 4.

Методы мониторинга атмосферного воздуха можно разделить на четыре принципиально отличных друг от друга основных типа, которые включают в себя самый широкий диапазон статей расходов и уровней эксплуатационных характеристик. Главные достоинства и особенности этих методов кратко перечислены в табл. 3.2. Еще один метод, предполагающий использование биоиндикаторов, в сущности, дает только качественные оценки и поэтому не находит широкого применения в области нормирования, при организации мониторинга или для оценки воздействия загрязнителей на здоровье.

Надлежащая практика заключается в выборе самого простого метода, благодаря которому поставленная задача будет выполнена. Неподходящее, излишне сложное или часто выходящее из строя оборудование может быть причиной неудовлетворительного функционирования всей сети, негативно сказываясь на полезности данных и приводить к неразумной трате денежных средств. Несмотря на то, что цели мониторинга всегда являются главным фактором, следует также учитывать ограниченный объем имеющихся ресурсов и наличие квалифицированного персонала. В любом случае по таким вопросам, как стоимость, степень сложности, надежность и эксплуатационные качества оборудования, требуется компромиссное решение. Благодаря дальнейшему совершенствованию систем можно получать более уточненные данные и обеспечивать более высокую степень разрешения результатов измерения по времени, но в то же время для этого требуется привлечение большего числа специалистов высокого класса по эксплуатации и профилактике оборудования, повышение эксплуатационных затрат и расходов на техническое обслуживание систем, которые в конечном итоге оказываются менее надежными в работе.

Таблица 3.2. Методы мониторинга атмосферного воздуха

Метод	Достоинства	Недостатки	Капитальные затраты
Пассивные пробоотборники	Очень низкая стоимость Простое устройство Независимость от электросети Могут быть установлены в больших количествах Очень полезны при обследованиях и увеличенной плотностью и при фоновых наблюдениях	Не созданы с надлежащим качеством некоторых загрязняющих веществ Как правило, позволяют получить усредненные ежемесячные и еженедельные данные Трудоемкий процесс установки прибора и анализа полученных данных ²⁸ Непригодны для использования в качестве эталонных методов при проверке соответствия мониторинга установленным требованиям Низкая пропускная способность при обработке данных	От 10 до 70 долл. США на одну пробу
Активные пробоотборники	Низкая стоимость Удобные в эксплуатации Надежные в работе и функционировании Наличие набора ретроспективных данных	Получение ежедневных усредненных данных Трудоемкий процесс забора и анализа проб ²⁹ Требуется лабораторный анализ Низкая пропускная способность при обработке данных	Примерно от 1000 до 3000 долл. США за один прибор
Автоматические анализаторы	Доказано высокое качество Отличные эксплуатационные качества Ежечасные данные Поступление информации в режиме «он-лайн» ³⁰	Сложное устройство Дорогостоящие Необходимость в операторах высокой квалификации Высокие текущие издержки	Примерно от 10 000 до 15 000 долл. США за один анализатор

Таблица 3.2. (прод.)

Метод	Достоинства	Недостатки	Капитальные затраты
Трассовые датчики	Обеспечивают получение данных для выбранной трассы с возможностью ее разбивки на отдельные участки Полезны для установки вблизи источников загрязнения ³¹	Очень сложное и дорогостоящее устройство Сопряжены с трудностями в обслуживании, эксплуатации, калибровке и проверке (поверке) Трудно сопоставимы с данными наблюдений в точке Непригодны для использования в качестве эталонных методов при проверке соответствия мониторинга установленным требованиям	Примерно от 70 000 до 150 000 долл. США или более за один датчик

²⁸ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

²⁹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

³⁰ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

³¹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Методы на основе отбора проб далеко не всегда оказываются менее точными по сравнению с автоматическими анализаторами. Например, параллельные измерения с помощью хемилюминесцентного анализатора NO_x и диффузионных трубок могут давать прекрасно согласующиеся результаты измерений, различающиеся не более, чем на 10%, при условии, что оба эти метода соответствуют высоким стандартам обеспечения качества и производственной практики (16).

В этом разделе вопросы, касающиеся точности измерений, подробно не обсуждаются. Однако, многие факторы, которые определяют точность вдоль всей технологической цепочки измерений, являются внешними по отношению к собственно анализатору. К таким факторам относятся система отбора проб, метод калибровки и поверки, производственная практика и практика обеспечения качества. Поэтому точность

измерений в конечном счете в большей мере зависит от способа использования любой методики измерения, нежели от метода как такового.

На практике благодаря комбинированному использованию пробоотборников и автоматических анализаторов в рамках гибридной программы можно выработать универсальный и эффективный в затратном отношении подход к проектированию сетей муниципального или общегосударственного масштаба. Такая организация сети мониторинга предполагает использование пассивных и активных пробоотборников для хорошего пространственного охвата и высокой степени разрешения по площади. Автоматические анализаторы, установленные на тщательно подобранных участках, позволяют получить данные с высоким разрешением по времени для оценки пиковых концентраций загрязнителей или для сопоставления их с установленными стандартами краткосрочного воздействия.

Применительно к некоторым условиям могут также использоваться пробоотборники, выдающие интегрированные данные. Между концентрациями загрязнителей, которые соответствуют пиковым значениям, верхнему процентилю и долгосрочным средним величинам, нередко может быть установлена достаточно устойчивая статистическая зависимость (16,17). Несмотря на то, что такие полуэмпирические соотношения могут отличаться от примеси к примеси или в зависимости от категории поста наблюдения, они, тем не менее, позволяют использовать наборы данных, собранных пробоотборниками на постах долгосрочного наблюдения, для оценки примерного соответствия критериям по краткосрочному воздействию или, как минимум, для выявления тех районов, где концентрации загрязнителей, скорее всего, превышают рекомендованные критерии. Вместе с тем, к такому косвенному методу оценки следует всегда относиться с осторожностью.

Индикаторные загрязнители также могут сыграть полезную роль. Уровни одного загрязнителя можно вывести по измерениям концентраций другого загрязнителя в том

случае, если локальное загрязнение атмосферного воздуха определяется выбросами источников одной категории, а также если для данного загрязнителя существуют устойчивые и вполне определенные коэффициенты выбросов (отношения смеси). Например, связанные с движением автотранспорта концентрации NO_x , бензола и свинца в непосредственной близости от источников загрязнения (допустим, у края тротуара) можно получить на основании соответствующих концентраций CO . Однако опосредованные измерения такого рода следует интерпретировать с осторожностью³².

Регулярный критический анализ действующей системы

Никакая сеть мониторинга не может оставаться неизменной. С течением времени любая программа мониторинга должна развиваться по мере изменения поставленных перед нею целей, объема выделяемых ресурсов и ситуации с загрязнением воздушной среды (рамка 3.12).

Рамка 3.12. Сети мониторинга не остаются неизменными!

- Необходимо проводить регулярный критический анализ для оценки:
- изменившихся целей и приоритетных задач мониторинга
 - новых приоритетных загрязнителей и методов их измерений
 - изменения условий в окрестностях пунктов наблюдения
 - новых нормативных актов, принятых на местном или национальном уровне
 - изменяющихся характеристик и источников выбросов
 - изменившейся ситуации с ресурсами.

К примеру, во многих частях Европы в рамках национальных программ измерения загрязняющих веществ произошел поворот от традиционного усиленного внимания к дыму и диоксиду серы (образующихся в результате сжигания каменного угля) к проблеме совершенно иного свойства – первичным или вторичным загрязнителям атмосферного воздуха, а также к проблеме загрязнения выбросами автомобильного транспорта.

³² См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Сети, приоритетные загрязняющие вещества, оборудование и процедуры обеспечения качества должны регулярно критически анализироваться с тем, чтобы соответствующие программы сохраняли свою направленность, были экономически эффективными и обладали должным потенциалом по достижению общих целей мониторинга. Тем не менее, оценивая ситуацию с сетью мониторинга, следует согласиться и с тем, что необходимы долгосрочные обязательства, обеспечивающие бесперебойный мониторинг на отобранных для этого пунктах наблюдения (как правило, не менее 5 лет) в целях выявления значимых долгосрочных трендов для большинства воздушных примесей.

Функционирование системы: автоматизированные сети

Посещение постов наблюдения

Для работы автоматизированных сетей нередко используются телеметрические системы передачи данных, что позволяет оперативно и эффективно в плане затрат получать данные с постов наблюдения. Вместе с тем, оборудование, предназначенное для автоматизированных сетей, должно регулярно осматриваться операторами. Таким образом, важнейшими компонентами любой системы обеспечения и контроля качества являются регулярные и документально оформленные посещения постов наблюдения, частота инспектирования которых зависит от конкретных условий работы сети. Регулярность таких посещений определяется производственной необходимостью, географическими условиями и наличием у персонала специальных разрешений.

Многие важнейшие процедуры, обеспечивающие максимальную полноту получения и сбора данных, должны проводиться непосредственно на посту наблюдения. Краткое описание этих действий дано в рамке 3.13.

Для того, чтобы такая работа проводилась эффективно и систематически, следует составить график посещений постов

Рамка 3.13. Перечень действий при посещении постов наблюдения

- Периодичность посещения – от одного раза в неделю до одного раза в месяц
- Обеспечение бесперебойной работы оборудования
- Калибровка приборов и их диагностическая проверка
- Предотвращение возможных проблем в будущем
- Замена фильтров и расходных материалов
- Проверка системы забора проб и насосов
- Очистка систем забора проб
- Монтаж, замена и ремонт оборудования
- Проверка состояния внешних условий вокруг поста наблюдения

наблюдения, который позволит обеспечить регулярность контроля за работой всех станций мониторинга, обычно с интервалом от недели до месяца. По результатам каждого посещения необходимо вести подробные записи по калибровке оборудования и заполнять контрольный перечень осмотра приборов, причем эта документация должна храниться для последующей проверки мероприятий по обеспечению и контролю качества.

Обеспечение работы оборудования и его техническое обслуживание и ремонт

Мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту анализаторов качества атмосферного воздуха чрезвычайно важны. Лишь благодаря надлежащему обслуживанию приборов система мониторинга будет надежно функционировать в полевых условиях в течение длительного времени. В графиках технического обслуживания оборудования, составленных в полном соответствии с рекомендациями завода-изготовителя, должны быть предусмотрены мероприятия по замене отработавших свой срок деталей, проведению диагностических проверок и тестированию оборудования. Если в работе каких-либо приборов в полевых условиях происходят сбои, то необходимо также вести учет аварийных вызовов и периодичности проведения ремонтных работ. На многих сетях мониторинга обеспечением работы оборудования и его техническим обслуживанием занимаются местные субподрядные организации, специализирующиеся по ремонту оборудования.

На технически сложные системы мониторинга атмосферного воздуха требуется выделение таких средств, которые намного превышают исходные капитальные затраты. Для обеспечения бесперебойной работы сети станций мониторинга, поддержания оборудования в рабочем состоянии и создания условий для получения достоверных данных необходимо регулярное выделение средств на весь срок службы оборудования.

Калибровка оборудования

Оборудование для автоматического мониторинга подлежит тщательной калибровке, чтобы получать точные данные о качестве атмосферного воздуха, которые отвечали бы требованиям единства измерений. Для анализа большинства наиболее распространенных газообразных примесей используются имеющиеся на постах переносные баллоны с поверочными газовыми смесями или диффузионные источники микропотоков газов, позволяющие генерировать воспроизводимую точку в диапазоне измерений прибора и таким образом установить отклик измерительной системы на точно заданную концентрацию анализируемого загрязнителя.

Возможно проведение калибровки по двум точкам путем дополнительного определения соответствующей нулевой точки, то есть отклика измерительной системы при отсутствии загрязняющего вещества (т.е. такого измерения, которое проводится с помощью специально очищенного воздуха или калибровочных баллонов с чистым воздухом, что вполне достаточно для многих задач. Калибровка по нескольким точкам измерения, состоящая в определении нескольких различных значений калибровочных концентраций, необходима в некоторых ситуациях, например, после технического обслуживания или ремонта оборудования или при подозрении на возможное нарушение линейности шкалы.

Результаты измерений, полученные с помощью серийно выпускаемого калибровочного баллона или диффузионного источника микропотока не всегда могут быть надежными для выполнения калибровки в полевых условиях; такие приборы,

по мере возможности, подлежат поверке в лабораторных условиях до их использования на постах наблюдения. Кроме того, данное оборудование следует регулярно поверять в течение всего срока службы в целях определения возможного дрейфа характеристик или деградации.

В плане мероприятий по обеспечению качества работы сети должна быть указана периодичность и тип калибровки всех анализаторов в полевых условиях. Типовая программа может включать в себя процедуры ежесуточной автоматической калибровки с помощью диффузионных генераторов или баллонов с поверочными газовыми смесями, входящих в комплектацию оборудования постов, или процедуры калибровки вручную с помощью автономных приборов, которая проводится при каждом посещении поста наблюдения. В условиях работы обширной сети мониторинга также необходимы регулярные интеркалибровки всех анализаторов, установленных на постах наблюдения (см. следующий подраздел).

Образцовые газовые смеси или генераторы собственного изготовления всегда должны использоваться в качестве лабораторных эталонов для проверки переносных рабочих эталонов, применяемых в полевых условиях. Такие лабораторные эталоны должны полностью соответствовать требованиям единства измерений и связаны со средствами абсолютных измерений или с принятыми национальными (государственными) или международными метрологическими стандартами (эталонами).

Для подготовки к работе баллонов с первичными эталонными газовыми смесями или их поверки разработано несколько апробированных лабораторных методов (табл. 3.3). На практике нередко возникает необходимость в поверке газовой смеси, подготовленной по одной методике, или же в ее перекрестной проверке с другими смесями.

Наличие прочной базы первичных эталонов и четкой системы единства измерений чрезвычайно важны для проведения любых измерений. Надежная система выпуска

Таблица 3.3. Методы калибровки первичных эталонных газовых смесей и единство измерений (+: пригодный метод; -: непригодный)

Метод	Загрязнитель					Характеристика метода с точки зрения единства измерений
	CO	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	
Калибровочный баллон промышленного типа	+	-	-	-	-	Концентрации не регулируются; требуется проверка пригодности с использованием независимых методов
Диффузионные источники микропотоков	-	+	-	+	-	Абсолютное (взвешивание); трубки промышленного типа могут быть поверены по эталонам
Статическое разбавление	+	+	+	+	-	Абсолютный метод (по объему)
Динамическое разбавление	+	+	+	+	-	Находится в зависимости от технических характеристик баллона и масс-контроллера газового потока
Титрование газовой фазы	-	-	+	-	+	Не абсолютная, но сопоставимая методика (O ₃ /NO)
Ультрафиолетовая фотометрия	-	-	-	-	+	Абсолютный метод (поглощение ультрафиолетового излучения)

первичных эталонов необходима для подготовки и проверки вторичных эталонов. Впоследствии такие эталоны могут использоваться на местах, где проводятся измерения, а также для выпуска переносных эталонов, которые находят свое применение при гармонизации измерений в рамках программы мониторинга для всей сети. Поэтому для любой сети мониторинга надежные первичные эталоны являются основной гарантией качества и точности измерений (18).

Интеркалибровка и инспекционные проверки

В рамках обширной общенациональной сети помимо калибровки оборудования на постах наблюдения следует также обеспечить проведение регулярных инспекционных проверок и интеркалибровки (рамка 3.14). Инспекционные проверки, как правило, проходят не менее одного раза в год. При этом проводится прямая и качественная оценка выполнения операторами своих функций, эффективности

Рамка 3.14. Инспекционные проверки постов наблюдений и интеркалибровка

- Как правило, проводятся внешними организациями
- Обеспечение сопоставимости данных, получаемых в рамках сети
- Проверка условий эксплуатации поста наблюдений или отклонений от нормативных требований
- Обеспечение единства измерений
- Проверка правильности выполнения операций в работе поста наблюдений
- Анализ систематических отклонений в результатах измерений от нормы

работы поста наблюдения, состояния инфраструктуры и измерительного оборудования. Кроме того, во время таких проверок прямо на посту наблюдения проводится разбор возможных отклонений от нормы параметров работы приборов или получаемых данных.

В зависимости от типа сети мониторинга интеркалибровка может проводиться через каждые 3–6 месяцев. Эта процедура предусматривает получение количественной оценки функционирования всего комплекса системы измерений на каждом посту наблюдения за счет использования одних и тех же вторичных эталонов, доставляемых поочередно на каждый сетевой пост. В работе разветвленной сети мониторинга интеркалибровке уделяется первостепенное внимание в целях обеспечения сопоставимости данных и установления прямой связи средств измерений с первичными эталонами.

Как инспекционные проверки, так и интеркалибровка представляют собой надежный инструмент гармонизации эксплуатационных параметров сетей мониторинга и систем измерений в таких крупных международных сетях, как ГСМОС/ВОЗДУХ (повторно запускаемая под названием «Информационная система по контролю за состоянием атмосферного воздуха (АМИС)³») или новая, еще не сформировавшаяся, система EUROAIRNET (14).

³ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Функционирование системы: сети с отбором проб

Многие базовые методы обеспечения и контроля качества и организации производственной деятельности, о которых шла речь в предыдущих разделах, одинаково применимы как в отношении автоматизированных сетей мониторинга, так и в отношении сетей, оборудованных обычными пробоотборниками. Тем не менее, некоторые дополнительные соображения, рассмотренные в данном разделе, имеют особое значение для программ мониторинга, в которых используются пробоотборники.

Хотя активные и пассивные пробоотборники относительно просты в эксплуатации, крайне важно уделять пристальное внимание процедурам по обеспечению и контролю качества, чтобы получаемые данные соответствовали установленному и адекватному уровню качества. Поскольку в данном случае для отбора проб используются относительно простые методики, то в любой программе обеспечения и контроля качества особо важное место следует отводить последующим лабораторным анализам отобранных проб.

Оценка и выбор оборудования для отбора проб

Конструкция пассивных пробоотборников очень проста, и их можно собрать или закупить на фирмах-изготовителях, занимающихся серийным выпуском таких приборов. Например, ряд институтов и фирм занимаются поставкой диффузионных трубок для замера NO_2 , а также оказывают аналитические услуги. При выборе подходящего предприятия для анализа проб следует самым внимательным образом удостовериться в надежности его системы обеспечения качества.

Активные пробоотборники можно также собрать из комплектующих частей (таких, как входной контур для забора проб и шланги, абсорбирующая среда или фильтр, газовый счетчик или ротаметр и насос) или закупить в готовом виде через фирмы-поставщики.

Анализ проб

Обеспечение качества химического анализа при работе с поглотительными трубками предполагает проведение таких

мероприятий, как использование полевых и лабораторных холостых проб, проверку размеров трубок и подготовку карт контроля качества выполняемого анализа.

Тщательной обработкой и анализом отобранных проб должен заниматься хорошо подготовленный и компетентный технический персонал; химические анализы проб следует проводить в компетентных (аккредитованных) аналитических лабораториях. Исходя из ограниченного объема настоящей публикации не представляется возможным подробно описать используемые аналитические методы. Тем не менее, в лабораториях обычно имеются свои методики, разработанные и апробированные собственными силами³³. К таковым можно отнести колориметрические или инструментальные методы, в частности ионную хроматографию. При проведении любых анализов следует пользоваться надежными химически чистыми реактивами.

Еще одним требованием, предъявляемым к обеспечению качества, является ведение персоналом соответствующей документации и выполнение им всех аналитических процедур. В данном случае персоналу следует руководствоваться процедурами, изложенными в стандартах Международной организации по стандартизации (ИСО) или в других доступных и пригодных документах. Методы и процедуры подлежат регулярным независимым контрольным проверкам и пересмотру.

Пассивные пробоотборники могут использоваться для измерения уровней загрязнения среды в сельских районах, где концентрации загрязнителей намного ниже. Однако если пробоотборники служат для регистрации очень низких уровней загрязнения окружающей среды, то выполнению анализов и использованию лабораторных и полевых холостых проб следует уделять особое внимание.

Калибровка систем отбора проб

В работе систем, основанных на использовании активных пробоотборников, обязательной калибровке подлежат приборы, контролирующие параметры объема или скорости

³³ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

отбора проб воздуха, а также аналитические методики и методы отбора проб. Еще до начала эксплуатации и регулярно в дальнейшем газовые счетчики, используемые для определения объема пробы, или ротаметры, предназначенные для контроля скорости отбора пробы, должны быть откалиброваны по первичным эталонам. Методики первичного стандарта (эталона) при калибровке потока воздуха включают в себя использование ртутного герметично запаянного поршневого волюмометра, объемной калибровки по мыльной пленке, спирометра и принципа вытесненного тела. При каждом посещении постов наблюдения в целях сохранения скорости отбора проб воздуха на стабильном уровне в пределах допустимых границ следует проверять точность объема забора проб.

В идеальном случае процедуры отбора и анализа проб следует калибровать путем подачи известной концентрации анализируемого загрязнителя в пробоотборник в течение периода измерений и последующего анализа пробы в установленном порядке. Загрязнитель с заданной концентрацией можно получить с помощью диффузионного редуктора и баллона с калибровочным газом или путем статического или динамического разбавления.

Однако, в условиях работы сети станций мониторинга с большим количеством постов наблюдения могут возникнуть материально-технические трудности – в этом случае, как правило, проводится внешний осмотр пробоотборников и проверка скорости отбора проб воздуха. Следует также проверять состояние шлангов пробоотборников и проводить их замену по мере необходимости. Весьма распространенной проблемой при эксплуатации активных пробоотборников оказывается нарушение герметизации, поэтому необходимо уделять пристальное внимание целостности шлангов и их соединений в пробоотборнике.

При работе с пассивными пробоотборниками габариты их диффузионных трубок должны быть обмерены тщательным образом, а также проверено постоянство их параметров с учетом различных партий выпуска пробоотборников.

Незначительная погрешность в определении габаритных размеров может привести к серьезной ошибке в окончательных расчетах концентраций примеси.

Гармонизация аналитических лабораторий

Если в рамках крупных программ или многосторонних проектов в аналитической работе задействован ряд лабораторий, то для проверки согласованности аналитических процедур и результатов должны регулярно проводиться межлабораторные сравнения. Для этого все лаборатории должны провести анализы стандартных растворов, проб газов и/или растворов с заданной концентрацией примесей. Такие пробы готовят в централизованном порядке на базе одной лаборатории и затем приступают к их анализу в обычном порядке. При этом можно проверить точность калибровочных стандартов, используемых в аналитических лабораториях. Кроме того, пассивные пробоотборники, содержащие воздушные примеси с заданной концентрацией, могут использоваться для получения сравнительной оценки всего хода анализа, выполняемого для пассивных пробоотборников.

Управление данными

Даже при условии строгого выполнения всех вышеупомянутых методических рекомендаций по организации сети мониторинга для максимизации целостности данных требуются дополнительные меры по контролю качества. В любой сети мониторинга атмосферного воздуха, как бы удачно она ни была реализована или функционировала, могут происходить сбои в работе оборудования, ошибки оператора, случаи отключения электроэнергии, возникать влияния различных внешних факторов и помех и может быть целый ряд других нарушений, которые в конечном итоге не исключают получения искаженных или ошибочных данных. Поэтому необходимо отфильтровать такие нарушения еще до того, как будет получена или использована окончательно сформированная база данных.

Для удобства рассмотрения данного вопроса процесс анализа данных можно условно разделить на два этапа, а

именно: проверка достоверности данных и их ратификация. Для выверки данных следует запустить ускоренный процесс сквозного скрининга (просмотра) данных с целью выявить или удалить очевидно ошибочные данные до начала их использования на практике; ратификация означает проведение достаточно продолжительного контроля баз данных до их окончательного архивирования, анализа и подготовки к распространению.

Проверка достоверности данных

Экспресс-методы сквозного скрининга (просмотра) результатов измерений имеют особое значение для систем мониторинга, обеспечивающих рассылку данных в реальном масштабе времени для общего доступа к пользователям в профильных учреждениях. Вместе с тем, распространенные таким образом после сквозного просмотра данные носят предварительный характер и могут пересматриваться в результате их последующей ратификации (см. следующий подраздел). В рамке 3.15 приводятся некоторые основополагающие правила проверки достоверности данных.

Многие серийные системы телеметрии и системы мониторинга, выпускаемые «под ключ», позволяют выявлять выбросы данных или подозрительные данные, а также определять калибровочные (поправочные) коэффициенты³⁴. Однако, даже при введении строгих критериев, которым должны соответствовать данные, и при условии автоматической отбраковки меченых данных высокое качество итоговых данных не гарантировано. Например, вследствие запуска программы отбраковки предварительно принятых данных нередко аннулируются экстремальные (но значимые) результаты измерений загрязнителей только лишь по той причине, что такие значения находятся за пределами заданного диапазона значений или приемлемых предельных величин.

Даже такие сверхсовременные программные средства, которые базируются на нейронных сетях и представляются

³⁴ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

**Рамка 3.15. Проверка достоверности данных:
некоторые основные правила**

- Обязательный процесс сквозного скрининга (просмотра) данных
- Критический контроль всех данных
- Быстрота процесса
- Использование распечаток данных и графиков
- Требуется здравый смысл и опыт
- Недопустимость чрезмерной зависимости от автоматизированных систем

перспективными в плане снижения рутинных рабочих нагрузок по проверке достоверности данных, могут рассматриваться лишь как полезный инструмент, а не как окончательное решение проблемы на современном этапе.

Более гибкий подход к оценке достоверности данных может заключаться в их активной сквозной проверке квалифицированными специалистами. Такой процесс критического анализа является важной составной частью программ обеспечения качества для сети; он позволяет не только выявлять потенциально ошибочные или сомнительные данные, но и во время сообщать операторам сетевых постов о всевозможных сбоях в работе оборудования или о какой-либо иной проблеме, заслуживающей внимания.

Ежедневное обобщение полученных данных и регулярное (ежемесячное и/или ежеквартальное) формирование графических данных и карт контроля калибровки облегчает процесс сквозного критического просмотра данных. Опыт, здравый смысл и личная инициатива персонала, занимающегося скринингом (просмотром) данных, позволяют обеспечить успешную реализацию процесса критического анализа.

Ратификация данных

Ратификация данных – это не механический процесс, неизбежно ведущий к полной автоматизации. Хотя экспертные системы, в основу которых положено соответствующее программное обеспечение, возможно, окажутся полезными в будущем, единственным надежным методом остается оценка компетентным специалистом.

Ратификация должна обеспечиваться высококвалифицированными специалистами, обладающими широкими познаниями по проблемам поведения и рассеивания загрязнителей в окружающей среде, в области контрольно-измерительной техники, опытом работы в полевых условиях и умением разбираться в предмете (рамка 3.16). Некоторые из многочисленных составляющих процесса ратификации баз данных, получаемых общенациональной сетью мониторинга, вкратце перечислены на рис. 3.4.

Рамка 3.16. Ратификация данных

- Периодический критический анализ: возможно, через каждые 3–6 месяцев
- Окончательный этап подтверждения достоверности данных
- Как правило, проводится силами отдельного подразделения по обеспечению и контролю качества
- Основывается на умении разбираться в предмете и приобретенном опыте
- Учет множества разнородных факторов

Набор данных регулярной интеркалибровки нередко используется в качестве исходного основного массива данных для процесса ратификации. Следовательно, ратификация, как правило, основывается на базах данных за период 3–6 месяцев, что позволяет надежно выявлять дрейф рабочих характеристик за большой период времени, а также отклонения в работе постов наблюдения и измерительных приборов.

Периодичность ратификации данных через более продолжительные промежутки времени обычно не рекомендуется. Более длительные перерывы в ратификации данных могут привести к продолжению работы с ошибками или к их усилению, что в долгосрочной перспективе станет причиной возникновения недостоверных и отбракованных данных.

Преобразование данных в информацию³⁵

Функция мониторинга сводится не только к тому, чтобы обеспечивать сбор данных, но и к тому, чтобы получать

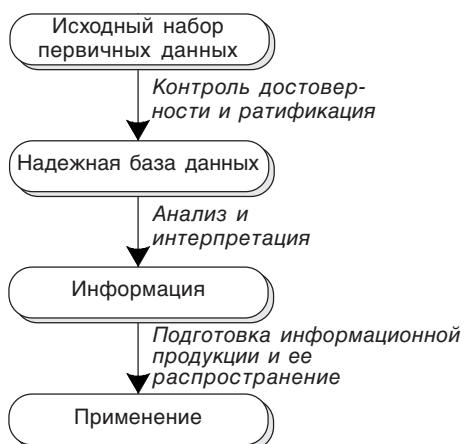
³⁵ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

информацию, которая оказалась бы полезной для конечных пользователей среди специалистов, политиков и представителей общественности (рис. 3.5).

Рисунок 3.4. Факторы, которые следует учитывать в процессе ратификации данных



Рисунок 3.5. Поток данных в программе мониторинга



Полезность необработанных первичных данных в чистом виде весьма ограничена. Такие данные прежде всего подлежат скринингу (путем проверки их достоверности и последующей ратификации) и сравнительному анализу в целях получения набора надежных и достоверных данных. В рамках наиболее распространенных информационных систем для управления качеством атмосферного воздуха ратифицированные данные измерений вводятся в базу данных наряду с соответствующими наборами данных о выбросах, прогностическими данными, полученными путем моделирования, и другими входными параметрами, связанными с принятием решений.

Очередной этап в управлении данными состоит в их надлежащем анализе и интерпретации, целью которых является получение полезной информации в подходящем формате для конечных пользователей. Для наборов данных по качеству атмосферного воздуха разработан целый ряд общепризнанных аналитических методов (19). При окончательном анализе как необходимый уровень, так и метод обработки данных будут во многом определяться характером использования этих данных в конечном итоге.

Минимальный уровень управления данными может заключаться в кратких ежедневных, ежемесячных и ежегодных сводках, получаемых посредством обычного статистического и графического анализа. Следует иметь в виду возможность применения географических информационных систем, особенно при совместном использовании данных о загрязнении окружающей среды совместно с эпидемиологическим и другими социальными, экономическими или демографическими данными с геокоординатной привязкой.

Информация, полученная таким путем на основании данных измерений, должна своевременно доводиться до сведения конечных пользователей или распространяться иным способом. Эта информация может быть представлена в виде наборов данных, справок по обработанным данным, пиковых или усредненных статистических показателей, описания конкретных случаев превышения установленных

стандартов или целевых уровней, а также в форме аналитических результатов, графиков или карт. В главе 5 даны конкретные примеры форм для представления данных.

Форматы для передачи информации должны не только соответствовать специфике работы сети мониторинга, но и удовлетворять требованиям пользователей. Для распространения данных или информации могут использоваться всевозможные методы, включая бумажные носители, компьютерные носители и электронные каналы передачи данных.

Бумажные носители. Метод передачи информации о качестве атмосферного воздуха в виде распечатанного на бумаге отчета известен уже давно. Ежегодные доклады о состоянии качества атмосферного воздуха, адресованные конечным пользователям среди специалистов, равно как и информационные бюллетени для широкой общественности, по-прежнему широко используются как каналы распространения информации. Есть основания полагать, что этот метод становится морально устаревшим в свете преимуществ методов электронной передачи данных.

Компьютерные носители. В целом ряде хорошо развитых систем мониторинга просуществовавший многие годы метод передачи данных на гибких дисках быстро вытесняется методами трансляции или передачи информации в реальном масштабе времени. Системы дополняются ежегодным выпуском компакт-дисков CD-ROM, где содержатся данные и/или краткие статистические сводки, по результатам выполнения национальных или муниципальных программ мониторинга атмосферного воздуха.

Электронные каналы передачи данных. В будущем самыми распространенными средствами коммуникации будут электронные каналы передачи данных. Такой источник получения информации о качестве атмосферного воздуха уже стал самым простым и наиболее доступным для пользователей среди специалистов и населения многих стран.

В ряде государств системы общественной информации играют все более важную роль в повышении осведомленности общественности о влиянии факторов окружающей среды, в оповещении населения об эпизодах повышенного уровня загрязнения и распространении соответствующих рекомендаций для особо уязвимых групп населения. Весьма удачным конкретным примером такого рода в Соединенном Королевстве является деятельность Службы по распространению информации о качестве атмосферного воздуха. С ежечасно обновляемыми данными о всех загрязнителях, наблюдение за которыми проводится национальными автоматизированными сетями Соединенного Королевства, а также с региональными прогнозами состояния окружающей среды на ближайшие 24 часа можно ознакомиться через телетекст, телевизионные сводки погоды и по бесплатному телефону. Наряду с ратифицированными наборами данных, аналитическими сводками, картами и информацией о текущем состоянии качества атмосферного воздуха доступ к этим ежечасным данным можно также получить через систему Интернет (по адресу <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/welcome.html> доступ открыт с 12 августа 1999 г.).

Самым последним достижением в Соединенном Королевстве является глобальный доступ в удобном для пользователя, интерактивном и легко сбрасываемом формате ко всему архиву данных о качестве атмосферного воздуха и о выбросах через Web-узел, который открылся с 12 августа 1999 г. по адресу: <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual>. Аналогичные методы распространения информации о качестве атмосферного воздуха стали также применяться и в других странах, например, в Австрии с 12 августа 1999 г. открыт доступ по адресу: <http://www.ubavie.gv.at> или в Германии, где также с 12 августа 1999 г. можно воспользоваться следующим адресом: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten-e/daten-e/hid.thm>. Шведский научно-исследовательский институт по окружающей среде поддерживает Web-узел, где по следующему адресу: <http://www.ivl.se/proj/urban> можно ознакомиться с анализом и интерпретацией собранной информации (доступ по этому адресу открыт с 12 августа 1999 г.). На текущий момент можно

считать, что вышеперечисленные Web-узлы отражают современные достижения в области распространения данных о качестве атмосферного воздуха. В общеевропейском масштабе в рамках EUROAIRNET³⁶ – Сети мониторинга и информации о качестве атмосферного воздуха Европейского агентства по окружающей среде (14) – реализуется система AIRBASE, обеспечивающая с 12 августа 1999 г. доступ к данным по нескольким странам через систему Интернет по адресу: <http://www.etcaq.rivm.nl>.

Библиография

1. Council directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management. *Official journal of the European Communities*, L296(21/11): 55–63 (1996).
2. *Quality assurance in urban air quality monitoring*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. I, document WHO/EOS/94.1).
3. BOWER, J.S. Ambient air quality monitoring. In: HESTER, R. & HARRISON, R., ED. *Air quality management*. London, UK Royal Society of Chemistry, 1997, pp. 41–65 (Issues in Environmental Science and Technology, No. 8).
4. PFEFFER, H.-U. *Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen. Teil 3: Ringversuche der staatlichen Meß- und Erhebungsstellen in der Bundesrepublik Deutschland (STIMES) – Ergebnisse für die Komponenten SO₂, NO_x, O₃ und CO*. Essen, Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 1984 (LIS-Berichte Nr. 52).
5. MÜCKE, H.-G. ET AL. *European Intercomparison Workshops on Air Quality Monitoring. Vol. 1. Measuring of SO₂, NO and NO₂*. Berlin, WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, 1995 (Air Hygiene Report 7).
6. MÜCKE, H.-G. ET AL. *European Intercomparison Workshops on Air Quality Monitoring. Vol. 2. Measuring of CO, NO, NO₂ and O₃*. Berlin, WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, 1996 (Air Hygiene Report 9).

³⁶ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

7. MÜCKE, H.-G. Air quality assurance and control in the WHO European Region. In: INCECIK, S. ET AL., ED. *Air quality management at*, pp. 581–585 (Environmental Research Forum, Vol. 7–8). *urban, regional and global scales*. Ütikon, Switzerland, Trans Tech Publications, 1997
8. BOWER, J.S. *Quality assurance and control for air monitoring – a talk for NSCA in March 1995*. Culham, UK, AEA Technology – National Environmental Technology Centre, 1995.
9. KOTLIK, B. & VONDRUSKOVA, I. *Workshop of the staff of the Mobile Measuring Systems for Outdoor Air Quality Monitoring – internal report*. Prague, Czech Republic, National Institute for Public Health, 1996.
10. *Report on the WMO Meeting of Experts on the Quality Assurance Plan for the Global Atmosphere Watch, Garmisch-Partenkirchen. 26–30 March 1992*. Geneva, World Meteorological Organization, 1992 (No. 80, WMO/TD-NO 531).
11. *Passive and active sampling methodologies for measurement of air quality*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 4, document WHO/EOS/94.3).
12. LARSEN, G. & SCHAUG, J., ED. *EMEP Workshop on Quality Assurance of Measurements, Berlin, 20–23 November 1995*. Kjeller, Norwegian Institute for Air Research, 1996 (EMEP/CCC–Report 3/96).
13. DE SAEGER, E. & PAYRISSAT, M. Quality of air pollution measurements in the EU monitoring networks. In: *Quality assurance and accreditation of air pollution laboratories. Proceedings of a workshop, Belgirate. 15–16 October 1996*. Brussels, European Commission, 1996 (CL-NA-17698-EN-C).
14. LARSEN, S. ET AL. *Criteria for EUROAIRNET. The EEA Air Quality Monitoring and Information Network* (<http://www.eea.eu.int/Document/Entecrep/default.htm#top>). Copenhagen, European Environment Agency, 1999 (Technical Report No. 12) (accessed 12 August 1999).
15. *Health related air quality indicators and their application in health impact assessment in HEGIS: report on a WHO consultation, Sosnowiec, Poland, 21–23 November 1995*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1997 (document EUR/ICP/EHAZ 94 06/MT03).
16. LOADER, A. ET AL. *Investigation into the use of surrogate pollutant statistics for local authority air quality review and assessment*.

Culham, UK, AEA Technology, 1998 (Report AEA RAMP 20440004).

17. CARLESS, J. ET AL. *Estimation of short-term pollutant statistics from measured long-term average concentrations in the UK*. Stevenage, UK, Warren Spring Laboratory, 1994 (Warren Spring Laboratory Report LR1010).
18. *Primary standard calibration methods and network intercalibrations for air quality monitoring*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 2, document WHO/EOS/94.2).
19. *Analysing and interpreting air monitoring data*. Geneva, World Health Organization, 1980 (WHO Offset Publications, No. 51).

4

Стратегии мониторинга отдельных загрязняющих веществ

Если в предыдущей главе речь шла об общих требованиях, предъявляемых к системам мониторинга атмосферного воздуха, то в данной главе центральное место отводится требованиям по методологии, вопросам обеспечения качества и стратегии мониторинга для отдельных загрязнителей³⁷. Перечень рассматриваемых в этой главе загрязнителей включает в себя: CO, O₃, SO₂, NO₂, ВЧ₁₀ и ВЧ_{2,5} (см. ниже определение понятия «взвешенные частицы»), бензол, полициклические ароматические углеводороды (бенз[а]пирен), свинец и кадмий. Основанием для выбора этих веществ служит то, что они:

- повсеместно распространены в воздушной среде городов;
- представляют собой, по общему признанию, потенциальный риск для здоровья населения;
- подлежат, как правило, регулированию на национальном или международном уровне.

При рассмотрении отдельных примесей осуществлялся последовательный и согласованный подход. По каждому из рассмотренных загрязнителей были приняты во внимание следующие аспекты:

³⁷ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

- эффекты на здоровье, являющиеся основанием для оценки (почему проводится мониторинг);
- источники воздействия и характеристики экспозиции, позволяющие уточнить, где именно следует проводить мониторинг;
- методы мониторинга с использованием доступных технологий;
- стратегии мониторинга и оценки: общие принципы формирования целенаправленного и экономически эффективного подхода; и
- отдельно взятый пример, иллюстрирующий последствия загрязнения среды конкретными загрязнителями или общие принципы организации мониторинга на национальном уровне.

Упомянутые в этой главе концентрации газообразных загрязняющих веществ приводятся к гравиметрическим (в $\text{мкг}/\text{м}^3$ или $\text{мг}/\text{м}^3$) и в объемных (частях/млрд.) единицах (ppb); при этом для взвешенных частиц даются лишь их весовые концентрации. Соотношения величин весовой и объемной концентраций газообразных веществ находятся в зависимости от молекулярного веса веществ и применимы только при нормальных температуре и давлении.

Соотношения между $\text{мг}/\text{м}^3$ и частями на млн. при нормальных температуре и давлении показаны в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Переводные коэффициенты для отдельных газообразных атмосферных загрязняющих веществ при нормальных температуре 20°C и давлении $1,01325 \times 10^5$ Па

Компонент	Отношение весовой к объемной концентрации	Отношение объемной к весовой концентрации
CO	1 $\text{мг}/\text{м}^3 = 0,86$ частей/млн.	1 часть/млн. = 1,17 $\text{мг}/\text{м}^3$
O ₃	1 $\text{мг}/\text{м}^3 = 0,5$ частей/млн.	1 часть/млн. = 2 $\text{мг}/\text{м}^3$
SO ₂	1 $\text{мг}/\text{м}^3 = 0,37$ частей/млн.	1 часть/млн. = 2,67 $\text{мг}/\text{м}^3$
NO ₂	1 $\text{мг}/\text{м}^3 = 0,52$ частей/млн.	1 часть/млн. = 1,91 $\text{мг}/\text{м}^3$

Оксид углерода

Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo и Kari Hämeikoski

Эффекты на здоровье

В результате связывания монооксида углерода (СО) гемоглобином с образованием карбоксигемоглобина (HbCO) способность крови по доставке кислорода снижается, а процессы связывания СО с другими белками крови оказывают прямое воздействие на изменение функций таких угнетенных при этом органов и систем, как головной мозг, сердечно-сосудистая система, скелетные мышцы, а также на развитие плода. При пиковых концентрациях, намного превышающих обычный уровень содержания СО в окружающем воздухе, наступает смерть.

Уровень концентрации HbCO не должен превышать 2,5%, чтобы предотвращать острые приступы ишемической болезни сердца у лиц среднего и пожилого возраста с установленной или латентной формой коронарной болезни сердца и развитие нежелательной гипоксии плода беременной женщины. Исходя из этого, ВОЗ (см. Приложение 1.1) предложила следующие гигиенические критерии по СО: 100 мг/м³ за 15 мин, 60 мг/м³ за 30 мин, 30 мг/м³ за 1 ч и 10 мг/м³ за 8 ч (1).

Источники загрязнения и характеристики экспозиции

Важнейшим источником поступления окиси углерода в окружающую атмосферу являются автотранспортные средства. Выбросы СО достигают пиковых концентраций при ограничении дорожного движения: на регулируемых перекрестках, а также в автомобильных пробках. По мере более широкого использования трехходовых каталитических нейтрализаторов выхлопных газов автомобилей объем выбросов СО и, соответственно, его концентрации в атмосферном воздухе будут снижаться. Использование усовершенствованных составов топлива также позволит сократить количество выбросов СО. В будущем основная доля выбросов СО будет обусловлена работой непрогретого двигателя, тормозящего процесс окисления СО в

каталитическом нейтрализаторе. На некоторых территориях причиной повышенных концентраций СО в атмосферном воздухе оказываются промышленные предприятия.

Природные фоновые уровни окиси углерода колеблются в пределах от 0,01 до 0,23 мг/м³. В зоне городских автомагистралей крупных европейских городов его средние концентрации за 8 ч составляют, как правило, менее 20 мг/м³, а пиковые величины за 1 ч – ниже 60 мг/м³.

В подземных и многоярусных стоянках автомобилей, дорожных тоннелях, на ледовых треках и в различного рода микросредах внутри помещений средние уровни СО могут превышать 115 мг/м³ за несколько часов экспозиции, причем краткосрочные пиковые значения могут быть значительно выше. В таких ситуациях чрезмерно высокие концентрации образуются вследствие работы двигателей внутреннего сгорания в условиях недостаточной вентиляции. При использовании газовых плит в быту были зарегистрированы пиковые концентрации СО, доходившие до 60 мг/м³. Курение внутри жилых зданий, офисов, магазинов и ресторанов может существенным образом обусловить повышение содержания средней концентрации СО в воздушной среде внутри помещения (1).

Методы мониторинга

Наиболее распространенным методом определения содержания СО в атмосферном воздухе городов является недисперсионная инфракрасная спектрометрия. Это автоматизированный метод непрерывного действия с диапазоном измерений от примерно 0,5 до 115 мг/м³ (2). Метод газовой хроматографии является еще одним методом, который работает как в ручном, так и в непрерывном автоматическом режиме, если только обеспечивается ежечасный забор и анализ нескольких дискретных проб воздуха. Данный метод не находит широкого применения в работе сети станций мониторинга (3). Кроме того, для мониторинга СО в автоматическом режиме используется метод окисления разогретой ртути, однако такой метод имеет свои недостатки ввиду использования ртути, которая может служить причиной помех.

Как было отмечено в главе 3, преимущество автоматических методов заключается в том, что они позволяют получать непрерывный поток данных в реальном масштабе времени, в связи с чем их разрешение по времени является высоким. Вместе с тем, конструкция таких приборов относительно сложна, они недешевы, и для их эксплуатации требуется высококвалифицированный персонал. В 1997 г. Европейская комиссия поручила Европейскому комитету по стандартизации утвердить эталонные методики определения содержания СО и других загрязнителей в окружающем воздухе. В рамках Европейского союза, по всей вероятности, в качестве эталонного метода будет предложена недисперсионная инфракрасная спектрометрия.

В последнее время для определения концентраций монооксида углерода был разработан достаточно чувствительный диффузионный пробоотборник (4). Названный метод эффективен в затратном отношении, однако обладает такими недостатками, как продолжительное время для проведения измерений и слабое разрешение по времени; с помощью такого метода можно получить лишь осредненные данные за большой период времени. Пробоотборник такого типа довольно успешно зарекомендовал себя при определении концентраций СО в атмосферном воздухе, когда результирующее количество за период экспозиции в работе прибора соответствует 30–1600 частей/млн.-часов, причем на результаты измерений не оказывают какого-либо влияния такие факторы окружающей среды, как относительная влажность, температура и скорость ветра. Были также разработаны регистраторы персональной экспозиции (дозиметры), позволяющие напрямую определять экспозицию населения в пределах фактических уровней загрязнения в окружающем воздухе.

Стратегия мониторинга и оценки

При проведении оценки, в частности, ставятся следующие цели: получение данных, подтверждающих соблюдение гигиенических критериев по концентрациям загрязнителя, оказание поддержки в управлении качеством атмосферного воздуха, получение общественно значимой информации и определение уровня экспозиции. При организации сети станций

мониторинга всегда необходим компромисс между теоретическими соображениями и практическими ограничениями. Объем получаемых результатов измерений можно расширить за счет дополнительных оценочных данных, особенно посредством моделей рассеивания.

Концентрации СО в окружающем воздухе варьируются в широких пределах по времени и в пространстве. Концентрации зависят от объема выбросов (интенсивности дорожного движения), погодных условий и конфигурации улиц; их уровни являются максимальными вблизи источников выбросов и быстро снижаются по мере удаления от них. Поскольку выбросы СО в основном имеют место у поверхности земли, параметры его вертикального и горизонтального рассеивания отличаются от соответствующих параметров для приподнятых источников. СО представляет собой первичное загрязняющее вещество, и поэтому его концентрации не находятся в прямой зависимости от атмосферных химических реакций, в результате которых образуются вторичные загрязнители.

С помощью всего лишь нескольких стационарных постов наблюдения невозможно получить репрезентативную картину средней экспозиции населения по СО. Распределение многих других загрязняющих веществ по территории города отличается большей однородностью. Более того, станции мониторинга окружающего воздуха не могут охватить такие различные источники экспозиции, как тоннели, гаражи, ледовые треки и среду внутри помещений. Стационарные станции мониторинга не позволяют получить удовлетворительную оценку краткосрочной экспозиции. Однако, персональная экспозиция более тесно связана с уровнями загрязнителя в окружающем воздухе при получении осредненных значений за 8 часов или более.

Данные о выбросах и о местонахождении важнейших источников дают ценную информацию об очагах загрязнения при поиске участков для размещения станций. Если невозможно провести комплексную инвентаризацию выбросов, допускается получение оценочных данных, например, на основании информации об интенсивности автомобильного движения.

Сведения о распределении населения на территории и о землепользовании, а также о планах застройки города и развитии транспорта могут оказаться полезными при выявлении неблагоприятного воздействия внешней среды как в настоящее время, так и в будущем.

Погодные условия и топографические особенности местности оказывают сильное влияние на рассеивание воздушных загрязнителей. Для первичной оценки ожидаемых концентраций и выявления возможных очагов загрязнения могут использоваться модели рассеивания с соответствующими данными о выбросах. Могут также использоваться и другие методы оценки, например, пассивные пробоотборники, которые находят свое применение при картировании концентрации загрязнителей, позволяя таким образом получить предварительную информацию об их пространственном распределении.

Конкретные подходы к выбору участков для размещения постов наблюдения за СО отличаются между собой в зависимости от целей мониторинга. Если в качестве основной задачи ставится мониторинг соответствия установленным гигиеническим нормативам или стандартам, то в этом случае для проведения наблюдений выбираются очаги загрязнения разного типа. Если же ставится задача по оценке популяционной экспозиции, то посты наблюдения развертываются на более обширной территории. Расстановка постов мониторинга должна соответствовать специфике условий неблагоприятного воздействия окружающей среды, обеспечивая наблюдение за состоянием среды у края тротуара, в центре города, на уровне городского фона, в пригороде или жилых районах и в промышленных зонах.

Результаты наблюдений сети мониторинга могут быть дополнены данными моделирования, что позволит детализировать пространственную картину при наличии соответствующих входных параметров – метеорологических данных и данных о состоянии выбросов³⁸.

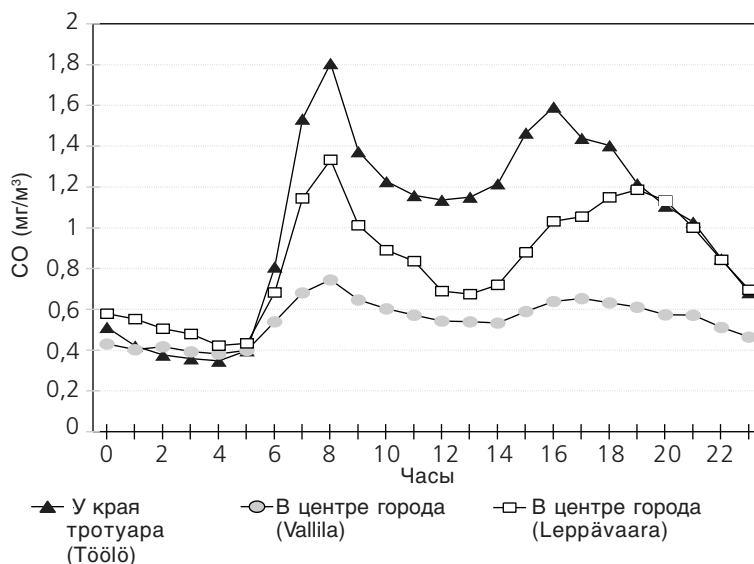
³⁸ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Расположение постов мониторинга должно быть достаточно репрезентативным, чтобы была возможность обобщения получаемых данных и их использования применительно к условиям среды аналогичного типа. Более пристальное внимание следует уделять тем районам, где численность экспонированной части населения довольно велика, а также тем участкам, для которых характерны условия ослабленного рассеивания загрязнителей, к примеру, в уличных каньонах. Результаты мониторинга окружающей среды можно использовать для оценки экспозиции населения, руководствуясь рядом различных методов, а именно: принятием в качестве основы данных измерений, полученных лишь на стационарных постах наблюдения, что довольно широко используется на практике, но не дает полного представления об экспозиции; комбинированным применением данных мониторинга и результатов моделирования для СО; или построением моделей экспозиции по СО, которые обеспечивают комбинированное использование концентрации СО в микросредах и данных о распределении видов деятельности по времени.

Суточные колебания концентраций СО на территории Большого Хельсинки (Финляндия) указывают на четкую разницу в концентрациях загрязнителя между различными постами наблюдения (рис. 4.1). Ежечасные концентрации представлены в виде средних величин за период с января по март 1996 г. Станции мониторинга установлены у края тротуара для регистрации параметров окружающей среды вдоль дороги с оживленным автомобильным движением недалеко от большого перекрестка; в центральной части города в районе Vallila примерно в 20 метрах от улицы, где движение транспорта гораздо менее интенсивное, чем в районе Töölö. Пост мониторинга в центре города в районе Leppävaara расположен недалеко от автострады с автомобильным движением, типичным для пригорода. Данные регистрировались примерно на высоте 4 метра.

Если использовать передвижные посты наблюдений, то период наблюдений в одном месте должен быть достаточно продолжительным, чтобы фиксировать суточные, годовые и

Рисунок 4.1. Суточные колебания концентраций СО на территории Большого Хельсинки (Финляндия) с января по март 1996 г.



случайные колебания в концентрациях загрязнителя, а также основные погодные параметры в течение года. Для проведения сравнительных оценок с гигиеническими критериями по СО периодичность отбора проб должна соответствовать установленным требованиям. Это значит, что на основании собранных данных нужно получить осредненные величины концентраций за 15 и 30 минут, 1 час и 8 часов. На практике наиболее оптимальный способ получения таких данных заключается в использовании стационарных постов мониторинга, оборудованных непрерывными анализаторами.

Характерный пример

В Финляндии на базе дошкольных учреждений Хельсинки была изучена индивидуальная экспозиция группы детей по СО (5). При этом основным внешним источником поступления окиси углерода в окружающую среду является автомобильное движение. К внутренним источникам поступления СО относятся, например, газовые плиты, гаражи

и курение. В этом обследовании принимали участие дети, посещавшие два детских сада в центре города, расположенных в непосредственной близости от фиксированных постов мониторинга содержания СО в атмосферном воздухе (в районах Töölö и Vallila), находящихся в ведении Городского совета Большого Хельсинки.

Медианное значение концентрации СО, зарегистрированное на посту мониторинга в районе Töölö, в два раза превышало соответствующую концентрацию в районе Vallila. Как медианные значения, так и частотное распределение часовой персональной экспозиции в районах Töölö и Vallila (жилые дома с электроплитами) оказались практически одинаковыми. Тем не менее, как в районе Töölö, так и Vallila, медианные уровни персональной экспозиции по СО у детей, проживающих в домах с газовыми плитами, были примерно в два раза выше, чем у детей из домов с электроплитами.

Уровни персональной экспозиции по СО у детей из домов с газовыми плитами были, как правило, выше, чем соответствующие уровни, зарегистрированные на ближайших фиксированных постах наблюдения (при средней регистрируемой персональной экспозиции, равной $2,79 \text{ мг/м}^3$ и средней измеренной концентрации в атмосферном воздухе на уровне $1,36 \text{ мг/м}^3$). Экспозиция внутри помещений у детей, проживающих в домах с электроплитами, также превышала уровни СО, зарегистрированные на открытом воздухе, но разница в средних величинах была меньше (персональная экспозиция равнялась $1,91 \text{ мг/м}^3$, а соответствующая концентрация в окружающем воздухе – $1,52 \text{ мг/м}^3$).

Был сделан вывод, что данные, полученные исключительно на стационарных постах мониторинга атмосферного воздуха, не должны использоваться для оценки персональной экспозиции по СО у детей; точно так же недопустимо оценивать средние уровни экспозиции, распределение экспозиции по времени и даже на относительные различия между отдельными районами. Газовые плиты, работающие на коммунально-бытовом газе, могут заметно увеличивать персональную экспозицию по СО.

Библиография

1. *Update and revision of the air quality guidelines for Europe: meeting of the Working Group on Classical Air Pollutants*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1995 (document EUR/ICP/EHAZ 94 05/PB01).
2. *ISO/DIS 4224: 1996. Ambient air – Determination of carbon monoxide – Non-dispersive infrared spectrometric method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1996.
3. *ISO 8186: 1989. Ambient air – Determination of the mass concentration of carbon monoxide – Gas chromatographic method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1989.
4. LEE, K. ET AL. A passive sampler for measurement of carbon monoxide using a solid adsorbent. *Environmental science and technology*, **26**: 697–702 (1992).
5. ALM, S. ET AL. Personal exposures of preschool children to carbon monoxide: roles of ambient air quality and gas stoves. *Atmospheric environment*, **28**(22): 3577–3580 (1994).

Озон

Ruth Baumann и Jürgen Schneider

Эффекты на здоровье

Озон (O₃) представляет собой вторичное загрязняющее вещество, образующееся в атмосфере в результате фотохимической реакции предшественников – летучих органических соединений, NO_x и CO, в присутствии коротковолнового солнечного излучения. Озон может проникать в организм человека с дыханием, доходя непосредственно до органов дыхания, так как он мало растворим в воде. Пиковая экспозиция при высоких концентрациях озона может обусловить изменения в функции легких, воспалительные процессы в дыхательных путях и повышенную реактивность дыхательных путей на введение бронхосуживающих средств. Неблагоприятное воздействие озона также ассоциировалось с ростом показателей госпитализации по поводу респираторных заболеваний, включая астму.

Данные, полученные в результате полевых исследований, а также контролируемых исследований экспозиции, служат основанием для рекомендуемого гигиенического критерия, равного 120 мкг/м^3 при усреднении за 8-часовой период (Приложение 1.1). В пересмотренном варианте критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы, наряду с указанными гигиеническими критериями приводятся конкретные показатели риска различных последствий для здоровья при определенных уровнях экспозиции, которые близки к критериям концентраций. Данные измерений, полученные ЕМЕП³⁹ (Программой сотрудничества по мониторингу и оценке переноса на большие расстояния загрязняющих веществ в Европе (начиная с 12 августа 1999 г. открыт доступ по адресу: <http://projects.dnmi.no/~emep/index.html>)) (1–3) и Европейским тематическим центром по качеству атмосферного воздуха (4), говорят о том, что в настоящее время гигиенические критерии ВОЗ по качеству атмосферного воздуха превышены почти во всех европейских странах.

Источники и характеристики экспозиции

Как сказано выше, озон является вторичным загрязнителем, который не выбрасывается в атмосферный воздух из источников, а образуется в результате фотохимических реакций. Как следствие такого явления и в отличие от первичных примесей, поступающих в атмосферу в результате выбросов, краткосрочные концентрации озона обычно достигают своих пиковых значений на некотором расстоянии от источников выбросов предшественников озона.

Пространственно-временное распределение концентраций озона может быть сложным и находится в зависимости от различных факторов, например, от фотохимического образования озона, его горизонтального и вертикального переноса, разрушения озона вследствие реакции с NO и сухого осаждения. Перечисленные факторы, в свою очередь, испытывают сильное влияние погодных условий, топографических характеристик и присутствия других

³⁹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

загрязнителей, среди которых центральное место занимают летучие органические соединения – предшественники озона, NO_x и CO . Эти процессы определяют характерные особенности распределения концентраций озона в общеевропейском, субрегиональном и локальном масштабе. Ввиду того, что погодные условия оказывают свое влияние не только на распространение озона, но и на его образование, во многих странах уровни концентрации озона в разные годы изменяются в широких пределах.

Повышенные краткосрочные пиковые концентрации нередко наблюдаются в тех местах, которые не совпадают с зонами долгосрочных высоких средних концентраций. Пиковые краткосрочные уровни (сохраняющиеся от одного до нескольких часов) обычно образуются над отдельными территориями в Европе в зоне факелов крупных источников загрязнения. Традиционно высокие долгосрочные средние концентрации (средние за 8 часов или ежедневные средние значения) могут нередко регистрироваться высоко расположенными станциями (особенно в горных районах), где не играют существенной роли ни процессы сухого осаждения, ни разрушения в результате реакции с NO , и могут иметь место обменные процессы со свободной тропосферой⁴⁰.

Ориентировочные фоновые концентрации озона в сельской местности стран Европы можно рассчитать с помощью разработанной в рамках ЕМЕП фотохимической модели (5). Расчеты показывают, что долгосрочная средняя концентрация озона имеет тенденцию к возрастанию, если двигаться с северо-запада Европы в сторону ее центральной части. Однако, данные, полученные путем моделирования, не пригодны для оценки экспозиции населения, проживающего вне сельской местности.

Структура распределения озона в зоне городов или же на подступах к ним может быть достаточно сложной. В районе основных источников NO , в частности возле дорог с интенсивным автомобильным движением, уровни озона

⁴⁰ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

обычно совсем незначительны. В городах Центральной и Южной Европы образование озона может происходить довольно стремительно в эпизодах высокой фотохимической активности, и максимальные пиковые концентрации озона нередко наблюдаются в пределах пригородов. И напротив – на севере Европы скорость фотохимического образования озона может быть ниже, что обуславливает формирование его пиковых концентраций на большом удалении от городов. Следовательно, в этих странах концентрации озона в районе городов часто бывают меньше его концентраций в сельской чистой местности.

Методы мониторинга

В целом следовало бы различать непрерывные и дискретные измерения. Непрерывный процесс измерения предпочтителен для оценки эффектов на здоровье на основании зависимости «доза-отклик», а также для проверки соблюдения критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы. Тем не менее, дискретные измерения, например, посредством пассивных пробоотборников, могут использоваться для получения индикаторных данных при планировании сети мониторинга, обследовании территории или уточнении пространственных параметров экспозиции.

Автоматическое измерение можно условно разделить по трем отдельным критериям: методика забора проб, метод измерения и метод калибровки.

Химическая реактивность озона должна обязательно учитываться при проектировании систем пробоотборников с целью определить концентрации озона в окружающем воздухе с помощью какой-либо из методик, перечисленных в табл. 4.2. Взаимодействие между стенками прибора и пробой должно быть сведено к минимуму, как и само время пребывания газовой пробы внутри системы. Кроме того, следует уделять самое пристальное внимание техническому обслуживанию и регулярной чистке систем забора проб, особенно в условиях загрязненной среды городов.

Первые два метода измерений, перечисленных в табл. 4.3, относятся к категории точечных измерений, и поэтому не

Таблица 4.2. Наиболее распространенные методы забора проб озона

Метод	Описание	Достоинства
Ламинарный поток	Скорость потока 150 л/мин, диаметр шланга 0,15 м	Изокинетический метод забора проб
Турбулентный поток	Модульная конструкция	Низкая стоимость
Забор проб без соединительных шлангов	Прямое подключение к анализатору	Низкая стоимость

Таблица 4.3. Наиболее распространенные автоматизированные методы определения содержания озона

Метод	Нормативная ссылка	Недостатки
Хемилюминесценция	ISO 10313: 1993 (6)	Применение этилена
Ультрафиолетовый фотометр	ISO 13964: 1998 (7)	Возможны помехи
Спектрометр «Дифференциальная оптико-абсорбционная система (ДОАС)»		Зависимость точности измерений от тумана; калибровки в рабочих условиях; дорогостоящий

представляется возможным их прямое сопоставление с результатами измерений, полученными посредством дифференциальной оптико-абсорбционной системы, поскольку эти данные отражают информацию о концентрации озона вдоль оптического пути на выбранной трассе измерений⁴¹. Концентрации озона, используемые в настоящее время для оценки последствий для здоровья, определяют при помощи первых двух методов, что гарантирует сопоставимость получаемых результатов. Метод ультрафиолетовой фотометрии наиболее распространен в европейских сетях станций мониторинга.

⁴¹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Для калибровки рекомендуется использовать ультрафиолетовый калибровочный фотометр, что широко распространено в странах Европы. По сути дела, в каждой стране должен быть свой первичный калибровочный стандарт, отвечающий требованиям связи средств измерений с соответствующим государственным метрологическим стандартом (эталон) или с таким международным эталоном, как стандарт Национального института США по стандартам и технологии.

Стратегия мониторинга и оценки

В принципе замеры должны производиться в зонах максимальной концентрации озона, а также в тех местах, где высока вероятность его воздействия на рецептор. Это означает, что при проектировании сети мониторинга в первую очередь следует принимать во внимание структуру распределения концентраций озона и размещение населения. Поэтому соответствующие измерения должны проводиться в густонаселенных городских районах, находящихся вне зоны непосредственного влияния местных источников выбросов. Как упоминалось выше, для получения завершённой и комплексной картины распределения экспозиции населения могут понадобиться дополнительные измерения не только в районах городского фона и пригородных зонах (которые могут находиться за городской чертой), находящихся под воздействием городских факелов, но и в сельских районах. Посты наблюдения в сельской местности желательно устанавливать в маленьких городах и деревнях.

Ввиду того, что концентрации озона регистрируются немногочисленными постами мониторинга, необходимо обеспечить их пространственную репрезентативность. Таким образом, в городских районах размещение станций мониторинга должно быть репрезентативным для зон с площадью не менее 10 км², на больших территориях компактного проживания населения такой охват должен быть на площади 100 км², а в сельских районах – на еще более обширной площади в зависимости от сложности рельефа местности. Что касается источников выбросов, то посты мониторинга озона должны быть расположены на

территориях с фоновым загрязнением, т.е. вне зоны, непосредственно прилегающей к дорогам с интенсивным движением транспорта или к промышленным источникам загрязнения, поскольку местные выбросы NO могут служить причиной разрушения озона и, следовательно, обусловить искажение пространственной репрезентативности параметров его концентрации.

Внимательно продуманная схема развертывания постов наблюдения должна обеспечить максимально возможную сопоставимость данных, собранных в ходе непрерывных измерений на одном посту, с данными, полученными аналогичными по своему расположению сетевыми постами мониторинга (табл. 4.4). В итоге накопленная информация будет свидетельствовать не только о зарегистрированных концентрациях озона, но и о пространственной репрезентативности каждого поста мониторинга, отражая тем самым

Таблица 4.4. Характеристика местности для установки постов наблюдения за концентрациями озона

Тип местности для поста наблюдения	Комментарии
Дорожное движение	Неприемлемо для определения концентрации озона
Город	Желательно, чтобы посты находились на репрезентативных участках на территории жилых районов вне зоны прямого воздействия предшественников озона
Пригород	Посты, расположенные вблизи наружных границ городских окраин, где могут наблюдаться максимальные концентрации озона, находящиеся под воздействием городских факелов
Сельская местность	Эти посты могут быть расположены у небольших населенных пунктов или на их территории
Промышленная зона	Неприоритетно для определения концентрации озона

потенциальную экспозицию населения к таким концентрациям озона. Это особенно важно, поскольку перенос на другие участки или демонтаж станций мониторинга озона, расположенных на территории большинства стран, сопряжен с определенными трудностями.

При проектировании сети измерений озона следует также учитывать уже выполняемые определения его уровней. На территориях с довольно низкими или равномерно распределенными концентрациями озона достаточно иметь буквально несколько таких постов наблюдения.

Конкретные примеры

Австрия. В Австрии довольно плотная сеть станций мониторинга озона (8). Одна из важнейших задач этой сети состоит в получении информации для общественности о текущих уровнях концентрации озона в соответствии с требованиями Австрийского закона по озону, а также директивы Европейского союза от 1992 г. по озону (9). Для получения информации о пространственном распределении озона была разработана комплексная модель, обеспечивающая интерполирование концентраций озона между станциями мониторинга с помощью функции зависимости от времени суток и высоты (10). При резких повышениях концентрации озона результаты модельных расчетов обновляются и публикуются через каждые несколько часов. В сущности, в сочетании с демографическими данными эти данные могут использоваться для оценки состояния здоровья населения Австрии.

Европейский союз. Европейский тематический центр по качеству атмосферного воздуха издает ежегодный доклад о концентрациях озона, превышающих пределы порогового воздействия, которые установлены директивой Европейского союза от 1992 г. по озону (4,9). В этих докладах представлен всесторонний обзор концентраций озона, зарегистрированных как городскими, так и не городскими постами наблюдения, которые расположены по всей территории Европейского союза. Более того, в ближайшее время ожидается выход в свет сводного доклада о ситуации с озоном, который

включает в себя некоторые данные о его последствиях для здоровья (11).

Библиография

1. HJELLBREKKE, A.-G. *Ozone measurements 1993–1994*. Kjeller, Norwegian Institute for Air Research, 1996 (EMEP/CCC Report 1/96).
2. HJELLBREKKE, A.-G. *Ozone measurements 1995*. Kjeller, Norwegian Institute for Air Research, 1997 (EMEP/CCC Report 3/97).
3. HJELLBREKKE, A.-G. *Ozone measurements 1995*. Kjeller, Norwegian Institute for Air Research, 1998 (EMEP/CCC Report 3/98).
4. DE LEEUW, F. ET AL. *Air pollution by ozone in the European Union. Exceedance of ozone threshold values in 1995 and summer 1996* (<http://www.etcaq.rivm.nl/publications.html>). Copenhagen, European Environment Agency, 1996 (EEA Topic Report No. 29/1996) (accessed 12 August 1999).
5. SIMPSON, D. ET AL. *Photochemical oxidant modelling in Europe: multi-annual modelling and source-receptor relationships*. Oslo, Norwegian Institute for Air Research, 1997 (EMEP/MS-CW Report 3/97).
6. ISO 10313: 1993. *Ambient air – Determination of the mass concentration of ozone – Chemiluminescence method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1993.
7. ISO 13964: 1998. *Air quality – Determination of ozone in ambient air – Ultraviolet photometric method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1998.
8. SPANGL, W. *Luftgütemeßstellen in Österreich*. Vienna, Umweltbundesamt, 1996 (UBA-BE-075).
9. Council directive 92/72/EEC of 21 September 1992 on air pollution by ozone. *Official journal of the European Communities*, **L297** (13/10): 1–7 (1992).
10. LOIBL, W. ET AL. Estimating the spatial distribution of ozone concentrations in complex terrain using a function of elevation and day time and Kriging techniques. *Journal of atmospheric environment*, **28**(16): 2557–2566 (1997).
11. BECK, J.P. ET AL. *Tropospheric ozone in the European Union. «The consolidated report»* (<http://www.eea.eu.int/Document/Entecrep/consoz>). Copenhagen, European Environment Agency, November 1998 (accessed 12 August 1999).

Диоксид серы

Bohumil Kotlik и Jon Bower

Эффекты на здоровье

В результате воздействия на организм человека двуокиси серы (SO_2) и родственных с нею соединений может возникать целый ряд хронических и острых последствий для здоровья.

В газообразной форме SO_2 может вызывать раздражение органов дыхания, а в случае краткосрочного воздействия высоких доз в зависимости от индивидуальной чувствительности может наблюдаться обратимый эффект на функцию легких.

Вторичный продукт H_2SO_4 в основном оказывает свое влияние на функцию дыхания. Такие его соединения, как полиядерные аммиачные соли или сульфаторганические вещества, оказывают механическое воздействие на альвеолы и, будучи легко растворимыми химическими соединениями, свободно проникают через слизистые оболочки дыхательных путей в организм.

Было выявлено, что аэрозоли твердых частиц, образованные при химическом взаимодействии находящихся в атмосфере молекул газов (т.е. вторичные примеси), ассоциируются со многими эффектами на здоровье, как описано в разделе по ВЧ_{10} .

Рекомендованные ВОЗ гигиенические критерии по SO_2 таковы:

- 500 мкг/м³ для 10-минутной экспозиции
- 125 мкг/м³ для экспозиции за 24-часовой период осреднения
- 50 мкг/м³ для экспозиции за годовой период осреднения.

Источники загрязнения и характеристики экспозиции

Несмотря на то, что в отдельных местах существуют естественные источники загрязнения (вулканические или геотермальные), в большинстве городских районов

доминируют антропогенные источники, образующиеся при сгорании ископаемых видов топлива, в состав которого входит сера. Эти источники загрязнения включают в себя:

- точечные источники (тепловые электростанции, мусоросжигательные заводы, горнодобывающая и металлургическая промышленность);
- площадные источники загрязнения (домашнее отопление и коммунальные котельные); и
- подвижные источники (дизельные двигатели).

Характеристики и продолжительность экспозиции нередко варьируются в широких пределах в зависимости от конкретного региона и времени года, а также от основных источников загрязнения и их пространственного распределения, типа погодных условий и характеристик рассеивания. Затяжные периоды повышенных концентраций данного загрязнителя, которые могут длиться в течение нескольких дней в холодные устойчивые зимние месяцы, в условиях ослабленного рассеивания, по-прежнему наблюдаются во многих частях мира, где для обогрева помещений используется уголь. В данном случае, как правило, преобладают площадные источники, что обуславливает пространственную однородность распределения концентраций загрязнителя и его экспозиции.

И напротив, случаи краткосрочного повышения концентраций, продолжающихся от нескольких минут до нескольких часов, могут иметь место в результате оседания дыма вблизи источника, рассеивания или постепенного опускания дымового факела вдоль направления ветра с удалением точечных источников. Формирующаяся при этом структура экспозиции существенно изменяется в зависимости от высоты выбросов, начального подъема дымового факела и погодных условий. При таких условиях временная изменчивость концентраций загрязнителя в окружающем воздухе также весьма высока, особенно в случае местных источников загрязнения.

В связи с важностью проблемы как острого, так и хронического воздействия SO_2 на здоровье, в рамках любой

стратегии мониторинга следует самым тщательным образом оценивать оба варианта повышения концентрации данного загрязнителя, включая его долговременную экспозицию.

Методы мониторинга

Если ставится задача по контролю за соблюдением гигиенических критериев по краткосрочному воздействию, то предпочтение отдается автоматическим анализаторам; для получения сравнительной оценки с суточными или годовыми критериями или же для анализа воздействия межсуточных колебаний концентраций загрязнителя вполне подходящими оказываются разнообразные активные пробоотборники. Пассивные пробоотборники могут использоваться для получения данных с тем, чтобы их можно было сопоставить с долгосрочными годовыми нормативами.

Пассивные пробоотборники. Какого-либо государственного или международного стандарта, регламентирующего порядок эксплуатации диффузионных трубок для SO_2 при мониторинге атмосферного воздуха или их подготовку к работе и анализ в лабораторных условиях, не существует. Тем не менее, изданы протоколы по подготовке пробоотборников к работе и проведению анализов посредством спектрофотометрии и ионной хроматографии (1).

Отработаны многие методики анализа с пассивным отбором проб. К наиболее распространенным относятся следующие методы:

- метод спектрофотометрии с использованием триэтанолamina/гликоля (2)
- метод спектрофотометрии с использованием КОН/глицерина (3)
- метод ионообменной хроматографии с использованием Na_2CO_3 /глицерина (4).

Приведенные методики широко используются в комбинированном виде. Например, в Соединенном Королевстве КОН или NaOH используется в качестве абсорбента, однако идея конструкции мембраны такой трубки

принадлежит Ferm (4), а в качестве аналитического метода используется ионная хроматография. На практике методика ионной хроматографии неофициально считается стандартным методом анализа содержания SO₂ с помощью диффузионной трубки.

Типичная точность измерений, связанная с такой гибридной методикой, соответствует $\pm 8,5$ мкг/м³, при этом наблюдалось занижение данных по сравнению с показаниями автоматических анализаторов (примерно на 30%), хотя согласие с показаниями активных пробоотборников оказались лучше (5).

Активные пробоотборники. Подробное описание оборудования, необходимого для отбора проб в целях определения концентрации газообразных соединений серы в атмосферном воздухе, приводится в ISO 4219: 1979 (6). В указанном стандарте дается детальная характеристика оборудования для отбора проб газообразных загрязнителей путем их абсорбции жидкостью, содержащейся в барботере. Кроме того, в стандарте изложены методические рекомендации по выбору участков для постов наблюдения и монтажу аппаратуры.

Принцип активных методов отбора проб состоит в подаче атмосферного воздуха через поглощающую среду (обычно с помощью барботера) в течение определенного периода времени, как правило, за 24 часа. При этом замеряется объем забора воздуха. Впоследствии проводится анализ поглощающей среды, и определяется концентрация загрязнителя в отобранной пробе воздуха. Этот широко используемый и надежно проверенный метод уже в течение многих лет находит свое применение в работе многих сетей мониторинга разных стран. В результате для оценки трендов уже накоплена многолетняя база данных о концентрациях SO₂, полученная с помощью активных пробоотборников.

На таком принципе основан целый ряд методов мониторинга SO₂. С этой целью может использоваться аппаратура, характеристики которой даны в ISO 4219: 1979.

Предлагаемый перечень оборудования отличается лишь по составу растворов, содержащихся в барботерах для абсорбции SO_2 , а также по методу последующего анализа. Описание четырех наиболее распространенных методов представлено ниже.

Метод ацидиметрии (общей кислотности), описание которого дается в ISO 4220: 1983 (7), используется для определения газообразного кислотного индекса загрязнения воздуха базовыми примесями. Несмотря на то, что данный метод позволяет определять общую кислотность и не является специальным в отношении SO_2 , он вполне соответствует общим требованиям. Простота метода и относительная безопасность используемых реактивов обуславливает его повсеместное применение в повседневном мониторинге (8).

Ионная хроматография представляет собой один из вариантов вышеназванного метода. Экспонированные перекисные растворы анализируются на содержание сульфат-ионов посредством ионной хроматографии, а не путем титрования. Такая методика имеет свои преимущества, обладая специфичностью по сульфатам, однако для нее необходим дорогостоящий ионообменный хроматограф.

Описание тетрахлормеркуратного метода, также известного как парарозанилиновый метод, приводится в ISO 6767: 1990 (9). В соответствии с директивой Европейского союза по определению концентраций двуокиси серы и взвешенных частиц, данный метод является эталонным (10). Однако, используемые для него реактивы (соединения ртути) очень токсичны, в связи с чем он не находит широкого применения на практике.

Ториновый метод представлен в ISO 4221: 1983 (11). Используемые в этом методе реактивы (хлорная кислота, перхлорат бария, диоксан и торин) небезопасны, и при обращении с ними и удалении отработанных растворов должны приниматься специальные меры предосторожности. Вот почему такой метод не пользуется особой популярностью.

С учетом всех сопутствующих факторов метод определения общей кислотности обеспечивает суммарную погрешность определения концентраций SO_2 в пределах $\pm 10\%$. Случайная погрешность этого широко распространенного метода вполне реальна в диапазоне $\pm 4 \text{ мкг/м}^3$ (8).

Автоматические анализаторы. К настоящему времени уже сформировался определенный набор методов автоматического мониторинга. Ультрафиолетовая флуоресценция для определения концентраций SO_2 в автоматическом режиме используется особенно широко. С помощью ультрафиолетового облучения с длиной волны 212 нм в отбираемой пробе воздуха происходит возбуждение молекул SO_2 до нестабильного энергетического состояния с более высоким уровнем энергии. Обратный переход из нестабильности в стабильное состояние обуславливает вторичное флуоресцентное излучение, интенсивность которого прямо пропорциональна концентрации SO_2 в пробе.

Точность данных, получаемых с помощью автоматических анализаторов SO_2 , зависит от ряда факторов, которые присутствуют во всей цепочке измерений. Сюда входит точность калибровочных стандартов, стабильность функционирования анализаторов и возможная потеря проб в измерительном тракте. В Соединенном Королевстве в работе автоматической государственной сети мониторинга суммарная погрешность измерений концентраций SO_2 с учетом всех сопутствующих факторов составляет $\pm 10\%$. Случайная составляющая погрешности определения концентраций SO_2 по оценке долгосрочных данных об отклонениях показаний вблизи порога чувствительности установленных анализаторов соответствует $\pm 3 \text{ мкг/м}^3$ (12).

Трассовые датчики. Такие трассовые оптико-сенсорные системы, как дифференциальная оптико-абсорбционная система, основываются на использовании методов спектроскопии с большой оптической длиной пути для определения концентрации загрязнителя в реальном масштабе времени, интегрированной по всей длине пути между источником света и детектором. Системы

мониторинга такого типа могут использоваться для измерения SO_2 , однако они менее распространены по сравнению с автоматическими точечными регистраторами. Вот почему значительно сложнее установить систематическую и случайную погрешность данных, получаемых с помощью таких приборов. Названный метод не соответствует требованиям ISO 7996: 1985 (13). Следует обращать особое внимание на калибровку приборов и обеспечение качества измерений, чтобы получаемые с помощью телеметрических датчиков данные были значимыми.

Стратегия мониторинга и оценки

Проблема планирования экономически эффективной, целенаправленной и адекватной стратегии мониторинга SO_2 в некотором отношении представляется особенно сложной. Это объясняется тем, что SO_2 может обладать как острыми, так и хроническими эффектами на здоровье. В связи с этим нередко возникает необходимость в проведении измерений в течение различных временных интервалов. Кроме того, иногда пространственно-временная изменчивость концентраций SO_2 бывает настолько значительна, что приводит к неоднородности составляющих экспозиции.

При планировании комплексной стратегии мониторинга и оценки SO_2 применительно к конкретной территории следует прежде всего проанализировать роль отопительных систем помещений на данной территории и точечных источников загрязнения в промышленном секторе, мусоросжигательных установок и районную инфраструктуру выработки тепловой и электроэнергии. Это позволит уточнить координаты пространственных очагов загрязнения, сезоны пиковых концентраций и конкретные целевые группы населения. Необходимо также учесть временные интервалы соответствующих воздействий, так как на их основе можно будет подобрать наиболее адекватные технологии мониторинга.

В данном случае вполне подходящим может оказаться гибридный вариант подхода к планированию сети мониторинга, особенно в условиях дефицита ресурсов и

максимизации эффективности затрат. При таком подходе автоматические анализаторы служат для:

- выявления краткосрочных пиковых концентраций
- анализа краткосрочной временной изменчивости
- проведения сравнительной оценки с критериями качества по краткосрочному воздействию
- получения исходных данных для систем предупреждения о резком повышении уровня загрязнения или для общедоступных информационных систем при наличии таковых.

Дополнительные сети пробоотборников (активных или пассивных) служат для:

- восполнения пробелов в автоматической сети
- приближенной оценки пространственных характеристик и изменчивости концентраций
- проведения сравнения с нормативами по долгосрочным средним концентрациям.

Во многих частях Восточной Европы по-прежнему нередко широко используется дискретный (периодический) и эпизодический отбор проб; в этом случае для достижения максимальной временной репрезентативности требуется четко продумать систему организации наблюдений. Результаты таких наблюдений также следует тщательно анализировать и интерпретировать и использовать с осторожностью⁴².

Конкретный пример

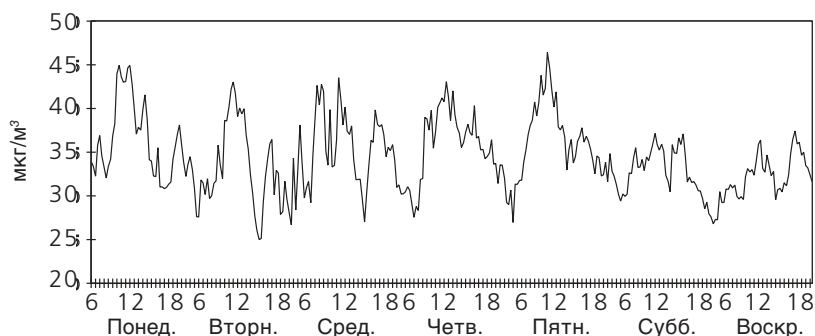
Типичные временные вариации концентрации SO₂ можно проиллюстрировать на результатах импактного обследования небольшого города (менее 250 000 жителей), проведенного в январе 1996 г. Как было установлено, основными внешними источниками SO₂ оказались площадные источники (сжигающие ископаемые вида топлива) и мелкие промышленные предприятия. Сам город расположен в плохो

⁴² См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

продуваемой ветром долине реки на территории Чешской Республики. Для получения необходимых данных с 30-минутным усреднением использовалась передвижная измерительная система и центральная автоматизированная станция мониторинга. В отдельные дни корреляция между результатами наблюдений, зафиксированных подвижными и стационарными регистраторами, находилась в диапазоне 0,5–0,8.

Наблюдаемая концентрация SO_2 была значительно ниже уровня критерия (рис. 4.2). В течение дня получаемые данные варьировались в широких пределах и были тесно коррелированы с интенсивностью деятельности людей. Высокие околополуденные пиковые уровни загрязнения были заметно ниже в субботу и воскресенье, чем за остальные дни недели.

Рисунок 4.2. Концентрации SO_2 (за 30-минутный период усреднения), зарегистрированные за 1 неделю в одном из небольших городов Чешской Республики



Библиография

1. BENNETT, S.L. ET AL. *The measurement of sulphur dioxide in the outdoor environment using passive diffusion tube samplers: a second report*. Culham, UK, AEA Technology, 1992 (Environmental Physics Department, AEA Environment and Energy, Report No. AEA-EE-0323).
2. HANGARTNER, M. ET AL. Passive sampling of nitrogen dioxide, sulphur dioxide and ozone in ambient air. In: *Proceedings of the 4th World Clean Air Congress*. Hague, the Netherlands,

- September 1989. The Hague, World Clean Air Congress, Vol. 3, pp. 661–666.
3. HARGREAVES, K.J & ATKINS, D.H.F. *The measurement of sulphur dioxide in the outdoor environment using passive diffusion tube samplers: a first report*. Culham, UK, AEA Technology, 1988 (Environmental and Medical Sciences Division, Harwell Laboratory, Report No. AERE-R-12569).
 4. FERM, M. *A sensitive diffusional sampler*. Stockholm, Swedish Environmental Research Institute, 1991 (Report No. IVL B-1020).
 5. DOWNING, C.E.H. ET AL. *A survey of sulphur dioxide, ammonia and hydrocarbon concentrations in the United Kingdom using diffusion tubes: July to December 1992*. Culham, UK, AEA Technology, 1994 (Warren Spring Laboratory Report No. LR 964).
 6. *ISO 4219: 1979. Air quality – Determination of gaseous sulphur compounds in ambient air – Sampling equipment*. Geneva, International Organization for Standardization, 1979.
 7. *ISO 4220: 1983. Ambient air – Determination of a gaseous acid air pollution index – Titrimetric method with indicator or potentiometric end-point detection*. Geneva, International Organization for Standardization, 1983.
 8. *Instruction manual: UK smoke and sulphur dioxide networks*. Culham, UK, AEA Technology, 1997 (Report AEAT-1806).
 9. *ISO 6767: 1990. Ambient air – Determination of the mass concentration of sulfur dioxide – Tetrachloromercurate (TCM)/pararosaniline method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1990.
 10. Council directive 80/779/EEC of 15 July 1980 on air quality limit values and guide values for sulphur dioxide and suspended particulates. *Official journal of the European Communities*, **L229**(30/08): 30–48(1980).
 11. *ISO 4221: 1980. Ambient air - Determination of mass concentration of sulfur dioxide in ambient air – Thorin spectrophotometric method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1980.
 12. *Site operator's manual automatic urban monitoring network*. Culham, UK, AEA Technology, National Environmental Technology Centre, 1996.
 13. *ISO 7996: 1985. Ambient air – Determination of mass concentration of nitrogen oxides – Chemiluminescence method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1985.

Двуокись азота

Jon Bower

Эффекты на здоровье

Двуокись азота (NO_2) представляет собой один из воздушных загрязнителей, образующийся в процессе горения. Оксид азота (NO) всегда сопутствует двуокиси азота; сочетание NO и NO_2 принято называть оксидами азота (NO_x). В настоящем разделе речь пойдет о воздействии на здоровье человека только одного NO_2 .

При очень высоких концентрациях, которые наблюдаются лишь при серьезных авариях на промышленных предприятиях, экспозиция по NO_2 может привести к незамедлительному и тяжелому поражению легких. Эффекты на здоровье могут также проявляться и при значительно более низких концентрациях данного загрязнителя, которые могут наблюдаться при эпизодах повышенного загрязнения в городах. Накопленные данные доказывают, что экспозиция по этому загрязнителю в окружающей среде может приводить как к острым, так и к хроническим эффектам на здоровье, особенно у восприимчивой части населения, например, у астматиков.

NO_2 в основном играет роль окислительного агента, способного нарушить целостность клеточных мембран и белков. При высоких концентрациях могут возникать острые воспалительные процессы в области дыхательных путей. Кроме того, при краткосрочном воздействии может проявиться предрасположенность к повышенному риску возникновения респираторной инфекции (1). Несмотря на проведенные многочисленные исследования в области контроля экспозиции, доказательств прямой взаимосвязи между величиной концентрации или дозы и ответом не имеется.

В случае острой экспозиции лишь крайне высокие концентрации (>1880 мкг/м³, 1 часть/млн.) оказывают негативное воздействие на здоровое население; однако, лица с астмой или хроническим обструктивным заболеванием

легких в большей степени восприимчивы к более низким концентрациям. На основании наилучших доступных клинических данных был установлен почасовой гигиенический критерий, равный 200 мкг/м^3 (110 частей/млрд.) (2).

По данным эпидемиологических исследований окружающей среды и токсикологических экспериментов над животными было установлено, что продолжительная экспозиция по NO_2 может обусловить ослабление защитной реакции легких организма и привести к выраженным изменениям в структуре легочной ткани. По этой причине с целью предотвращения воздействия таких хронических эффектов на здоровье населения в целом был установлен среднегодовой критерий на уровне 40 мкг/м^3 (2).

Источники воздействия и характеристики экспозиции

Для разработки экономически эффективной и целенаправленной стратегии мониторинга NO_2 требуется не только полное представление о потенциальных эффектах на здоровье, но и учет путей воздействия и составляющих самой экспозиции. Эти факторы, в свою очередь, находятся в зависимости от структуры газообразных выбросов, размещения населения и характера поведения людей.

Основным антропогенным источником поступления в атмосферу NO_x является автотранспорт. На долю автотранспорта приходится примерно половина от общего количества выбросов на всей территории Европы (3,4). К прочим главным источникам загрязнения относятся тепловые электростанции, отопительные котельные и технологические процессы в промышленности (5).

Основная доля в составе выбросов NO_x представлена NO , который впоследствии окисляется до NO_2 с озоном и другими окислителями. Пространственное распределение NO_2 в значительной мере зависит от таких факторов, как химическая реакция превращения NO в NO_2 , их фотоустойчивое равновесие с O_3 наряду с присутствием и относительной важностью других каналов окисления. В целом,

NO_2 проявляется как вторичный загрязнитель и поэтому имеет тенденцию к более равномерному пространственному распределению по сравнению с такими первичными загрязнителями среды, как CO в составе выхлопных газов автомобилей.

Хотя на долю автотранспортных средств приходится около 50 % от общего количества выбросов NO_x , эта доля, тем не менее, выше в городах. К примеру, в Лондоне 74 % выбросов NO_x являются следствием автомобильного движения (6); для большей части территории Европы эта величина достаточно типична (4). Поскольку выбросы от автомобиля находятся у поверхности земли, их воздействие на качество атмосферного воздуха в зоне дыхания человека в пропорциональном отношении все же больше (по крайней мере в непосредственной близости от таких выбросов) по сравнению с соответствующим влиянием приподнятых точечных источников загрязнения.

Следовательно, при разработке стратегии мониторинга NO_2 необходимо принимать во внимание то, что пространственные характеристики загрязнения и экспозиция населения в основном обусловлены воздействием автотранспортного движения. Данное обстоятельство влечет за собой определенные последствия. Например, долгосрочные осредненные концентрации NO_2 в центре города должны быть выше (как правило, в соотношении 2 : 1), чем соответствующие уровни в районе пригорода (3); предполагаемые соотношения концентраций в городе и сельской местности могут быть примерно 4 или 5 к 1 (7,8).

При планировании сети станций мониторинга также важно учитывать градиенты концентрации на придорожных участках. По данным крупномасштабного (с участием более 1200 постов наблюдения) обследования городов в Соединенном Королевстве с использованием диффузионных трубок была установлена вполне устойчивая связь между уровнями NO_2 , зарегистрированными у края тротуара (в 1–5 м от оживленной дороги), концентрациями на промежуточных участках (на расстоянии 20–30 м) и в

городских районах с фоновым загрязнением (> 50 м от дорог). Концентрации загрязнителя у края тротуара обычно на 35–40 % выше по сравнению с его уровнями на промежуточных участках и на 60–70% выше, чем на участках с фоновым загрязнением (9).

Временная изменчивость NO_2 может также заметно повлиять на стратегию мониторинга. Как отмечено в главе 3, между пиковыми и средними уровнями содержания NO_2 можно нередко установить хорошие полуэмпирические зависимости (10). Хотя такие зависимости и не имеют универсальной применимости и должны определяться только в местных условиях, их можно использовать для определения вероятного превышения критериев по краткосрочной экспозиции, что можно вывести из измеренных долгосрочных средних концентраций.

Оценка экспозиции по NO_2 должна, главным образом, основываться на данных мониторинга среды в центральной части города, в районе дорог и пригородов или жилых массивов, а также на результатах, ориентированных на источники наблюдения на тех территориях, которые, скорее всего, находятся в зоне воздействия промышленных выбросов. Кроме того, данные о состоянии микросреды в районе очагов загрязнения также имеют большое значение. Существует значительный потенциал экспозиции по NO_2 внутри помещений, особенно в домашней обстановке при использовании такими приборами, как газовые плиты. Следует, тем не менее, отметить, что проблема экспозиции внутри помещения не входит в тематику данной публикации.

Подводя итог, можно утверждать, что при разработке программ мониторинга NO_2 следует иметь в виду следующие характеристики этого загрязнителя:

- уровни концентрации зависят преимущественно от количества выбросов, связанных с автомобильным движением;
- это вторичный загрязнитель, распределение которого в пространстве отличается однородностью;

- его максимальные концентрации наблюдаются в центральной части городов и в районе дорог; и
- отношение пиковой и средней концентрации статистически устойчиво и может использоваться в различных целях.

Методы мониторинга

В главе 3 изложены четыре наиболее распространенных класса методов мониторинга атмосферного воздуха: пассивные и активные пробоотборники, автоматические анализаторы и трассовые датчики. В настоящем разделе представлен обзор конкретных методов наблюдения, базирующихся на вышеперечисленных четырех классах методов применительно к определению концентраций NO_2 в атмосферном воздухе. Для этих целей существует немало протестированных и довольно распространенных методов (рамка 4.1).

Рамка 4.1. Наиболее распространенные методы определения концентрации NO_2

- Пассивные пробоотборники, например, диффузионная трубка Палмса с использованием триэтаноламина
- Активные пробоотборники, например, метод Гриза-Зальцмана
- Автоматические анализаторы, например, хемилюминесцентные
- Трассовые датчики, например, дифференциальная опико-абсорбционная спектроскопия

Пассивные пробоотборники. На практике используется несколько типов пассивных пробоотборников различных конфигураций в виде трубки или пленочного дозиметра (11). Наиболее распространенным является пробоотборник с диффузионной трубкой с использованием триэтаноламина в качестве абсорбента, или трубка Палмса (12). Пробоотборник такого типа применялся на практике и продемонстрировал хорошие эксплуатационные качества на примере целого ряда щирокомасштабных обследований в условиях города и сельской местности не только в Европе, но и в других странах мира.

Несмотря на то, что какого-либо государственного или международного стандарта, регламентирующего порядок

эксплуатации диффузионных трубок не существует, тем не менее, изданы и широко используются протоколы по подготовке пробоотборников к работе и проведению фотоспектроскопического анализа (12,13).

В недавних сравнениях было выявлено хорошее соответствие между результатами определения концентрации NO_2 , полученными с помощью диффузионной трубки, и параллельными данными, зарегистрированными хемилюминесцентными анализаторами, установленными в тех же местах (14). Если сравнивать с анализаторами, то в пределах наиболее типичного для города диапазона изменения концентраций (порядка 10–40 частей/млрд.) показания диффузионных трубок оказались выше примерно на 10 %. Случайная погрешность методики измерений, судя по данным аналогичных исследований, находится на уровне 5–8 %.

Для получения наилучших результатов огромное значение имеет обеспечение качества данных и гармонизация лабораторных анализов диффузионных трубок (8).

Активные пробоотборники. Для активного забора проб существуют всевозможные технологии (10). Самым известным из них является метод Гриза-Зальцмана, описание которого приводится в ISO 6768: 1985 (15). Хотя этот метод и обладает достаточной чувствительностью и предполагает применение относительно простого и недорогого аппарата для отбора проб, он имеет целый ряд недостатков. Для эксплуатации такого прибора используются реактивы, вызывающие коррозию, и он не совсем готов для отбора проб более чем за 1–2 часа. К тому же вызывают сомнения методы калибровки прибора и эффективность поглощения пробы, а также не исключаются возможные побочные реакции. Таким образом, широкомасштабное использование рассматриваемого метода в области мониторинга в качестве основного не может быть рекомендовано.

Автоматические анализаторы. Хемилюминесцентный анализатор является общепринятым эталонным методом применения автоматических анализаторов, как определено

в директиве Европейского союза по стандартам качества атмосферного воздуха по содержанию NO_2 (16) и описано в ISO 7996: 1985 (17). Серийно выпускается и повсеместно используется несколько моделей такого прибора. Такие анализаторы обеспечивают получение данных с высокой разрешающей способностью в реальном масштабе времени. Однако, для получения точных и надежных результатов измерения требуется высокий уровень технического обслуживания и ремонта такой аппаратуры, а также оказание оперативной поддержки и помощи в обеспечении качества (18,19).

Точность измерений, полученных с помощью автоматических анализаторов, зависит от ряда факторов, характерных для всей цепочки активных измерений. Сюда входит точность калибровочных стандартов, стабильность функционирования и чувствительность анализатора, а также возможные потери в системе забора проб. Эксплуатационные испытания показали, что с учетом всех приведенных факторов в условиях хорошо организованной сети станций мониторинга погрешность определения концентраций NO_2 составляет $\pm 10\%$. Соответствующие оценки случайной погрешности находятся в пределах $\pm 3,5$ частей/млрд.

Трассовые датчики. Системы трассовых датчиков, в частности базирующихся на дифференциальной оптико-абсорбционной спектроскопии, могут использоваться для определения концентраций NO_2 (и других загрязнителей) в реальном масштабе времени, интегрированных по всей длине трассы между источником излучения и приемником. Несмотря на хорошие результаты тестирования данного метода для определения содержания NO_2 он не отвечает требованиям ISO 7996: 1985 и не может использоваться для определения соответствия допустимому пределу для NO_2 , который регламентирован в директиве Европейского союза (16).

Системы дифференциальной оптико-абсорбционной спектроскопии могут оказаться полезными, если необходимы

результаты измерений, интегрированные (усредненные) по длине оптического пути, или в случае определения концентраций вблизи источника загрязнения. Однако, этот метод относительно сложный и значительно более дорогостоящий по сравнению с другими методами определения концентрации NO_2 , рассмотренными в данном разделе. Более того, для получения надежных результатов измерений следует уделять пристальное внимание калибровке и контролю качества.

Стратегия мониторинга и оценки

При планировании приемлемой стратегии мониторинга NO_2 следует руководствоваться приведенными в главе 3 общими критериями выбора участков для постов наблюдения и планирования сети станций мониторинга. Концепция развития гибридной сети с использованием как пробоотборников, так и автоматических методов мониторинга, особенно подходит для в случая NO_2 и уже доказала свою приемлемость. Такой подход может быть использован как на муниципальном, так и на национальном уровне. Гибридные сети станций мониторинга позволяют оптимизировать пространственно-временные параметры сети, обеспечивая тем самым получение максимальной информации при минимальных усилиях. В рамках такой сети используются автоматические анализаторы, установленные на тщательно подобранных репрезентативных участках для получения наборов данных с детальным разрешением по времени, благодаря чему становится возможным прямое сопоставление с краткосрочными критериями.

Вместе с тем, ввиду дороговизны и сложности этих систем стратегия мониторинга, рассчитанная исключительно на автоматические анализаторы, предполагает мобилизацию многочисленных ресурсов. Поэтому, эти измерения дополняются в рамках гибридной сети специально спланированной плотной сетью пассивных пробоотборников. Последние благодаря своей дешевизне и независимости от электроснабжения могут быть смонтированы в относительно больших количествах, что позволит восполнить пробелы в промежутках между автоматическими анализаторами, а

также обеспечить не только хороший охват территории, но и должный уровень пространственного разрешения измерений.

В рамке 4.2 представлено краткое описание концепции планирования сети мониторинга такого типа, работа которой также предполагает проведение специальных мероприятий по определению краткосрочных концентраций и согласованное применение моделей рассеивания.

Конкретный пример

Действующие в Соединенном Королевстве сети мониторинга окружающей среды представляют собой довольно удачный

Рамка 4.2. Рекомендуемые компоненты стратегии мониторинга и оценки NO₂

Для получения максимального охвата по пространству и времени в рамках гибридной сети используются как пробоотборники, так и автоматические анализаторы.

Автоматические анализаторы служат для:

- выявления эпизодов резкого возрастания уровня загрязнения до пиковых концентраций
- оценки соответствия краткосрочным критериям
- обеспечения функционирования информационных систем для населения в реальном масштабе времени, а также систем предупреждения о резком повышении уровня загрязнения
- моделей в качестве входных данных для калибровки моделей.

Пассивные пробоотборники служат для:

- выявления географических очагов загрязнения
- скрининга (обследования) территорий и картирования распределения загрязнения
- планирования и оптимизации автоматических сетей
- оценки соответствия по долгосрочным критериям
- получения представления о предполагаемом соответствии нормативам по краткосрочным критериям
- моделей в качестве входных данных и для калибровки моделей.

В дополнение к вышеперечисленным задачам могут проводиться отдельные кампании по измерениям краткосрочных концентраций для оценки состояния микросреды наряду с моделированием и объективным анализом для:

- формулирования стратегии контроля загрязнения
- управления качеством атмосферного воздуха
- планирования землепользования и развития транспорта
- прогнозов и предсказаний
- оценки воздействия автотранспортного движения и промышленности.

пример практической реализации стратегии мониторинга, приведенной выше. Общегосударственные сети объединяют более 80 автоматизированных постов измерения уровней содержания NO_2 , основная часть которых находится в ведении местных, муниципальных и городских программ мониторинга. Принадлежащие к этой сети автоматизированные посты наблюдения, как отмечено в главе 3 в рамке 3.9, в основном развернуты в центральной части городов или поселков городского типа, городских фоновых территориях, около дорог, в пригороде или в жилых районах, причем особое внимание уделяется таким типам постов наблюдения, которые находятся в фоновых районах и в районе очагов загрязнения. Автоматизированные станции позволяют получить хорошую картину временной изменчивости и пиковых концентраций загрязнения применительно к краткосрочным критериям качества атмосферного воздуха, рекомендованным ВОЗ для Европы, равно как и к допустимым пределам, установленным Европейским союзом. Кроме того, Государственная информационная служба по качеству атмосферного воздуха обеспечивает широкое распространение почасовых данных среди общественности и в средствах массовой информации.

В Соединенном Королевстве концентрация NO_2 также измеряется на сетях с примерно 1200 пассивных пробоотборников. На каждую автоматизированную станцию, таким образом, приходится около 15 пунктов с пассивными пробоотборниками. Пассивные пробоотборники установлены на участках возле дорог, а также на промежуточных участках и в районах с фоновым загрязнением. Несмотря на то, что такие посты обеспечивают сбор данных с ограниченным (ежемесячным) разрешением по времени, набор данных на национальном уровне отражает как информацию по градиентам концентрации на придорожных участках, так и представляет подробное распределение пространственных характеристик концентраций NO_2 на территориях городов в масштабе всей страны.

На практике данные, полученные на автоматизированных станциях и с помощью пассивных пробоотборников, дополняют

друг друга. В своей совокупности они позволяют хорошо воспроизвести полную картину и пространственной, и временной изменчивости загрязнения на всей территории Соединенного Королевства. Этот гибридный принцип организации сети мониторинга на практике доказал свою чрезвычайную эффективность с точки зрения затрат. Более того, благодаря использованию полученных результатов измерений и данных Государственного кадастра инвентаризации выбросов удалось составить интерполированные карты высокого разрешения по концентрациям NO_2 . Имеющиеся карты оказываются весьма полезными и подходят для оценки как экспозиции, так и эффектов на здоровье.

Библиография

1. UK EXPERT PANEL ON AIR QUALITY STANDARDS. *Nitrogen dioxide*. London, The Stationery Office, 1996.
2. *Update and revision of the air quality guidelines for Europe: Meeting of the Working Group on Classical Air Pollutants*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1995 (document EUR/ICP/EHAZ 94 05/PB01).
3. UK QUALITY OF URBAN AIR REVIEW GROUP. *First report. Urban air quality in the UK*. London, Department of Environment, 1993.
4. JOL, A. & KIELLAND, G., ED. *Air pollution in Europe 1997. Executive summary* (<http://www.eea.eu.int/Document/Monogr/air97/default.htm>). Copenhagen, European Environment Agency, 1997 (EEA Environmental Monograph, No. 4) (accessed 12 August 1999).
5. SALWAY, G. ET AL. *UK emissions of air pollutants 1970–1994*. Culham, UK, AEA Technology, 1996 (AEAT/RAMP/2009001/R/003).
6. UK QUALITY OF URBAN AIR REVIEW GROUP. *Second report – diesel vehicle emissions and urban air quality*. Birmingham, University of Birmingham, 1993.
7. BROUGHTON, G. ET AL. *Air pollution in the UK 1995*. Culham, UK, AEA Technology, 1997 (AEA/RAMP/20112002/002).
8. *Air pollution in the UK 1993/94*. Culham, UK, AEA Technology, 1997 (AEA/CSR 1033/C).
9. STEVENSON, K. ET AL. *UK nitrogen dioxide survey 1995*. Culham, UK, AEA Technology, 1997.
10. CARLESS, J. ET AL. *Estimation of short-term pollutant statistics from measured long-term average concentrations in the UK*. Stevenage,

- UK, Warren Spring Laboratory, 1994 (Warren Spring Laboratory Report LR 1010).
11. *Passive and active sampling methodologies for measurement of air quality*. Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 4, document WHO/EOS/94.3).
 12. PALMES, E.D. ET AL. Personal sampler for nitrogen dioxide. *American industrial hygiene journal*, **37**: 570–577 (1976).
 13. ATKINS, C. ET AL. *The measurement of nitrogen dioxide in the outdoor environment using passive diffusion samplers*. Culham, UK, AEA Technology, 1986 (Environmental and Medical Sciences Division, Harwell Laboratory, Report No. AERE-R-12133).
 14. GERBOLES, M. & AMANTINI, L. *Validation of measurement by NO_2 passive sampler in comparison with chemiluminescent monitor*. Ispra, Italy, European Commission Joint Research Centre, 1993 (TNI/93/107).
 15. *ISO 6768: 1985. Ambient air – Determination of mass concentration of nitrogen oxides – Modified Griess-Salzman method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1985.
 16. Council directive 85/203/EEC of 27 March 1985 on air quality standards for nitrogen dioxide. *Official journal of the European Communities*, **L297**(27/03): 1–7(1985).
 17. *ISO 7996: 1985. Ambient air – Determination of mass concentration of nitrogen oxides – Chemiluminescence method*. Geneva, International Organization for Standardization, 1985.
 18. BOWER, J.S. Ambient air quality monitoring. In: HESTER, R. & HARRISON, R., ED. *Air quality management*. London, UK Royal Society of Chemistry, 1997, pp. 41–65 (Issues in Environmental Science and Technology, No. 8).
 19. MCGINLAY J. ET AL. *A practical guide to air quality monitoring*. A report produced for EC DGXIII under the EMMA Telematics Programme. Culham, UK, AEA Technology, 1997 (AEA/RAMP/20351/001).

Взвешенные частицы ($ВЧ_{10}$ и $ВЧ_{2,5}$) *Michał Krzyzanowski*

Взвешенные в воздухе частицы представляют собой разнородную смесь органических и неорганических веществ.

Для описания взвешенных частиц используются многочисленные термины ввиду их сложного состава и прямой зависимости уровня экспозиции и воздействующей на человека дозы от размера этих частиц. При этом одна группа терминов непосредственно связана с процессом отбора проб и соответственно определяется этой спецификой и/или аналитическими методами, например, взвешенные вещества, суммарное количество взвешенных веществ и «черный дым». Другая группа терминов больше связана с локализацией осаждения частиц в дыхательных путях, например, вдыхаемые частицы, проникающие в область верхних дыхательных путей (через нос или рот) и респираторные частицы, осаждающиеся в нижних отделах дыхательного тракта. Еще одна группа терминов, как например $ВЧ_{10}$, несет в себе элементы физиологических проявлений и процесса отбора проб. Международной организацией по стандартизации (ISO) и Европейским комитетом по стандартизации (CEN) были разработаны определения частиц различных типов (1–3).

В целях мониторинга, как правило, используются обозначения $ВЧ_{10}$ и $ВЧ_{2,5}$, определения которых приведены в рамке 4.3.

Рамка 4.3. Определение понятий $ВЧ_{10}$ и $ВЧ_{2,5}$

$ВЧ_{10}$

Частицы с аэродинамическим диаметром 10 мкм и менее или, более точно, частицы, которые проходят через селективный импактор, обеспечивающий 50-процентное отсеивание частиц с аэродинамическим диаметром 10 мкм. Верхняя граница распределения примерно соответствует аэродинамическому диаметру 30 мкм, что означает полное отсеивание частиц с диаметром более 30 мкм. $ВЧ_{10}$ в основном составляют респираторную фракцию общих взвешенных частиц, т.е. ту их часть, которая попадает в организм, минуя гортань.

$ВЧ_{2,5}$

Частицы с аэродинамическим диаметром 2,5 мкм и менее или, более точно, частицы, которые проходят через селективный импактор, обеспечивающий 50-процентное отсеивание частиц с аэродинамическим диаметром 2,5 мкм, и верхний предел полного отсеивания равен 7 мкм. $ВЧ_{2,5}$ составляют респираторную часть общих взвешенных частиц, проникающих в нецилиарную область дыхательных путей у лиц из групп высокого риска (дети и взрослые с определенными легочными заболеваниями).

Эффекты на здоровье

Основная доля имеющейся количественной информации о воздействии взвешенных частиц на здоровье была получена в результате исследований, в ходе которых взвешенные в воздухе частицы измерялись как ВЧ₁₀. К настоящему времени накоплен большой объем информации о ВЧ_{2,5}, и самые последние научные данные говорят о том, что по мелким взвешенным частицам (ВЧ_{2,5}) можно точнее, чем по ВЧ₁₀, спрогнозировать возможные эффекты на здоровье. К тому же, имеются свидетельства того, что иногда еще более точные прогнозы в отношении воздействия на здоровье можно составить не столько исходя из факта присутствия ВЧ_{2,5} *per se*, сколько на основании конкретного состава этих частиц, куда, в частности, могут входить сульфаты и избыточная кислотность частиц (определяемая в зависимости от концентрации ионов H⁺).

Большой массив информации об исследованиях, связанных с изучением влияния ежедневно изменяющихся концентраций взвешенных частиц на ежедневно изменяющееся состояние здоровья, позволяет, как правило, получить состоятельные количественные оценки воздействия взвешенных частиц. Накопленная информация не позволяет указать тот уровень концентрации, ниже которого не следует ожидать выявления каких-либо эффектов на здоровье. Было отмечено, что концентрации значительно более низкого уровня, чем 100 мкг/м³, выраженные в виде ежедневной осредненной концентрации ВЧ₁₀, оказывают свое влияние на показатели смертности, статистику поступления больных в стационар по поводу респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также на другие показатели состояния здоровья. Именно по этой причине в пересмотренном варианте критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для стран Европы (Приложение 1.1), не дается рекомендуемый критерий по краткосрочным осредненным концентрациям¹⁴.

О долгосрочном воздействии взвешенных частиц накоплен меньший объем количественной информации. Итоги

¹⁴ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

проведения некоторых исследований служат основанием считать, что долгосрочная экспозиция по взвешенным частицам ассоциируется со снижением продолжительности жизни. Другие исследования, проведенные в последние годы, указывают на то, что уровни распространенности симптомов бронхита у детей и снижение легочной функции как у детей, так и у взрослых, связаны с воздействием взвешенных частиц на здоровье человека. Причем, такие эффекты на здоровье наблюдались при среднегодовых концентрациях взвешенных частиц ниже 20 мкг/м³ (для ВЧ_{2,5}) и/или 30 мкг/м³ (для ВЧ₁₀). Вот почему для долгосрочных осредненных концентраций рекомендуемый критерий не указан. Вместо этого в критериях качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для стран Европы, приводятся таблицы с данными об увеличении риска эффектов на здоровье при определенном приращении краткосрочных (суточных) или долгосрочных (ежегодных) осредненных концентраций ВЧ₁₀ или ВЧ_{2,5}, чтобы лицам, принимающим решения, можно было руководствоваться этими показателями при принятии стандартов по взвешенным частицам⁴³.

Исходя из критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для стран Европы, Европейская комиссия предложила 15 государствам-членам Европейского союза утвердить пределы порогового воздействия (4). Независимо от этого в Соединенных Штатах были приняты свои национальные стандарты по качеству атмосферного воздуха (рамка 4.4).

Источники и характеристики экспозиции

Более крупные взвешенные частицы в составе смеси ВЧ₁₀, т.е. грубая фракция (с аэродинамическим диаметром от 2,5 до 10 мкг), являются результатом механической деструкции твердых частиц еще большего диаметра. Эти частицы могут включать в себя поднятую ветром пыль при агротехнической обработке почвы, пыль с голых участков земли и дорог без дорожного покрытия или от горнодобывающих предприятий.

⁴³ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Рамка 4.4. Отдельные нормативные концентрации взвешенных частиц

Директива Европейского союза по предельным концентрациям ВЧ₁₀, принятая в апреле 1999 г. (4)	
<i>Этап 1. К 1 января 2005 г.⁴⁴</i>	
Суточная (осредненная на 24 часа):	не допускается превышение уровня 50 мкг/м ³ более, чем 35 раз в течение года
Среднегодовая:	40 мкг/м ³
<i>Этап 2. К 1 января 2010 г.</i>	
Суточная (осредненная за 24 часа):	не допускается превышение уровня 50 мкг/м ³ более, чем 7 раз в течение года
Среднегодовая:	20 мкг/м ³
Государственные нормативы качества атмосферного воздуха, действующие в США с июля 1997 г.	
<i>ВЧ₁₀</i>	
Суточная (осредненная за 24 часа):	150 мкг/м ³ (99-й процентиль) из средних в течение 3-х лет
Среднегодовая:	50 мкг/м ³
<i>ВЧ_{2,5}</i>	
Суточная (осредненная за 24 часа):	65 мкг/м ³ (98-й процентиль) из средних в течение 3-х лет
Среднегодовая:	15 мкг/м ³

Автотранспортное движение служит причиной образования дорожной пыли и создания турбулентных воздушных потоков, способствующих повторному увлечению твердых частиц. В районе побережья вследствие испарения брызг морской воды могут образовываться крупные твердые частицы. Помимо этого, к классу частиц большого диаметра также относится пыльцевое зерно, плесневые споры и частички растений и насекомых.

Более мелкие взвешенные частицы, называемые тонкой фракцией, главным образом формируются из газов. Частицы с размером меньше микрона могут образовываться при конденсации металлов или органических веществ, испаряющихся в процессе высокотемпературного горения.

⁴⁴ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Взвешенные частицы, возникающие в результате взаимодействия газов в атмосфере, носят название вторичных взвешенных частиц. Сжигание таких ископаемых видов топлива, как уголь, нефть и бензин, может приводить к образованию крупных взвешенных частиц из несгораемых материалов (летучая зола); мелких частиц вследствие конденсации материалов, испаряющихся при горении; и вторичных взвешенных частиц в результате атмосферных реакций оксидов серы и азота, первоначально поступающих в атмосферный воздух в виде газов.

Основными источниками суммарных антропогенных выбросов первичных $ВЧ_{10}$ являются: автотранспортное движение (10–25%), сжигание топлива на стационарных установках (40–55%) и технологические процессы в промышленности (15–30%). Однако вклад автомобильного движения в уровни приземных концентраций в городах и в экспозицию человека должны быть значительно больше, чем вклад автотранспорта в выбросы (5). В центральной части Нидерландов на территории городов на долю внутреннего автомобильного транспорта приходится примерно 24% загрязнения окружающей среды $ВЧ_{10}$, тогда как в результате дальнего переноса загрязнителей от того же автомобильного транспорта образуется дополнительно 17% загрязнения (6). Другим важным источником поступления $ВЧ_{10}$ (26–34%) также оказался дальний перенос загрязнения от источников, не относящихся к транспортным средствам.

Судя по итогам ряда исследований в Европе, включая Центральноевропейское исследование по проблемам загрязнения атмосферного воздуха и респираторных заболеваний (CESAR) (7), на долю $ВЧ_{2,5}$ в среднем приходится примерно 70% от общей массы $ВЧ_{10}$. Сезонные колебания содержания $ВЧ_{10}$ практически полностью зависели от изменения концентрации $ВЧ_{2,5}$. Кроме того, результаты исследования CESAR свидетельствовали об относительно незначительных пространственных вариациях концентраций $ВЧ_{10}$ между участками местности, на которых находятся существенно разные локальные источники загрязнения и традиционно наблюдаются совершенно различные уровни

концентрации суммарных взвешенных частиц. В рамках исследования PEACE (Воздействие загрязнения на здоровье больных астмой детей в странах Европы) была собрана информация о загрязнении ВЧ₁₀ воздушной среды на территории 14-ти районов в разных странах Европы, указывающая на незначительную разницу между уровнями (фонового) загрязнения городских районов и сельской местности, причем среднее соотношение между концентрациями в городах и в сельской местности составило 1,22 (8).

Методы мониторинга

В документе GEMS/AIR (9) представлен всесторонний обзор методов мониторинга. Для выполнения задачи мониторинга может использоваться оборудование нескольких типов с различными техническими характеристиками и в широком диапазоне цен. Было выдвинуто предложение о том, чтобы любой пробоотборник был эквивалентен⁴⁵ эталону, утвержденному CEN согласно стандарту EN 12341 (3), по которому суммарная погрешность и случайная погрешность определения осредненных за сутки концентраций ниже 100 мкг/м³ должны быть < 10 мкг/м³ и < 5 мкг/м³, соответственно. Вход импактора для отбора проб ВЧ₁₀ должен отвечать требованиям стандарта ISO 7708: 1995 с целью обеспечить точное разделение фракций в точке отбора пробы (1).

На основании данных широкомасштабного сравнительного анализа приборов, проведенного в последнее время, был рекомендован целый ряд серийно выпускаемых пробоотборников, рассчитанных на отбор проб с большим и средним объемом, которые эквивалентны эталонному пробоотборнику аэрозоля с широким диапазоном объема отбираемых проб. Кроме того, при проведении многих эпидемиологических исследований и оценке экспозиции повсеместно использовался гарвардский малообъемный импактор. Его хорошие эксплуатационные качества были продемонстрированы на примере сравнительного исследования, проведенного в соответствии с требованиями

⁴⁵ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

СЕН. К достоинствам гарвардского импактора относится его низкая стоимость, простота в работе и техническом обслуживании и его способность одновременного отбора проб на содержание ВЧ_{10} и $\text{ВЧ}_{2,5}$.

В пробоотборниках предусмотрено осаждение взвешенных частиц на фильтре путем прокачки пробы воздуха в большом объеме (около $100 \text{ м}^3/\text{ч}$) или в малом объеме (около $1 \text{ м}^3/\text{ч}$). Вес частиц аэрозоля, осажденных на фильтре, используется для расчета суточной осредненной концентрации по массе. Специально сконструированные аэродинамические импакторы являются важнейшим условием для надлежащего разделения частиц определенного размера. Правильное обращение с фильтром также играет важную роль при получении достоверных данных. Такие фильтры должны выдерживаться в контролируемых по влажности и температуре условиях внешней среды – обычно при 20°C и относительной влажности 50% – как минимум в течение 24 часов до и после экспозиции. Фильтры подлежат тщательному взвешиванию на соответствующих микровесах, прошедших калибровку по аккредитованному методу.

В работе сетей мониторинга качества атмосферного воздуха также используются автоматические анализаторы взвешенных частиц. Функционирование таких приборов основано на следующих принципах действия:

- осцилляционные микровесы с конусообразным элементом
- бета-лучевые абсорбционные анализаторы
- системы рассеяния света.

Из всех вышперечисленных приборов осцилляционные микровесы с конусообразным элементом и бета-лучевые системы используются на практике уже в течение многих лет и доказали свою пригодность для работы в полевых условиях. Прибор, работающий по принципу рассеяния света, был разработан лишь в последние годы, в связи с чем еще недостаточно апробирован в реальных условиях. Опыт эксплуатации таких приборов, а также сравнительный анализ результатов измерений, полученных на одних и тех же

участках территории, указывают на то, что замеры, сделанные с помощью автоматических анализаторов, не всегда эквивалентны измерениям, выполненным эталонными пробоотборниками.

Стратегия мониторинга и оценки

Информация, на основе которой проводится анализ воздействия на здоровье, включает в себя осредненные суточные концентрации $ВЧ_{10}$ или $ВЧ_{2,5}$. Согласно пересмотренному варианту критериев качества атмосферного воздуха для стран Европы, риск возникновения многочисленных эффектов на здоровье линейно повышается при суточных уровнях загрязнения в диапазоне наиболее распространенных концентраций взвешенных частиц. Поэтому сеть мониторинга должна обеспечивать полный набор суточных данных, на основании которых можно проанализировать воздействие межсуточных колебаний уровня загрязнения на здоровье и провести расчет среднегодовой концентрации.

Конкретные примеры проведения отдельных исследований по оценке экспозиции, описание которых приводится на с. 144–147, показывает, что мониторингом должны быть охвачены не только городские районы, поскольку повышенные уровни $ВЧ_{10}$ или $ВЧ_{2,5}$ могут также наблюдаться на удаленных от источников загрязнения участках.

Пространственное распределение концентраций $ВЧ_{10}$ в пределах городской черты может быть достаточно равномерным, на что указывают результаты анализа ежедневных данных мониторинга в районе Бирмингема и Бристоля (Соединенное Королевство). Этот анализ подтверждает равномерность распределения ежегодных средних уровней концентрации, зарегистрированных в других городах с фоновым загрязнением на всей территории Соединенного Королевства (10), а также итогам исследования CESAR (7). При такой ситуации единственная станция мониторинга может оказаться репрезентативной для пунктов наблюдения определенного типа на территории заданного городского района. Однако, как показано на примере

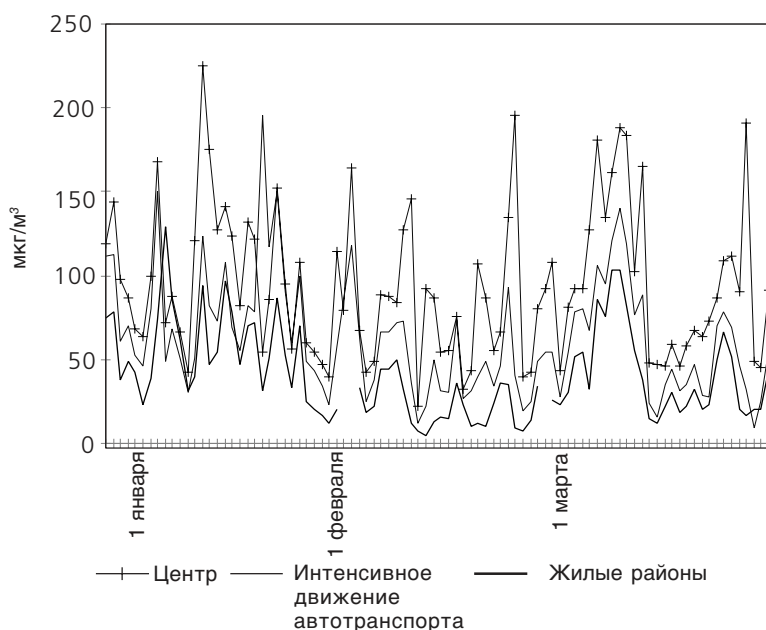
мониторинга $ВЧ_{10}$ в Праге, сложный рельеф местности может существенным образом повлиять на распределение концентраций загрязнения. Следовательно, для определения минимального количества приборов и их распределения на территории требуется предварительный анализ характеристик изменения уровней загрязнения.

Конкретный пример

В 1995 г. в Чешской Республике стали осуществлять наблюдение за $ВЧ_{10}$. В целях мониторинга используются бета-лучевые приборы с импактором для отбора $ВЧ_{10}$. Суточные осредненные концентрации $ВЧ_{10}$, которые были зарегистрированы в трех разных районах Праги в период с 1 января по 31 марта 1997 г., показаны на рис. 4.3.

Помимо заметных временных вариаций концентраций $ВЧ_{10}$ результаты мониторинга также демонстрируют значительную разницу между уровнями загрязнения в разных

Рисунок 4.3. Суточные осредненные концентрации $ВЧ_{10}$, наблюдавшиеся в Праге (Чешская Республика) с 1 января по 31 марта 1997 г.



районах Праги. Средняя расчетная концентрация $ВЧ_{10}$ за указанный период времени составила 94 мкг/м^3 в центре города, 63 мкг/м^3 на посту наблюдения рядом с проезжей частью улицы недалеко от основной дороги за пределами его центральной части и 41 мкг/м^3 в районе жилого массива далеко от центра. Корреляция между ежесуточными результатами измерений была невысокой (коэффициент корреляции между центром и жилым массивом составил 0,56 и между постами вблизи автодороги и в жилом массиве – 0,68). Такие пространственные различия в уровнях загрязнения можно объяснить за счет сложного рельефа в городе с долинами и холмами и крупной рекой, протекающей через его территорию и создающей хорошо продуваемый канал.

Библиография

1. ISO 7708: 1995. *Air quality – Particle size fraction definitions for health-related sampling*. Geneva, International Organization for Standardization, 1995.
2. EN 481. *Workplace atmospheres – Size fraction definitions for measurement of airborne particles*. Brussels, European Committee for Standardization, 1991.
3. EN 12341. *Air quality – Determination of the PM_{10} fraction of suspended particulate matter – Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods*. Brussels, European Committee for Standardization, 1995.
4. Council directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official journal of the European Communities*, L163(29/06): 41–60 (1999).
5. JOL, A. & KIELLAND, G., ED. *Air pollution in Europe 1997. Executive summary* (<http://www.eea.eu.int/Document/Monogr/air97/default.htm>). Copenhagen, European Environment Agency, 1997 (EEA Environmental Monograph, No. 4) (accessed 12 August 1999).
6. JANSSEN, L.H.J.M. ET AL. *Estimates of the distribution of different fractions of PM_{10} in the ambient atmosphere of the Netherlands*. Bilthoven, the Netherlands, National Institute of Public Health and the Environment, 1997.

7. *CESAR – central European study on air pollution and respiratory health. Study results.* Bilthoven, National Institute of Public Health and Environment, 1997.
8. HOEK, G. ET AL. Wintertime PM₁₀ and black smoke concentrations across Europe: results from the PEACE study. *Atmospheric environment*, **31**: 3609–3622 (1997).
9. *Measurement of suspended particulate matter in ambient air.* Geneva, World Health Organization, 1994 (GEMS/AIR Methodology Review Handbook Series, Vol. 3, document WHO/EOS/94.3).
10. UK QUALITY OF URBAN AIR REVIEW GROUP. *Airborne particulate matter in the United Kingdom: third report.* Birmingham, School of Chemistry, Institute of Public and Environmental Health, University of Birmingham, May 1996.

Бензол

Anne Lindskog

Эффекты на здоровье

Бензол обладает низкой острой токсичностью, однако повторяющееся воздействие его очень высоких концентраций может иметь серьезные последствия для крови и кроветворных органов человека. Пока остается неясным, влияет ли бензол на состояние иммунной или репродуктивной систем. Тем не менее известно, что бензол оказывает канцерогенное воздействие на организм человека. Наиболее убедительная связь установлена между экспозицией по бензолу и развитием острого нелимфоцитарного лейкоза. В этом случае какую-либо концентрацию нельзя считать безопасной, и оценка риска должна основываться на пожизненной экспозиции. В критериях качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы, по бензолу не приводится конкретного порогового значения. Вместо этого даются геометрические средние для диапазона оценки дополнительного риска в течение всей жизни по лейкозу при концентрации в атмосферном воздухе на каждый 1мкг/м³, который составляет 6 на 100 000. Концентрации бензола в

составе воздушных примесей, ассоциируемые с дополнительным риском в течение всей жизни по развитию заболевания в 1 случае из 10 000, в 1 из 100 000 и в 1 из 1 000 000, составляют 17, 1,7 и 0,17 мкг/м³ соответственно.

Источники воздействия и характеристики экспозиции

Бензол в основном поступает в атмосферный воздух в составе продуктов горения или в результате испарения бензолсодержащего топлива у поверхности земли. Единственным другим источником выбросов, имеющим региональное значение, является сжигание древесины в небольших печах (1). К прочим источникам загрязнения относится дым от сигарет и предприятия нефтехимии.

Бензол проникает в организм человека преимущественно через дыхательные пути, а курение является одной из основных причин персональной экспозиции. Кроме того, высокая краткосрочная экспозиция может наблюдаться при заправке автомобилей или же в связи с маятниковой миграцией (2).

Долгосрочные осредненные концентрации в жилых районах (фоновые уровни в городах и пригородах) представляют интерес при определении экспозиции на человека для оценки риска. Наряду с этим иногда возникает необходимость в измерениях с более высоким разрешением по времени для понимания первопричин, а также для отслеживания и оценки влияния промышленных источников загрязнения.

Методы измерения

Для этого существует целый ряд методов. В настоящее время Рабочая группа Европейского центра по стандартизации (CEN) ведет разработку стандарта для определения концентраций бензола в атмосферном воздухе. Необходимый предел обнаружения может быть принят намного ниже 1 мкг/м³, что будет зависеть от того, какая величина будет принята в качестве приемлемого уровня риска.

В данном случае возможны два разных подхода: отбор пробы на посту наблюдения с ее последующим анализом в

центральной лаборатории и отбор и анализ пробы на посту наблюдения (использование автоматических пробоотборников).

Отбор проб на посту наблюдения может проводиться с помощью пассивных и активных пробоотборников или в канистры и путем точечных или линейных измерений.

Пассивный метод отбора проб. При пассивном методе отбора проб используются трубки для забора проб, содержащие такие адсорбенты, как Тенакс, Хромосорб или графитизированная сажа (3,4). Отбор проб бензола происходит по принципу диффузии (согласно первому закону Фика), причем движущей силой в данном случае является градиент концентрации, образующийся между атмосферным воздухом и адсорбентом. Период отбора проб составляет 1–4 недели. Оптимальный период отбора проб должен определяться самым тщательным образом. Он будет зависеть от концентрации бензола в воздухе, а также от необходимости минимизации потерь анализируемого вещества во взятой пробе из-за температурной десорбции до начала проведения анализа. В лаборатории извлечение бензола из взятой пробы воздуха осуществляется при помощи растворителя или температурной десорбции, после чего проводится анализ посредством газовой хроматографии высокого разрешения и пламенно-ионизационного детектора. Метод температурной десорбции является более предпочтительным, так как позволяет исключить использование токсичного растворителя, повысить чувствительность анализа и создать условия для применения автоматического инжектора. Пределы обнаружения (чувствительность) загрязнителя колеблются в диапазоне примерно от 0,5 мкг/м³ до 0,3 мкг/м³. Метод с использованием трубок, содержащих Тенакс ТА, и автоматического прибора, работающего по принципу температурной десорбции, прошел аккредитацию в Швеции (5,6). Одного аналитического прибора вполне достаточно для анализа проб, отобранных на нескольких постах наблюдения. В настоящее время для улучшения временной разрешающей способности проводятся полевые испытания радиальных диффузионных трубок (7) в сочетании с методом температурной десорбции.

Пассивные пробоотборники представляют собой единственный метод, который позволяет осуществлять измерения в непрерывном режиме, благодаря чему они вполне отвечают требованиям мониторинга для сопоставления с долгосрочными предельными величинами. Помимо бензола такие пробоотборники также используются в качестве части стандартной процедуры при оценке загрязненности другими ароматическими углеводородами.

Активный метод отбора проб. В активных пробоотборниках используется насос и такие же адсорбирующие трубки, как и в случае диффузионного метода взятия проб. Десорбция и последующий анализ пробы осуществляются таким же образом, как описано выше. Разрешающая способность по времени возможна в диапазоне от 30 минут до 24 часов. Предел обнаружения колеблется от 0,14 до 0,4 мкг/м³. Этот метод является надежным, а при использовании автоматических приборов (8) – и экономически эффективным. Одного аналитического прибора вполне достаточно для обеспечения функционирования нескольких постов наблюдения. На требования, предъявляемые к сорбционным трубкам и связанным с ними методам и тестирования, распространяется единый стандарт CEN (9). В Германии приняты соответствующие стандарты в отношении поглотительных трубок с последующим анализом как путем экстракции загрязнителя с помощью растворителя, так и температурной десорбцией (10,11).

Отбор проб посредством канистры может осуществляться двумя путями – либо с помощью засасывания в вакуумную емкость, либо посредством накачки. Анализ проводится методом хроматографии с помощью пламенно-ионизационного детектора (12). Предел обнаружения равен 0,3 мкг/м³. Такой метод является дорогостоящим и требует немало времени, что обуславливает его применение лишь для отбора проб по принципу случайной выборки. Этим объясняется ограниченная репрезентативность получаемых результатов, которая добавляется к суммарной неопределенности.

Автоматический отбор проб предполагает использование двух методов измерений – точечного и линейного. Точечные

измерения основаны на методе газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором в режиме «он-лайн» и выполняются с помощью либо относительно простых БТК-датчиков, обеспечивающих измерение концентраций бензола, толуола, этилбензола и ксилолов, либо с применением более сложных приборов, позволяющих измерять содержание углеводородов C_2-C_{10} . Забор атмосферного воздуха осуществляется через уловитель, температура которого поддерживается в пределах $40^{\circ}C$ или же на уровне температуры, которая ниже температуры окружающей среды, например, до минус $190^{\circ}C$, в зависимости от того, какие атмосферные примеси подлежат измерению. После взятия пробы поступившие в уловитель соединения нагнетаются в газовый хроматограф путем термальной десорбции или напрямую (в случае датчика БТК), или через вторичный контур в виде криогенной ловушки. Предел обнаружения варьируется в диапазоне $0,1-0,03$ мкг/м³. Такие системы характеризуются разрешением по времени от 30 до 60 минут. Однако, данный метод является полунепрерывным, обеспечивая, к примеру, забор проб в течение 20 минут из каждых 30 или 60 минут.

Результаты измерений, полученные посредством газовой хроматографии в режиме «он-лайн», могут сразу передаваться в центральную лабораторию, что позволяет получать данные также в режиме «он-лайн».

Использование датчиков БТК сопряжено с относительно высокими затратами. Для этого требуется достаточно обустроенная станция мониторинга с системой кондиционирования воздуха и газоснабжением, причем каждый аналитический прибор обслуживает только один пункт наблюдений. В Германии разработан отдельный стандарт (13) минимальных требований и тестирования для одноциклических анализаторов (= БТК-анализаторов). Датчики, позволяющие определять концентрации целой группы углеводородов C_2-C_{10} , оказываются еще более дорогостоящими, и для их технического обслуживания и ремонта требуется квалифицированный персонал. В некоторых случаях также необходимы поставки жидкого азота. Регистратор такого

типа находит свое применение в работе сети станций мониторинга углеводородов на территории Соединенного Королевства, а также на отдельных постах с фоновым уровнем загрязнения.

Дифференциальная оптико-абсорбционная спектроскопия представляет собой методику измерения с открытой оптической трассой, позволяющую получать линейные измерения по целому ряду газов, включая бензол (14), на основании дифференциальной абсорбции ультрафиолетового излучения и видимой части спектра. В зависимости от конкретной оптической длины пути при временной разрешающей способности в 1 мин предел обнаружения соответствует примерно 3–5 мкг/м³. Данный метод позволяет получать измерения вдоль типичной оптической трассы длиной - 500 м. Вместе с тем, по-прежнему остаются нерешенными такие проблемы, как измерение концентрации при плохой видимости (например, при тумане), при смещении нулевой точки, при неопределенности, обусловленной наличием аналогичных спектров, а также при калибровке с помощью пробных материалов (например, калибровочных газов).

Стратегия мониторинга и оценки

Ввиду того, что бензол является первичным загрязнителем, его концентрация обычно резко снижается по мере увеличения расстояния от источника загрязнения. Для оценки риска здоровью требуются долгосрочные осредненные концентрации, а стратегия отбора проб должна обеспечивать реальную характеристику пространственно-временного распределения загрязнения. Предпочтение в данном случае отдается диффузионным пробоотборникам, если получаемые при этом измерения отвечают требованиям по систематической и случайной погрешности. Результаты измерений, полученные на удачно расположенном посту наблюдения с фоновым уровнем загрязнения в условиях города, могут оказаться репрезентативными в отношении достаточно большой части города и таким образом отражать осредненную экспозицию значительной численности населения. Важно, чтобы такой пост наблюдения не находился под непосредственным влиянием автотранспортного движения или других источников

поступления бензола. Желательно, чтобы эти посты наблюдения находились в пределах жилых массивов и/или на открытых площадках в центре города или же рядом с пешеходными улицами на высоте 3–5 м от поверхности земли. Кроме того, городской пост наблюдения на территории с фоновым уровнем загрязнения позволяет отслеживать соответствующие тренды и результаты различных мероприятий по снижению концентраций загрязнения атмосферного воздуха, подлежащих оценке.

К постам наблюдения в зоне очагов загрязнения относятся посты, расположенные у дорог (у края тротуара) и на территории промышленных зон. Концентрации загрязнителей у дорог (у края тротуара) имеют большое значение для определения экспозиции участников маятниковой миграции. Как и в предыдущем случае, такие посты наблюдения должны обеспечивать репрезентативность данных осредненной экспозиции в тех местах, где население проводит значительную часть своего времени.

Поскольку бензол является относительно устойчивым соединением, которое может переноситься на большое расстояние, национальная сеть станций мониторинга также должна включать в себя посты наблюдения в сельских районах с фоновым уровнем загрязнения.

Конкретный пример

В Дании было проведено исследование экспозиции детского населения по бензолу, толуолу и ксилолу (16). С помощью диффузионных пробоотборников определялась как персональная экспозиция, так и концентрации загрязнителей у входа в жилые дома. В Копенгагене концентрации бензола у входа в жилые дома были значительно выше, чем в сельских районах, при его медианных уровнях 8,9 мкг/м³ и 1,9 мкг/м³ соответственно, однако превышение персональной экспозиции оказалось незначительным и составило 5,4 мкг/м³ против 4,5 мкг/м³.

Библиография

1. JANHÄLL, S. & ANDERSSON-SKÖLD, Y. *Emission inventory of NMHC and simulations of ozone formation due to emissions of NO_x and*

- NMHC in Sweden*. Stockholm, Swedish Environmental Research Institute, 1997 (Report No. IVL B-1193).
2. CHAN, C.-C. ET AL. Commuter exposures to VOCs in Boston, Massachusetts. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **41**: 1594–1600 (1991).
 3. DE SAEGER, E. ET AL. *Air quality measurements in Brussels (1993–1994) – NO₂ and BTX monitoring campaigns by diffusive samplers*. Ispra, Italy, Environment Institute, European Commission Joint Research Centre, 1995 (EUR Report 16310 EN).
 4. WRIGHT, M.D. ET AL. Diffusive sampling of VOCs as an aid to monitoring urban air. *Environmental monitoring and assessment*, **52**: 57–64 (1998).
 5. MOWRER, J. ET AL. Diffusive monitoring of C₆–C₉ hydrocarbons in urban air in Sweden. *The analyst*, **121**: 1259–1262 (1996).
 6. SVANBERG, P.-A. ET AL. The Swedish urban air quality network – a cost-efficient long-term programme. *Atmospheric environment*, **32**:1419–1425 (1998).
 7. COCHEO, V. ET AL. High uptake rate radial diffusion sampler suitable for both solvent and thermal desorption. *American Industrial Hygiene Association journal*, **57**: 897–904 (1996).
 8. WOOLFENDEN, E.A. ET AL. Alternative on-line and sorbent tube-based sampling procedures for 24-hr air pollution profiling. *International laboratory*, (September): 29–36 (1993).
 9. EN 1076. *Workplace atmospheres. Pumped sorbent tubes for the determination of gases and vapours. Requirements and test methods*. Brussels, European Committee for Standardization, 1997.
 10. VDI 3482-4. *Measurement of gaseous immissions; gas chromatographic determination of organic compounds using capillary columns; sampling by enrichment on activated carbon; desorption with solvent*. Berlin, Beuth Verlag, 1984.
 11. VDI 3482-1. *Gaseous air pollution measurement: gaschromatographic determination of organic compounds: fundamentals*. Berlin, Beuth Verlag, 1986.
 12. FARMER, T.C. ET AL. Continuous hourly analysis of C₂–C₁₀ non-methane hydrocarbon compounds in urban air by GC-FID. *Environmental science and technology*, **28**: 238–245 (1994).
 13. DIN 33963-1. *Measurement of organic compounds in ambient air. Part I. Requirements and testing instructions for automated single cycle measuring instruments for organic compounds in air*. Berlin, Beuth Verlag, 1997.

14. BROCCO, D. ET AL. Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome. *Atmospheric environment*, **31**: 557–566 (1997).
15. RAASCHOU-NIELSEN, O. ET AL. Ambient air levels and the exposure of children to benzene, toluene and xylenes in Denmark 1997. *Environmental research*, **75**: 149–159 (1997).

Полициклические ароматические углеводороды

Eva Brorström-Lundén

В состав полициклических (или многоядерных) ароматических углеводородов (ПАУ) входят сотни сложных химических соединений, включая в том числе такие производные ПАУ, как ПАУ с группой NO₂ (нитро-ПАУ), кислородосодержащие продукты, а также гетероциклические ароматические соединения. ПАУ характеризуются широким диапазоном упругости пара и являются полуволетучими, что обеспечивает их перенос в атмосфере как в газообразной фазе, так и в виде конденсата на частицах. Распределение соединений между газообразной фазой и частицам зависят от многочисленных факторов, таких как упругость паровой фазы соединения, температура окружающего воздуха и концентрация частиц в атмосферном воздухе.

Эффекты на здоровье

Биологические свойства большинства ПАУ по-прежнему неизвестны. Вместе с тем, накопленные данные, полученные, главным образом, посредством исследований на животных, указывают на то, что отдельные ПАУ могут обуславливать некоторые вредные эффекты, в частности, иммунотоксичность, генотоксичность, канцерогенность, репродуктивную токсичность (оказывающую негативное воздействие на потомство как мужского, так и женского рода). Кроме того, ПАУ могут оказывать свое влияние на развитие атеросклероза. Однако, решающим обстоятельством в плане учета при оценке риска для здоровья служит документально

подтвержденная канцерогенность некоторых ПАУ. Бенз[α]пирен (БаП) является наиболее изучаемым ПАУ, и основной объем информации о токсичности и распространенности ПАУ ассоциируется со свойствами данного соединения.

Со стороны ВОЗ по концентрации ПАУ в атмосферном воздухе каких-либо конкретных гигиенических критериев предложено не было. Несмотря на это БаП используется в качестве индикатора канцерогенных свойств воздушных примесей ПАУ. Судя по имеющимся эпидемиологическим данным обследования рабочих коксохимического производства, риск возникновения в течение жизни рака органов дыхания, если в качестве индикатора руководствоваться концентрацией БаП в воздухе, соответствует $8,7 \times 10^{-5}$ на 1 нг/м^3 (1). Соответствующие концентрации БаП, связанные с дополнительным риском возникновения рака в течение всей жизни, в 1 случае на 10 000, в 1 случае на 100 000 и в 1 случае на 1 000 000 населения равняются 1,2; 0,12 и 0,012 нг/м^3 соответственно.

Источники загрязнения и характеристики экспозиции

Присутствие ПАУ в атмосферном воздухе представляет собой обычное явление. Такие соединения образуются при неполном сгорании органических веществ, и важнейшими источниками поступления ПАУ является транспорт и выработка электрической и тепловой энергии.

В атмосфере большинство ПАУ характеризуется устойчивостью, имеет место значительный их перенос на большие расстояния. Регистрируемые в настоящее время ежегодные средние концентрации БаП в крупных урбанизированных зонах варьируются в диапазоне 1–10 нг/м^3 . В сельских районах такие концентрации ниже 1 нг/м^3 . В пределах территорий с фоновым уровнем загрязнения атмосферные концентрации ПАУ характеризуются сезонными колебаниями, причем их повышенные концентрации отмечаются не летом, а зимой. На западном побережье Швеции повышение концентраций ПАУ имеет место вследствие их дальнего переноса, однако бывают и такие случаи, когда рост концентраций обусловлен

локальными источниками загрязнения, в частности при сжигании древесины (2).

Повышенное содержание ПАУ в атмосферном воздухе города связано с выхлопными газами автомобилей, а основным источником поступления ПАУ в зоне улиц являются выбросы от автомобильного транспорта. В Швеции в период с 1984 по 1987 гг. проводились научные исследования, нацеленные на углубленное изучение механизма загрязнения атмосферного воздуха в городах (3). Было установлено, что средние концентрации ПАУ в пределах улиц с интенсивным автомобильным движением оказались на 50% выше, чем на улицах с редким движением транспорта. Отмечались сезонные колебания концентраций таких соединений, максимальные величины которых приходились на зимнее время. Вместе с тем, измерение концентраций ПАУ ограничивалось исключительно определением их содержания в частицах. В атмосферном воздухе города наблюдался суточный ход концентраций ПАУ, пиковые значения которых регистрировались утром и после полудня в часы пик, а их минимальные концентрации – в ночное время (4).

В последние годы благодаря внедрению каталитических нейтрализаторов выхлопных газов легковых автомобилей, работающих на бензине, а также очищенного дизельного топлива удалось значительно снизить объем выбросов ПАУ от автомобильного транспорта. Однако материалы о результатах долгосрочного мониторинга концентраций ПАУ в атмосферном воздухе города в литературных источниках разных стран встречаются редко.

Кроме того, имеются и внутренние источники ПАУ, как например, табачный дым или домашнее отопление без вентиляции. Такие источники могут давать немаловажный вклад в экспозицию человека по ПАУ в воздухе.

Методы мониторинга

Методы отбора проб. Ввиду низких концентраций ПАУ в атмосферном воздухе следует обеспечивать забор большого объема воздуха, что связано с отбором проб в течение

длительного периода времени или же наличием пробоотборника с высокой скоростью отбора проб. Для отбора проб ПАУ наиболее широко распространенным прибором является большеобъемный пробоотборник, снабженный не только фильтром, на котором осаждаются взвешенные в воздухе частицы, но и твердым адсорбентом для улавливания веществ в парообразной фазе. Скорость потока воздуха, пропускаемого через большеобъемный воздушный пробоотборник, составляет 20–25 м³/час, и для забора проб ПАУ из окружающего воздуха с фоновым уровнем загрязнения, как правило, требуется объем 1000–2000 м³. Ранее оборудование такого типа было рекомендовано для проведения измерений в рамках ЕМЕР (Программы сотрудничества по мониторингу и оценке переноса на большие расстояния загрязняющих веществ над европейской территорией (с 12 августа 1999 г. открыт доступ по адресу: <http://projects.dnmi.no/~emep/index.html>)).

Для улавливания ПАУ в виде частиц нередко используются стекловолоконные фильтры. К прочим наиболее типичным фильтрующим материалам относятся кварцевые волокна и фильтры с тефлоновым покрытием. Наиболее распространенными адсорбентами для забора проб ПАУ в газообразной фазе являются вспененный полиуретан и ионообменная смола Амберлит® XAD®-2. К другим возможным адсорбентам можно отнести Тенакс ТА (пористую полимеризационную ионообменную смолу на основе 2,6-дифенилен оксид) или Тенакс GR (Тенакс ТА плюс 30% графит) и С₁₈.

При взятии проб в аэрозольной форме возможным источником погрешности может оказаться переход определенной части ПАУ сконденсированного на частицах в парообразную форму, поглощаемую адсорбентом (явление сдува). С другой стороны, находящиеся в газообразной фазе органические соединения могут адсорбироваться на поверхности фильтра. Как следствие такого явления, распределение соединений ПАУ между адсорбентом и фильтром будет отличаться от истинного распределения между их газообразной фазой и фазой в виде частиц. К

факторам, способным повлиять на распределение ПАУ, можно отнести продолжительность забора проб, температуру окружающего воздуха и упругость парообразной фазы этих соединений. Поэтому, чем короче период отбора проб, тем меньше риск получения ложных данных.

Источником возникновения погрешностей также могут служить химические реакции, происходящие в процессе отбора проб ПАУ. При отборе проб удерживаемые в пробоотборнике ПАУ в течение относительно длительного времени находятся под воздействием таких реактивных газов, как NO_2 и O_3 . Если выбор того или иного фильтрующего материала, по всей вероятности, не влияет на формирование химических артефактов, то в отношении адсорбентов обратное утверждение может оказаться справедливым. Явная молекулярная деградация ПАУ наблюдалась при использовании Амберлита XAD-2, тогда как при адсорбции ПАУ вспененным полиуретаном их состав, скорее всего, оставался неизменным.

Несмотря на то, что по сравнению со вспененным полиуретаном Амберлит XAD-2 обладает большей эффективностью при улавливании более летучих органических соединений, его использование в качестве адсорбента для забора проб воздуха на содержание ПАУ не рекомендуется, если в них присутствуют даже незначительные концентрации NO_2 . В целях устранения химических артефактов вспененный полиуретан предпочтительнее несмотря на то, что не исключается риск проскока.

В последнее время прошли испытания малообъемных воздушных пробоотборников. Преимущество пробоотборника такого типа, наряду с достижением возможной высокой разрешающей способности по времени, заключается в высоком качестве отбора проб. Тем не менее, в связи с малыми объемами отбираемых проб значительно возрастают требования к аналитическим методам. В целях анализа ПАУ при определении концентраций ПАУ в аэрозолях, состоящих из фракций различного размера, для улавливания частиц

аэрозолей могут использоваться фильтры от импакторов. Импактор – устройство для принудительного фракционного улавливания частиц аэрозолей на фильтрах с целью последующего определения их количества и размера.

Анализ отобранных проб. В состав проб атмосферного воздуха входят самые различные химические соединения и многочисленные классы органических веществ, которые требуют проведения процедур предварительной обработки, обеспечивающих селективность, а также использования селективных и достаточно чувствительных аналитических методов определения ПАУ. Эффективность проводимых анализов находится в зависимости от двух последующих этапов, а именно от экстракции и от используемых аналитических методов.

До начала проведения анализа осажденные на фильтрах и адсорбентах ПАУ извлекаются с помощью растворителя. Поскольку ПАУ и другие соединения со структурой, напоминающей «подстилающий слой» в частицах сажи, могут плотно прилегать к частичкам аэрозоля, требуется достаточно эффективный процесс экстракции. Наиболее распространенным методом в данном случае является экстракция “Soxhlet” с помощью органического растворителя. Процесс предварительной обработки ПАУ, как правило, заключается во фракционировании на колонках различного типа путем экстрагирования жидкости жидкостью, а также при помощи кварца. Для коррекции всевозможных потерь во время различных процедур предварительной обработки при анализе экстрагированных проб следует руководствоваться внутренними стандартами. При ведении аналитической работы с лабораторными и с полевыми холостыми пробами должны быть выполнены все необходимые процедуры.

Используемые в связи с ПАУ аналитические методы включают в себя газовую хроматографию – масс-спектрометрию (ГХ-МС) и высокоэффективную жидкостную хроматографию высокого разрешения (ВЭЖХ). ВЭЖХ с люминесцентным детектором представляет собой полезный метод для анализа ПАУ. Такой анализ проводится на колонках

с обратной фазой C_{18} , которые были специально разработаны для определения концентраций ПАУ. В отношении большинства ПАУ люминесцентный детектор позволяет получить их нижний предел обнаружения. Далее люминесцентный анализ селективен по ПАУ, поскольку последние характеризуются сопряженными двойными ненасыщенными связями, активно поглощающими свет в ультрафиолетовом диапазоне. С другой стороны, благодаря применению газовой хроматографии с капиллярной колонкой обеспечивается высокая разрешающая способность в плане дифференциации ПАУ, а использование масс-спектро스코пии в качестве детектора позволяет снизить риск мешающих аналитических факторов.

Анализу подлежат ПАУ, наиболее часто встречающиеся в атмосферном воздухе и отличающиеся между собой по таким параметрам, как летучесть и реактивность. В такой перечень следует включать ПАУ с известными биологическими эффектами. К тому же, конкретный выбор соединений из группы ПАУ зависит от имеющихся аналитических методов. ПАУ, концентрации которых определяются с помощью ГХ и ВЭЖХ, представлены в табл. 4.5. В принципе, ВЭЖХ является вполне приемлемым методом для измерения популяционной экспозиции по ПАУ, а ГХ-МС больше всего подходит для оценки источников загрязнения.

Анализ отобранных проб ПАУ сопряжен со значительными расходами и представляет собой сложный процесс. Поэтому для обеспечения качества данных требуются тщательно разработанный протокол по отбору и анализу проб, а также установленные процедуры обеспечения и контроля качества и межлабораторной гармонизации.

Стратегия мониторинга и оценки

Посты для отбора проб должны быть расположены в пределах городских территорий с фоновым загрязнением атмосферного воздуха с тем, чтобы можно было определять репрезентативные осредненные уровни экспозиции по ПАУ. Кроме того, концентрации ПАУ также необходимо

Таблица 4.5. Рекомендуемые методы анализа отдельных ПАУ из приоритетного перечня Агентства США по охране окружающей среды

ПАУ	Рекомендуется ГХ	Рекомендуется ЖХВР
Нафталин	x	
Бифенил	x	
Аценафтилен	x	
Ацентафтин	x	
Флуорен	x	
Фенантрен	x	x
Антрацен	x	x
Флуорантен	x	x
Пирен	x	x
Бензо[а]антрацен	x	x
Хризен	x	x
Бензо[<i>b</i>]флуорантен	x	x
Бензо[<i>k</i>]флуорантен	x	x
Бензо[<i>e</i>]пирен	x	
Бензо[<i>a</i>]пирен	x	x
Перилен	x	
Индено[<i>cd</i>]пирен	x	x
Дибензо[<i>ah</i>]антрацен	x	
Бензо[<i>ghi</i>]перилен	x	x

определять на постах в районах повышенного содержания последних, например, у дорог с интенсивным автомобильным движением и в зоне промышленных предприятий. Следует проводить сравнительные оценки концентраций ПАУ, содержащихся в атмосферном воздухе городов, с уровнями их содержания на территориях с фоновым загрязнением.

Периодичность забора проб ПАУ на сети мониторинга нередко ограничена большими временными и финансовыми затратами, связанными с их анализом. При определении долгосрочных (среднегодовых) концентраций ПАУ, которые наиболее подходят для оценки их воздействия на здоровье, вполне достаточным может оказаться еженедельный дискретный отбор проб. Тем не менее, временное разрешение менее чем 24 часа предпочтительнее для оценки вклада источников загрязнения, контроля за ситуацией на

транспортных развязках и валидации проверки моделей. Ввиду сложности определения концентраций ПАУ другие индикаторные загрязнители, поступающие с выбросами от тех же источников загрязнения, что и ПАУ, и связанные с меньшими расходами при их определении, например, СО и сажа, могут оказаться более приемлемыми для организации оценки качества атмосферного воздуха. Важным условием для изучения трендов является наличие долгосрочной программы мониторинга.

Конкретный пример

В Соединенном Королевстве контроль за концентрациями ПАУ осуществляется в рамках Мониторинга токсичных органических микрозагрязнителей (по адресу: <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/networks/tomps.html> открыт доступ с 12 августа 1999 г.). В 1991 и 1992 гг. соответствующие измерения проводились на четырех городских постах, расположенных на высоте кровли домов (25 м) в центральной части крупных городов (5). При этом отбор проб ПАУ как в газообразной фазе, так и в виде частиц обеспечивался с использованием воздушного пробоотборника, снабженного поглотителем из вспененного полиуретана и стекловолоконным фильтром. Забор проб проводился еженедельно; насос включался каждый час на 30 минут, обеспечив в конечном итоге прокачку около 500 м³ воздуха. Результаты измерений подтвердили сезонные колебания как самих концентраций загрязнителей, так и изменение соотношения их газовой фазы и фазы в виде частиц, причем большая доля газообразных фаз ПАУ приходилась на летнее время.

Библиография

1. LINDSTEDT, G. & SOLLENBERG, J. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the occupational environment, with special reference to benzo[a]pyrene measurements in Swedish industry. *Scandinavian journal of work, environment & health*, **8**: 1–19 (1982).
2. AGURELL, E. ET AL. *Chemical and biological characterization of urban particles*. Stockholm, Swedish Environmental Protection Agency, 1990 (SNV Report 3841).

3. BRORSTRÖM-LUNDÉN, E. Atmospheric transport and deposition of persistent organic compounds to the sea surface. *Journal of sea research*, **35**: 81–90 (1996).
4. NIELSEN, T. Traffic contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the centre of a large city. *Atmospheric environment*, **30**: 3481–3490 (1996).
5. HALSALL, C.J. ET AL. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air. *Environmental science and technology*, **28**: 2380–2386 (1994).

Свинец

Bohumil Kotlik

Эффекты на здоровье

Токсичность свинца (Pb) проявляется в процессе взаимодействия с различными ферментами, в связи с чем в отношении свинца практически все органы можно считать органами-мишенями. В эксперименте удалось получить доказательные данные, свидетельствующие о широком диапазоне биологического воздействия свинца, включая его влияние на кроветворные процессы, нервную систему, почки, репродуктивные органы, сердечно-сосудистую систему, иммунную систему, печень, эндокринную систему и желудочно-кишечный тракт.

Концентрация свинца в крови является надежным биомаркером при оценке экспозиции человека по свинцу. Наиболее восприимчивыми группами населения оказываются дети раннего возраста, особенно их нервная система. Судя по нейроповеденческому индексу, эффекты в центральной нервной системе в этой группе населения проявляются при концентрациях свинца в крови ниже 200 мкг/л. В ходе глобальных исследований познавательной функции, таких как психометрическое тестирование для оценки коэффициента умственного развития (IQ), отчетливое воздействие свинца было отмечено при его концентрациях в крови в диапазоне 100–150 мкг/л. Негативное влияние этого загрязнителя, по данным отдельных эпидемиологических исследований,

обнаруживалось при его концентрациях в крови ниже 100 мкг/л. С учетом приведенной информации и на основании результатов имитационного моделирования соотношения между концентрацией свинца в крови и его долгосрочного осредненного содержания в окружающем воздухе пересмотренный вариант критериев ВОЗ по качеству атмосферного воздуха для Европы, рекомендует, что среднегодовая концентрация свинца в атмосферном воздухе не должна превышать 0,5 мкг/м³.

Источники загрязнения и характеристики экспозиции

Концентрация свинца в атмосферном воздухе характеризуется территориальными различиями и сезонными колебаниями, которые зависят от преобладающих источников загрязнения и их пространственного распределения, а также от погодных условий и параметров рассеивания. Свинец присутствует в воздушной среде вне помещений в форме мелких частиц, распределение которых по размеру характеризуется средним аэродинамическим диаметром менее 1 мкм. Количество свинца в составе органических соединений (в результате неполного сгорания тетраэтил- и метилсвинца) не превышает 10%. Несмотря на то, что вследствие мокрого и сухого осаждения происходит удаление свинца из атмосферного воздуха, главным образом вблизи источников загрязнения, мельчайшие частицы данного загрязнителя в виде аэрозоля все же переносятся на большие расстояния.

Основным источником поступления свинца является добыча свинцовых руд и их переработка. К прочим источникам можно отнести промышленное производство (свинец присутствует в качестве побочного компонента во многих минералах и осадочных породах) и сжигание каменного угля (в быту и на станциях производства тепловой и электрической энергии). Важнейшими передвижными источниками поступления свинца в атмосферный воздух в странах, где используется этилированный бензин, являются автотранспортные средства. Из-за близости данного источника загрязнения к районам компактного проживания

населения и его широкого распространения дорожно-транспортное движение оказывается основным источником экспозиции по свинцу.

Помимо экспозиции, обусловленной поступлением свинца в атмосферный воздух от точечных источников (промышленности) и передвижных источников (автомобилей), а также в результате дальнего переноса воздушных загрязнителей, осаждение свинца на поверхность почвы может усиливать суммарную экспозицию, воздействуя на организм через пищу или путем непосредственного контакта, особенно у детей. Еще одним важным источником экспозиции по свинцу являются краски, содержащие свинец, или питьевая вода, поступающая по освинцованным трубам.

Методы мониторинга

Поскольку свинец присутствует в атмосферном воздухе в виде мельчайших частиц, принципы отбора проб этого загрязнителя соответствуют методам измерения взвешенных частиц, о которых говорилось выше. Период отбора проб изменяется в пределах от 24-х часов до нескольких дней.

Содержание свинца в атмосферном воздухе, как правило, определяется с помощью элементного анализа или посредством неразрушающих методов анализа отобранных проб взвешенных частиц. В зависимости от анализируемой фракции, аэродинамический диаметр которой задается насадкой пробоотборника, обеспечивающей поступление в систему соответствующих частиц (общих взвешенных частиц, $ВЧ_{10}$ или $ВЧ_{2,5}$), используются следующие системы отбора проб:

- системы, основанные на аспирации пробы через мембранный фильтр (из ацетилнитроцеллюлозы с размером пор 0,8 мкм), как правило, при скорости прокачки 20 м³ за 24 часа;
- автоматические анализаторы с использованием методов бета-лучевой абсорбции и фильтрующей ленты или гравиметрического метода (осцилляционных микровесов с конусообразным элементом) при взятии проб через обводной контур и скорости прокачки пробы 1–3 м³/час;

- специальные большеобъемные системы, обеспечивающие забор проб при скорости прокачки свыше 1 м³/мин;
- специальные методы взятия проб с использованием персональных пробоотборников или пробоотборников-дозиметров микросреды для взвешенных частиц; и
- взятие проб осевших частиц для интерпретации данных в терминах концентрации свинца в окружающем воздухе, что сопряжено с трудностями.

Взятые пробы подлежат предварительной обработке, которая включает в себя такие процессы, как промывку, микроволновое разложение и химические процедуры, нацеленные на расщепление кислот под воздействием температуры или оснвного расплава.

Для анализа содержания свинца служат следующие методы:

- неразрушающие методы анализа: рентгенофлюорисценция или рентгеновское излучение, индуцированное испусканием частиц; или
- процедуры элементного анализа: атомно-абсорбционная спектрометрия; эмиссионная спектроскопия с использованием индуктивно связанной плазмы (ИСП) или масс-спектрометрия с использованием индуктивно связанной плазмы (ИСП-МС), дифференциально-импульсная полярография с использованием анодной вольтметрии, спектрофотометрия ультрафиолетового излучения видимой части спектра и другие методы.

Наряду с нормированием оперативной деятельности и регламентированием надлежащей лабораторной практики в протоколе обеспечения и контроля качества должен определяться порядок проведения межлабораторного профессионального тестирования. В повседневной практике следует использовать серийно выпускаемые, национальные или внутрилабораторные эталонные материалы с такими концентрациями свинца, которые приближаются к уровням его содержания в окружающей среде. Результаты следует периодически сопоставлять с данными, получаемыми

посредством метода с известной точностью или с помощью одного из таких независимых методов, как атомно-абсорбционная спектрометрия с рентгенофлюорисценцией или рентгеновское излучение, индуцированное испусканием частиц.

Стратегия мониторинга и оценки

Долгосрочное воздействие свинца ассоциируется с определенными эффектами на здоровье, тогда как пространственная изменчивость концентрации свинца находится в зависимости от долгосрочного распределения преобладающих источников загрязнения. Для выявления таких пространственных характеристик наряду с активными системами отбора проб, осуществляющих забор воздуха с помощью насоса, должны также использоваться пассивные пробоотборники, как например, измерители оседающих частиц, в целях обеспечения полного охвата обследуемых контингентов населения. Инвентаризация газообразных загрязняющих веществ и моделирование являются важной частью системы мониторинга качества атмосферного воздуха, поскольку они полезны для оценки потенциальной экспозиции к повышенным концентрациям свинца.

Помимо мониторинга, задачей которого является оценка и контроль за воздействием точечных (промышленных) источников загрязнения на экспозицию населения, измерение концентраций свинца в атмосферном воздухе приобретает особую актуальность после запрета использования этилированного бензина. Эффективность такого подхода станет очевидной в том случае, когда в атмосферном воздухе городов будет подтверждено падение концентраций свинца. При этом следует ожидать, что снижение содержания свинца в окружающем воздухе должно происходить быстрее, чем уменьшение суммарной экспозиции населения, так как помимо поступления свинца через органы дыхания и его дальнейшего присутствия в почве в виде осажденных частиц существуют иные возможные пути воздействия данного загрязнителя.

Концентрация свинца в крови представляет собой вполне надежный биомаркер суммарной экспозиции по свинцу за

предшествующий период (ориентировочно за полгода). Это можно непосредственно использовать при проведении оценки риска для здоровья. Однако, для определения экспозиции, связанной с доминирующим источником загрязнения, необходимо проводить мониторинг не только содержания свинца в атмосферном воздухе, но и его концентрации в других средах (в почве, пыли внутри помещений, питьевой воде и продуктах питания). Благодаря мониторингу атмосферного воздуха также может служить индикатором вклада воздушного переноса свинца в осаждении на почву и (поверхностные) воды, а также суммарный риск косвенной экспозиции.

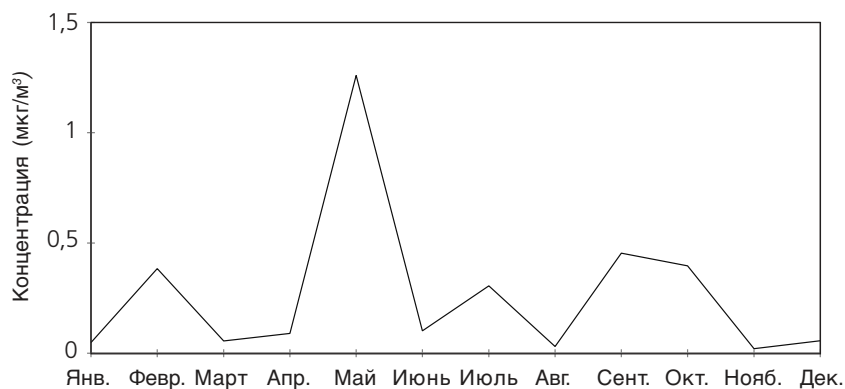
Конкретный пример

Было установлено, что территория вокруг предприятия по выплавке свинца в г. Пршибрам (Чешская Республика) сильно загрязнена свинцом. В начале 70-х годов в этом районе было зарегистрировано несколько случаев отравления свинцом домашнего скота; впоследствии для уточнения экспозиции детей была предпринята серия эпидемиологических и экологических обследований. В отличие от ранее проведенных обследований, результаты анализа ситуации за период с 1992 по 1994 гг. показали, что экспозиция по свинцу оказалась значительно ниже (1). С 1986 по 1990 гг. средние концентрации свинца в крови были на уровне примерно 37,2 мкг свинца на 100 мл у учащихся начальной школы, проживающих в пределах трехкилометровой зоны вокруг плавильного завода. Однако, по данным обследования за 1992–1994 гг. (1) у сопоставимой группы детей средние концентрации свинца в крови соответствовали 11,3 мкг/100 мл (при 95% доверительном интервале от 9,3 до 13,8). На примере этого обследования была предпринята попытка получить количественную оценку факторов риска, связанных с повышенным уровнем экспозиции по свинцу у населения Чешской Республики. К факторам, положительно связанным ($P < 0,05$) с концентрациями свинца в крови, были отнесены следующие: концентрация свинца в почве и частицах аэрозоля, удаленность жилых массивов от территории плавильного завода, потребление выращенных в данной местности овощей и фруктов, использование питьевой воды из местных

колодцев, уровень образования матери, табакокурение среди членов семьи и количество детей в семье. Установленные концентрации свинца в крови были обратно пропорциональны возрасту ребенка. В суточных пробах, отобранных в 1993 г., концентрация свинца в воздухе находилась в диапазоне от 0,14 до 0,72 мкг/м³.

Результаты мониторинга по данным за 1996 г. (ежемесячные средние концентрации) показаны на рис. 4.4. Резкие колебания средних величин за месяц указывают на целесообразность организации долгосрочного мониторинга для определения средней концентрации свинца в долгосрочной перспективе, что связано с проведением оценки воздействия на здоровье.

Рисунок 4.4. Ежемесячная средняя концентрация свинца в атмосферном воздухе в г. Пршибрам (Чешская Республика), 1996 г.^a



^a Средняя величина за год = 0,30 мкг/м³.

Библиография

1. СIKRT, M. ET AL. Biological monitoring of child lead exposure in the Czech Republic. *Environmental health perspectives*, **105**: 406–411 (1997).

Атмосферный кадмий

Laszlo Bozó

Эффекты на здоровье

Кадмий (Cd) может обуславливать изменения функции почек самыми различными путями, поступая в организм человека через органы дыхания или с загрязненной пищей. Тем не менее, концентрации его долгосрочной экспозиции, при которых могут проявляться такие последствия, превышают уровень содержания кадмия в атмосферном воздухе большинства городов или промышленных районов примерно в 50 раз. Вместе с тем, имеются доказательные данные, подтверждающие влияние вдыхаемого с воздухом кадмия на развитие рака легкого у человека и животных, в связи с чем по решению Международного агентства по изучению рака кадмий был отнесен к 1-му классу канцерогенов человека несмотря на то, что не существует оценок единичного канцерогенного риска, полученных на основании имеющихся данных. В целях предупреждения дальнейшего повышения содержания кадмия в почве сельскохозяйственных угодий, которое может привести к росту поступления кадмия с пищей в организм будущих поколений людей, ВОЗ приняла (пересмотренный) критерий по качеству атмосферного воздуха, равный 5 нг/м^3 (ежегодное среднее).

Источники воздействия и характеристики экспозиции

Выбросы кадмия в атмосферу в виде паров или мелкодисперсных частиц связаны с высокотемпературными технологическими процессами, к примеру, в цветной металлургии, и сжиганием ископаемых видов топлива, причем данный загрязнитель обычно довольно быстро рассеивается и смешивается с воздухом в нижних слоях атмосферы. Через несколько минут или часов происходит конденсация газообразных выбросов или их связывание на поверхности мелких частиц размером от 0,1 до 10 мкм. Фракции такого размера являются слишком тонкими для эффективного гравитационного оседания и слишком крупными для сухого осаждения в процессе диффузии. Поэтому они могут переноситься на сотни и более километров от их источников

прежде, чем произойдет их постепенное удаление из атмосферы путем сухого или мокрого осаждения. Именно по этой причине загрязнение среды кадмием представляет собой региональную проблему, масштабы которой не ограничиваются непосредственной близостью к основным источникам таких выбросов.

Самые высокие среднегодовые концентрации (более 3 нг/м^3) регистрируются в Польше, Украине, в северной части Италии и на севере Западной Европы. На остальной территории Европейского континента, в сельских районах, наиболее типичные концентрации варьируются в пределах $0,05\text{--}2,00 \text{ нг/м}^3$ (1).

Методы мониторинга

Для отбора проб аэрозольных частиц рекомендуется использовать насосы различной производительности, а также фильтры разных типов (Whatman 41, Teflon или Nuclepore). Чтобы обеспечить необходимый для анализа предел обнаружения, производительность насоса должна подбираться в зависимости от средней концентрации кадмия в окружающем воздухе, в частности для районов, находящихся на большом расстоянии от крупных источников загрязнения, требуются крупнообъемные пробоотборники (при скорости потока до $1000 \text{ м}^3/\text{сутки}$). На станциях мониторинга, расположенных в городах, сельской местности или на участках, прилегающих к промышленным зонам, вполне приемлема скорость отбора пробы, составляющая $20\text{--}30 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Тип необходимого фильтра будет зависеть от аналитических методов, применяемых в лаборатории.

Промывка отобранной пробы с помощью какого-либо растворителя приводит к ее разрушению, в результате чего такой анализ невозможно провести повторно. Это означает, что такой принцип анализа является приемлемым лишь для тех групп веществ, которые растворимы только в определенном растворителе. Из такого положения можно найти выход, если воспользоваться неразрушающими методами химического анализа, позволяющими независимо от растворимости химических соединений одновременно

определять несколько элементов. Микроволновое разложение или такие химические процессы, как расщепление кислот под воздействием температуры или основного расплава, также могут использоваться для обработки отобранных проб.

Нижеприведенные процессы обычно используются для определения состава всего комплекса аэрозолей в отобранных пробах, однако они также пригодны и для анализа состава определенных частиц.

Принцип рентгенофлюоресценции заключается в том, что под воздействием рентгеновского излучения от содержащихся в пробах веществ начинает исходить характеристическое рентгеновское излучение, т.е. каждый химический элемент испускает рентгеновские лучи с определенными длинами волн. Интенсивность такого излучения прямо пропорциональна количеству химического элемента, осажденного на поверхности фильтра. Следовательно, можно проводить анализ тех химических элементов, атомный вес которых больше атомного веса калия. Данная система может быть автоматизирована, если на посту взятия проб использовать непрерывный ленточный фильтр.

Процесс активации нейтронами требует применения высокообъемных пробоотборников. Пробы в виде аэрозоля подвергаются воздействию нейтронов, и таким образом регистрируется излучение, исходящее от радиоактивных элементов.

Атомно-абсорбционная спектрометрия с использованием печи с графитовым стержнем является простым и относительно дешевым методом, принцип действия которого основывается на способности различных химических элементов поглощать световое излучение с разной длиной волны.

Эмиссионная спектроскопия с использованием индуктивно связанной плазмы представляет собой дорогостоящий, но чрезвычайно эффективный метод параллельного

определения ряда химических элементов за период проведения одного анализа.

К электрохимическим методам относятся полярографические методы или анодная вольтметрия с использованием кадмий-избирательных электродов.

Стратегия мониторинга и оценки

Поскольку частицы кадмия пребывают в атмосфере в течение нескольких дней, они могут переноситься на сотни километров от источников выбросов. Это означает, что относительный вклад атмосферного переноса на большие расстояния на содержание кадмия в атмосфере значителен при условии, если пост наблюдения находится на значительном расстоянии от основных источников выбросов кадмия. Поэтому даже в городских районах его концентрации не сильно отличаются между собой. Однако, временные (суточные и сезонные) колебания могут оказаться существенными ввиду различных погодных условий, включая скорость ветра, интенсивность выпадения осадков, высота слоя перемешивания и степень устойчивости температурной стратификации.

Из-за высокой пространственной изменчивости концентрации кадмия вблизи крупных источников загрязнения рекомендуется создавать сеть аэрозольных пробоотборников с периодом забора проб менее 24-х часов.

Концентрации кадмия не находятся в прямой зависимости от источников загрязнения, связанных с движением автотранспорта, из-за чего их пространственные колебания в городах могут быть несущественными. В зависимости от размера территории города функционирование одного или двух постов наблюдения представляется достаточным для получения необходимой информации, имеющей отношение к охране здоровья населения.

При низкой концентрации кадмия в атмосфере для сельских районов с фоновым уровнем загрязнения могут понадобиться высокообъемные пробоотборники.

Продолжительность периодов отбора проб атмосферного воздуха в городах и местах с фоновым уровнем загрязнения определяется чисто практическими соображениями: хотя необходимо измерять среднегодовую концентрацию, наиболее общепризнанной стратегией является – в соответствии с требованиями мониторинга взвешенных частиц – отбор суточных проб.

Конкретный пример

Максимальные концентрации кадмия отмечаются вблизи промышленных источников выбросов кадмия. Основная цель стратегии мониторинга в таких районах заключается в наиболее точном определении степени воздействия на качество атмосферного воздуха и экспозицию человека источников загрязнения среды кадмием. Ввиду изменчивости погодных условий временная изменчивость концентрации кадмия в атмосферном воздухе весьма существенна; это можно отследить путем отбора проб с высоким разрешением по времени.

В городских районах концентрации кадмия и их пространственные вариации относительно невелики, хотя под воздействием кадмия, содержащегося в окружающем воздухе, оказывается многочисленное население. Поскольку долгосрочная экспозиция непосредственно связана с эффектами на здоровье, стратегия мониторинга должна быть направлена на проведение долгосрочных наблюдений на отобранных для этого постах, оснащенных надежными и непрерывно контролируруемыми аналитическими методами.

Национальная служба мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в Соединенном Королевстве представляет собой конкретный пример долгосрочного наблюдения за концентрациями микропримесей металлов⁴⁶ в атмосферном воздухе. В центральной части Лондона среднегодовые концентрации кадмия повысились с 2,8 нг/м³ в 1984–1985 гг. до 16,0 нг/м³ в 1988–1989 гг. В дальнейшем в 1992–1993 гг. содержание кадмия снизилось до 0,4 нг/м³. По

⁴⁶ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

данным другого обследования, проведенного в Соединенном Королевстве, было установлено, что за период 1986–1989 гг. средние концентрации кадмия составляют 2,0 нг/м³ в городах и 0,8 нг/м³ в сельских районах вне зон влияния местных источников. По сравнению с предшествующим 10-летним периодом эти показатели уменьшились более чем на 60% (2).

Библиография

1. PEKAR, M. ET AL. *Modelling of Pb and Cd transport and deposition from European sources during 1990–95. A comparison of calculation results with measurements of the PARCOM and EMEP network stations*. Oslo, Meteorological Synthesizing Centre – East (MSC-E), Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP), 1997 (EMEP MSC-E Report 5/97).
2. LEE, D.S. ET AL. Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of the United Kingdom. *Atmospheric environment*, **28**: 2691–2713 (1994).

5

Отчетность и оценка

Dietrich Schwela и Michal Krzyzanowski

Полезность самого по себе окончательного варианта набора выверенных данных о качестве атмосферного воздуха весьма ограничена. Для того, чтобы такие данные нашли свое применение при оценке воздействия факторов среды на здоровье человека, нужно провести их сравнительное изучение, проанализировать, истолковать и распространить. Эта глава посвящена вопросам отчетности, оценки и представлению данных о качестве атмосферного воздуха, которые используются при анализе последствий для здоровья.

Отчетность

При минимальном уровне анализа данных обеспечивается выпуск ежегодных и ежемесячных кратких информационных сводок. При этом могут использоваться простые методы статистического и графического анализа данных.

Распространение выверенных данных о качестве атмосферного воздуха представляет собой первый этап в оценке воздействия на здоровье, предполагающий наличие сведений о риске возникновения эффектов на здоровье и предоставление исходной информации в распоряжение лиц, принимающих решения. Примерами такого простого представления являются рис. 4.1 или 4.2 в главе 4. Для передачи данных используются такие методы их

распространения, как отчеты и доклады в письменной форме, информация на флоппи-дисках, катриджах или компакт-дисках CD-ROM, через широкополосную сеть или по линии прямых каналов передачи данных. В рамках гармонизированной системы обмена данными, например, общенациональной информационной сети, массивы передаваемых данных могут включать в себя выверенные ежегодные наборы данных, резюме по обработанным данным и статистики средних или аналитические результаты, диаграммы и карты, полученные с помощью географических информационных систем. Возможные методы распространения данных приведены на с. 92–97.

Отдельные формы отчетности регламентируются национальным (или международным) законодательством в форме стандартов, директив или соглашений. В перечисленных документах определяется тематика, формат и периодичность отчетности. Нередко отчетности подлежат любые превышения установленного законодательством стандарта или концентрации порогового воздействия. Отчетные данные о соблюдении установленных нормативов, предоставляемые сетью мониторинга, имеют ограниченное значение для оценки экспозиции населения и последствий для здоровья. Отдельные эффекты на здоровье могут проявляться при концентрациях ниже уровня стандарта, но такие концентрации не войдут в отчетную информацию. Кроме того, месторасположение датчиков загрязнения, относящихся к сети слежения за соблюдением установленных нормативов, может оказаться не оптимальным с точки зрения оценки экспозиции населения, а предоставляемые отчетные данные могут исказить истинную картину экспозиции.

В настоящее время силами Европейского агентства по окружающей среде ведется разработка Европейской информационной системы по качеству атмосферного воздуха (EUROAIRNET). Данная система призвана обеспечить сбор и распространение репрезентативной информации о качестве атмосферного воздуха, включая сведения о менее загрязненных территориях, а также о химических соединениях, которые не обязательно попадают под действие директив Европейского

союза. Намечается расширение этой системы таким образом, чтобы она, помимо 15 стран-участниц Европейского союза, обеспечивала охват всех европейских государств. Информация, собираемая посредством такой системы, доступна через базу данных AIRBASE, о которой говорится на с. 92–97 (С 12 августа 1999 г. открыт доступ по адресу: <http://www.etcaq.rivm.nl>).

В 1995 г. на Консультативном совещании ВОЗ (1) были предложены формат представления отчетных данных о качестве атмосферного воздуха, которые можно непосредственно использовать при проведении оценки последствий для здоровья. Некоторые разделы из отчета о состоявшемся совещании, включая формат передачи данных, приводятся в Приложении 5. Следуя рекомендациям Консультативного совещания, Европейский центр ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья подготовил простую компьютерную программу для ввода и анализа данных об экспозиции, которая доступна по запросу: AIRQ. Наряду с возможностью оценки и представления в графическом виде данных о воздействии на здоровье отдельных контингентов населения эта система обеспечивает обмен данными и облегчает анализ воздействия конкретных загрязнителей на здоровье на территориальном, национальном или межнациональном уровне.

Оценка

Одна из задач мониторинга качества атмосферного воздуха состоит в получении оценок таких статистических параметров, как средние за год арифметические или геометрические величины, медианы и процентиля для каждого пункта наблюдений, а также в сопоставлении полученных данных со стандартами или критериями качества атмосферного воздуха. К дополнительным возможностям по углубленной обработке и анализу данных можно отнести плотность распределения, гистограммы и (интегральные) кривые распределения. При оценке воздействия факторов среды на здоровье человека информация о качестве атмосферного воздуха должна быть соотнесена с той группой населения, для которой определяется экспозиция.

Для оценки долгосрочных эффектов на здоровье достаточно располагать сведениями о долгосрочных (годовых) средних концентрациях загрязнения. При анализе краткосрочного воздействия на здоровье требуется представление отчетных данных на более регулярной основе, порой ежедневно или ежечасно, а наличие для этого соответствующих данных зависит от задач, выполняемых сетью мониторинга. Предпочтительным методом краткого изложения данных, касающихся отдельно взятой группы населения, является частотное распределение средних величин, рассчитанное для периода осреднения, для которого рассматриваются эффекты на здоровье. Например, частотное распределение осредненных суточных концентраций $ВЧ_{10}$, наблюдаемых в течение года, позволяет рассчитать рост числа случаев острых заболеваний (в частности, острой симптоматики со стороны органов дыхания или частоты поступления в стационар) в выбранной группе населения в момент или спустя несколько дней после воздействия на него определенных концентраций $ВЧ_{10}$ (1).

Конкретный пример агрегированных данных в форме такой плотности распределения приводится на с. 35–39.

Если мониторинг качества атмосферного воздуха осуществляется на нескольких постах на территории отдельного населенного пункта, то экспозиция населения может быть наилучшим способом аппроксимирована на основании данных наблюдения на этих постах. При наличии соответствующих данных полученную оценку экспозиции можно уточнить посредством расчета взвешенного среднего, причем весовые коэффициенты определяются плотностью населения в окрестностях каждого поста, а также долей времени, в течение которого люди находятся поблизости от каждого из этих постов. По частотному распределению полученных таким образом расчетных средних величин можно составить распределение экспозиции населения, на основании которого представляется возможным проанализировать обусловленные экспозицией острые эффекты на здоровье. Такое распределение позволяет кратко обобщить данные о концентрации загрязнителей и

представить их как информацию о частоте периодов (например, количество дней), когда наблюдались концентрации в определенном диапазоне, и о численности населения, оказавшегося под воздействием определенной степени загрязнения в течение определенных периодов времени (текст в рамке 5.1).

Анализ данных, собранных сетью мониторинга качества атмосферного воздуха, также позволяет получить важную исходную информацию для пересмотра и модернизации действующей системы. Накопленная информация свидетельствует о том, насколько целесообразно сокращение пространственной плотности сети, или же о том, насколько изменившийся состав загрязнения требует пересмотра перечня наблюдаемых примесей.

Форматы представления информации

Для того, чтобы собранные данные находили практическое применение, последние должны быть представлены соответствующим образом. Лишь узкая группа специалистов, занимающихся мониторингом качества атмосферного воздуха или модельными оценками, способна воспользоваться необработанными данными, а не лица, принимающие решения, или широкая публика. Интерпретация пространственно-временной изменчивости загрязнения во многом облегчается, если обычные цифровые данные представить в виде графиков или рисунков.

Наиболее простой метод представления данных заключается в табличном представлении обобщенных статистик, рассчитанных по концентрациям, которые были получены различными станциями мониторинга за отчетный период. Соответствующие статистики включают в себя:

- арифметическое и геометрическое среднее;
- минимальные и максимальные концентрации (с указанием времени осреднения, которое связано с оценкой воздействия на здоровье);
- частоту превышения (установленного) уровня стандарта;

Рамка 5.1. Конкретный пример расчета распределения экспозиции населения по озону в 15 странах-участницах Европейского союза

Согласно директиве Европейского совета⁴⁷ 92/72/ЕЕС (2), страны-участницы Европейского союза обязаны информировать Европейский союз об осредненной 8-часовой средней концентрации озона, превышающей 110 мкг/м³. Для проведения этого анализа использовались данные за март-октябрь 1995 г. Имелось в виду, что концентрация озона, определяемая каждым из 400 пунктов мониторинга, является репрезентативной в пространственном отношении для зоны радиусом 10 км. Для расчета численности населения, проживающего в таких зонах вокруг каждого пункта наблюдений, использовались данные о плотности населения в Европе и методы географической информационной системы.

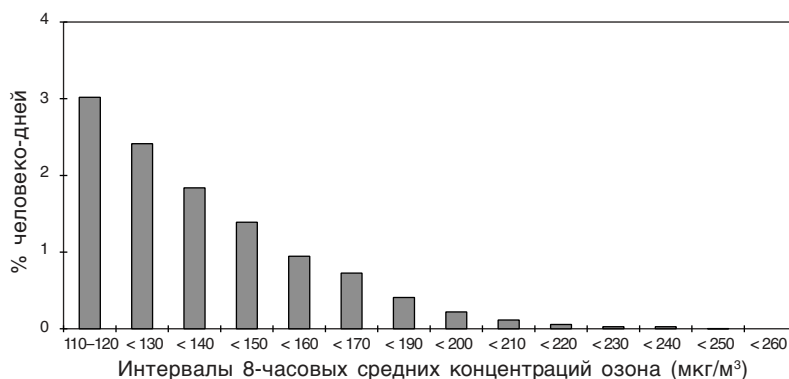
Примерно 11,7% общей численности населения стран Европейского союза проживает в обозначенных зонах; при этом конкретный процент населения варьируется в пределах от 0,3% во Франции до 35,4% в Германии. Зафиксированные данные мониторинга озона были использованы при расчете частотного распределения концентрации озона (превышающей пороговое значение 110 мкг/м³). Для каждого интервала концентрации загрязнителя для каждой станции мониторинга был проведен расчет числа человеко-дней путем умножения количества дней, относящихся к определенному интервалу концентрации, на численность населения, проживающего в зоне вокруг поста наблюдения. Полученные таким образом человеко-дни, просуммированные применительно к конкретному интервалу концентрации для всего населения, проживающего в указанных зонах, представляют собой частотное распределение человеко-дней в отдельно взятой стране или во всех 15 странах (рис. 5.1). За летний период 1995 г. во всех 15 странах превышение предела порогового воздействия в 110 мкг/м³ и значения 160 мкг/м³ было зарегистрировано в 11,2% и 1,6% человеко-дней соответственно.

Такое частотное распределение служит основанием для анализа воздействия на здоровье в соответствии с методиками, которые представлены на с. 35–39. В рамках проведенного анализа к категории критического показателя воздействия на здоровье была отнесена неотложная госпитализация по поводу респираторных заболеваний для которой повышение риска в 1,043 раза соответствует каждому приросту осредненной 8-часовой концентрации O₃ на 50 мкг/м³. Как показали расчеты по всем 15 странам, около 700 срочных госпитализаций в течение лета 1995 г. оценены как связанные с последствиями упомянутой экспозиции.

Одним из ограничений предпринятого анализа является тот факт, что регистрировались лишь те величины, которые превышали предел порогового воздействия в 110 мкг/м³, тогда как повышенный риск госпитализации существует даже при более низких уровнях концентрации.

⁴⁷ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Рисунок 5.1. Распределение человеко-дней в зависимости от концентраций озона в 15 странах-участницах Европейского союза за период с марта по октябрь 1998 г.



- отдельные процентиля (например, 95-й или 98-й процентиля); и
- статистику полноты набора данных, например, число (или процент) дней, когда (фактически) проводились суточные замеры для случая 24-часового периода времени осреднения, связанного со здоровьем.

В таблицы может быть включено частотное распределения результатов измерений или средние величины, рассчитанные по данным нескольких станций, которые функционируют на территории населенного пункта. На одном из консультативных совещаний ВОЗ (1) был рекомендован один из таких форматов для представления данных и обмена ими; описание такого формата дается в Приложении 5, а иллюстрирующий его пример – в рамке 5.1.

Табличное представление данных нелегко поддается интерпретации, однако подходящим образом составленные таблицы позволяют изложить численные данные для их последующего анализа. Исходная табличная информация,

преобразованная в виде графиков, интерпретируется гораздо легче, но получение дальнейших выводов или комбинирование данных затруднительны и менее точны.

Наиболее распространены следующие графики:

- серии измерений во времени или их краткосрочные средние величины, полученные на одном пункте наблюдений (по одному или нескольким загрязнителям) или сравнение результатов измерений для разных пунктов наблюдений;
- гистограммы или линейные диаграммы, отражающие долгосрочные (ежегодные) средние значения за более длительный период;
- накопленное распределение краткосрочных средних значений за более длительный период;
- распределение человеко-дней по интервалам концентрации;
- круговые диаграммы для распределения вклада источников; и
- розы ветров.

Использование географических карт значительно облегчает процесс представления более сложных сравнительных характеристик загрязнения. (Средние) концентрации загрязнения для разных пунктов наблюдений можно продемонстрировать простым способом, допустим, в виде растровых точек разного цвета или размера, нанесенных на карту города, страны или континента (3–5). Результаты моделирования также могут быть основаны на интерполировании данных мониторинга с использованием принципов построения географической информационной системы (ГИС-технологий) (6–8). Расчетные данные моделирования переноса загрязнений, как правило, иллюстрируются на картах с переменной координатной сеткой. Результаты, полученные с помощью моделей дальнего переноса в масштабах целого континента на крупной сетке координат (150 × 150 км), не вполне соответствуют задаче получения оценки воздействия на здоровье, однако более частные, местные модели могут оказаться достаточно точными в плане получения ценной

информации. Нанесенные на карту данные о качестве атмосферного воздуха в сочетании с параметрами плотности населения на различных географических территориях могут найти свое применение при расчете взвешенных по численности населения показателей экспозиции и служить важным дополнительным источником данных при оценке эффектов на здоровье.

На рис. 5.2 продемонстрирован конкретный пример использования карт для представления данных о качестве атмосферного воздуха, полученных через обширную сеть станций мониторинга в Германии (9). Нанесенные на карты данные основываются на результатах измерений, поступивших по линии сети мониторинга качества атмосферного воздуха из 16-ти федеральных земель (*Länder*) и Федерального агентства Германии по окружающей среде. Ежегодные осредненные концентрации SO_2 были получены посредством интерполяции (с нерегулярной сетки точек на регулярную – прим. ред. перев.) при помощи модели, позволяющей рассчитать средневзвешенную концентрацию для каждой координатной ячейки размером $2,5 \times 2,5$ км сетки координат, наложенной на всю территорию Германии. В основу весовых оценок положена функция близости (влияния) и расстояние от ячейки координатной сетки до поста наблюдения⁴⁸. В этом случае не приняты во внимание данные станций мониторинга, расположенных на крайних по уровню загрязнения участках, например, в зоне очагов загрязнения, связанных с влиянием автотранспортного движения, или на вершине горы.

Примечательной чертой такой формы представления данных является возможность демонстрации изменений в концентрации загрязнения как в пространстве, так и во времени. Комбинированное использование таких карт наряду с картой распределения плотности населения позволяет получить аналогичную картину потенциального распределения экспозиции населения.

⁴⁸ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

На рис. 5.3 представлен пример отображения качества атмосферного воздуха применительно к более мелкому масштабу (25×25 км). Здесь приведены модельные расчеты концентрации NO_2 на территории Большого Хельсинки по состоянию на 1993 г.

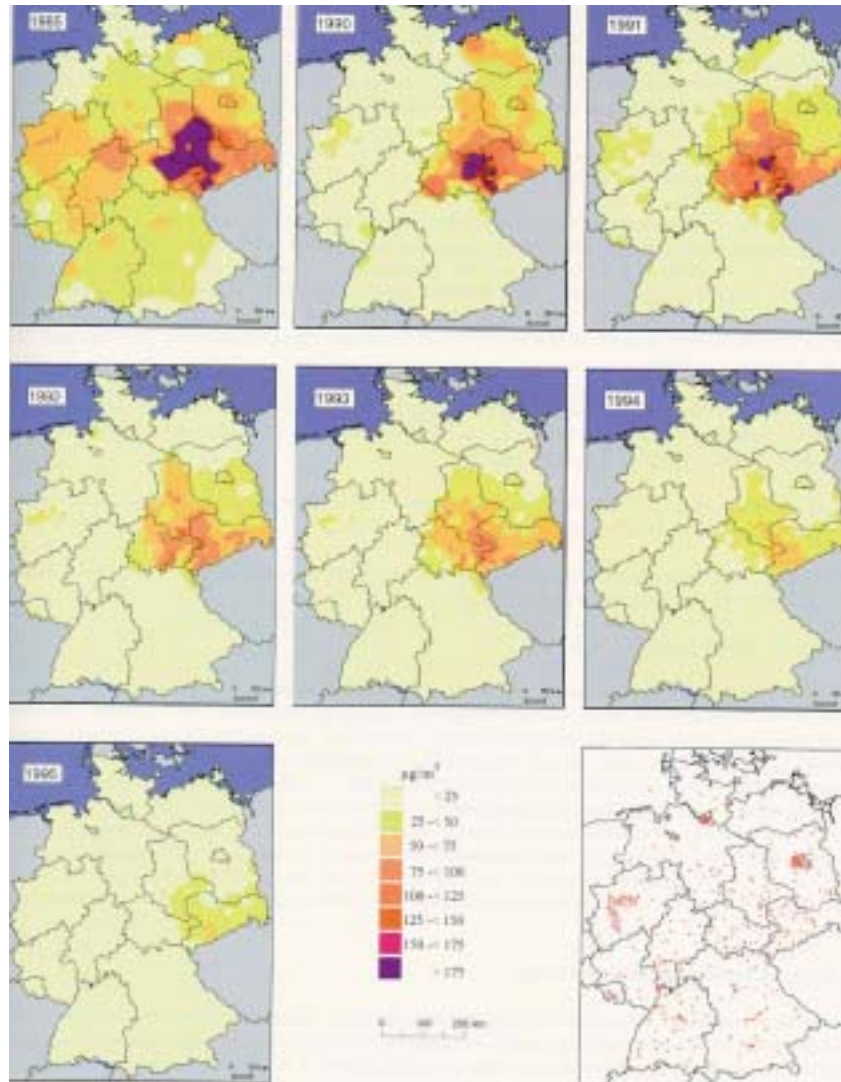
Рассчитанные концентрации NO_2 были получены с применением систем моделирования, содержащей следующие модели: интерактивная графическая система планирования транспорта ЕММЕ/2; расчеты выбросов с использованием систем ЕММЕ/2 и LISA; модель рассеивания для стационарных источников – UDM-FMI (система моделирования рассеивания в условиях города, разработанная Финским метеорологическим институтом (11)) и модель рассеивания для передвижных источников – CAR-FMI (модель Финского метеорологического института (12) по оценке рассеивания в атмосферном воздухе загрязнителей от автодорожной); и модель метеорологического препроцессора. Программное обеспечение было реализовано на супер-ЭВМ Cray C94. Рассчитанные концентрации NO_2 были заметно выше в непосредственной близости от основных автомагистралей и улиц, а также в центральной части Хельсинки. На представленном рисунке четко прослеживаются зоны влияния кольцевых дорог, находящихся на расстоянии примерно 8 км и 15 км от центра города, а также пересечений основных автомагистралей и улиц.

Хранение данных

Данные следует хранить в электронном виде в защищенной базе данных, например, на оптическом диске. Такая база данных должна быть ориентирована на пользователя, обеспечивать простой способ обращения с ней, отличаться достаточной гибкостью и способностью к расширению по отношению к количеству примесей, наблюдаемых на разных постах. Современные программные средства с реляционными базами данных могут быть использованы и запущены на персональной ЭВМ. Используемые базы данных могут быть двух типов:

- база данных с выверенными наборами данных, такими, как величины концентрации, осредненные за 30 минут, 1 час или 24 часа; и

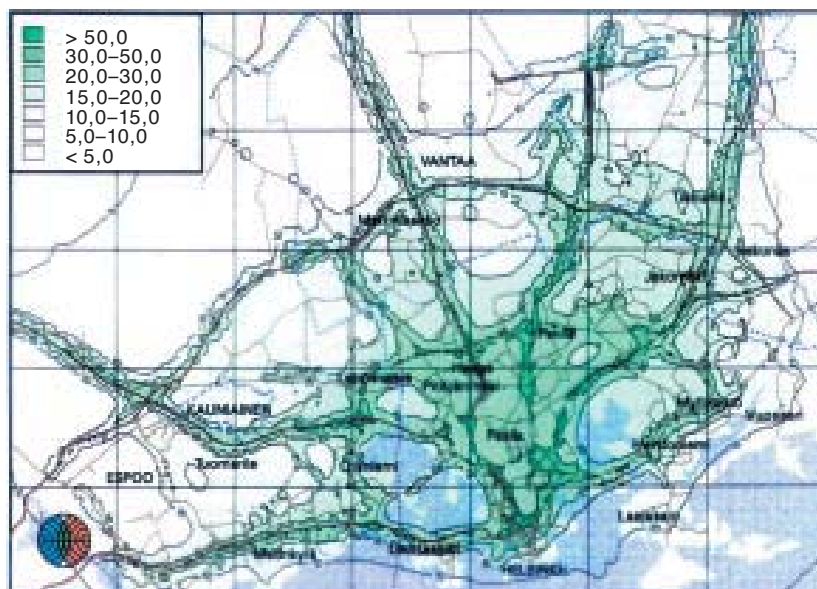
Рисунок 5.2. Ежегодная осредненная концентрация SO₂ в Германии, 1990–1995 гг. Интерполяция на основе результатов мониторинга



Первоисточник: Федеральное агентство Германии по окружающей среде. *Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland*. Berlin, Erich Schmidt Verlag, 1997, с. 151.

- база данных с агрегированными величинами для обобщенных статистических сводок, например, Информационная система ВОЗ для управления качеством атмосферного воздуха (АМИС).

Рисунок 5.3. Расчетное распределение в пространстве ежегодных осредненных концентраций NO_2 ($\text{мкг}/\text{м}^3$) в районе Большого Хельсинки, 1993 г.



Первоисточник: *Air quality in the Helsinki Metropolitan Area. Concentrations, emissions and trends.* (Качество атмосферного воздуха на территории Большого Хельсинки. Концентрации загрязнителей, выбросы и тренды). Хельсинки, Городской совет Большого Хельсинки (YTV), 1998 г., с.9.

Для хранения баз данных обоих типов требуется ясная и основательная документация, позволяющая заниматься проведением дальнейших исследований.

Библиография

1. *Health related air quality indicators and their application in health impact assessment in HEGIS: report on a WHO consultation, Sosnowiec, Poland, 21–23 November 1995.* Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1997 (document EUR/ICP/EHAZ 94 06/MT03).
2. Council directive 92/72/EEC of 21 September 1992 on air pollution by ozone. *Official journal of the European Communities*, **L297**(13/10): 1–7 (1992).
3. WHO EUROPEAN CENTRE FOR ENVIRONMENT AND HEALTH. *Concern for Europe's tomorrow. Health and the environment in the European Region.* Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1995.

4. HUYSMANS, K. & KRZYZANOWSKI, M. *Exposure of urban population in the WHO European Region to major air pollutants: summary of the WHO-ECEH air pollution database*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1997 (document EUR/ICP/TRNS 02 01 02).
5. JOL, A. & KIELLAND, G., ED. *Air pollution in Europe 1997. Executive summary* (<http://www.eea.eu.int/Document/Monogr/air97/default.htm>). Copenhagen, European Environment Agency, 1997 (EEA Environmental Monograph, No. 4) (accessed 12 August 1999).
6. GORYNSKI, P. ET AL. [The assessment of population exposure to ambient air pollution.] *Roczniki panstwowego zakladu higieny*, **46**: 37–46 (1997).
7. PIKHART, H. ET AL. Association between ambient concentrations of nitrogen dioxide and respiratory symptoms in children in Prague, Czech Republic. Preliminary results from the Czech part of the SAVIAH study. *Central European journal of public health*, **5**: 82–85 (1997).
8. STEDMAN, J.R. Estimate of the additional hospital admissions for respiratory disorders that can be attributed to summertime photochemical ozone episodes. In: *Health effects of ozone and nitrogen oxides in an integrated assessment of air pollution*. Proceedings of a joint meeting between the United Nations Economic Commission for Europe and the WHO European Centre for Environment and Health. Leicester, Institute for Environmental Health, 1997, pp. 82–89.
9. GERMAN FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENCY. *Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland*. Berlin, Erich Schmidt Verlag, 1997.
10. KARPPINEN, A. ET AL. Comparison of dispersion model predictions and the results from an urban air quality measurement network. In: POWER, H. ET AL., ED. *Air pollution V*. Southampton, CMP, 1997, pp. 405–411.
11. *The urban dispersion modelling system* (<http://www.fmi.fi/ENG/ILA/urban-ums.html>). Helsinki, Finnish Meteorological Institute (accessed 12 August 1999).
12. *A model for evaluating the dispersion of pollution from a road network* (<http://www.fmi.fi/ENG/ILA/roadmodel.html>). Helsinki, Finnish Meteorological Institute (accessed 12 August 1999).

6

Выводы и рекомендации

В итоге дискуссий, состоявшихся на совещаниях Рабочей группы, а также на основании материала, изложенного в предшествующих главах, можно прийти к следующим выводам и рекомендациям.

1. Одна из главных целей управления качеством атмосферного воздуха состоит в профилактике эффектов на здоровье человека, обусловленных чрезмерной экспозицией к воздушным примесям. Поэтому, сети мониторинга качества атмосферного воздуха должны обеспечивать получение информации, пригодной для оценки экспозиции и влияния на здоровье.
2. Система оценки качества атмосферного воздуха, в основу которой положен гибкий инструментарий – мониторинг и модели, – представляется необходимой для оценки экспозиции населения в загрязнении атмосферы. В свою очередь, без оценки экспозиции невозможно провести оценку воздействия на здоровье.
3. Конкретный выбор анализируемых загрязнителей, временные масштабы и места размещения пунктов наблюдений должны быть надлежащими для оценки экспозиции населения. Мониторинг качества атмосферного воздуха должен позволять определять как

экспозицию в очагах загрязнения, где под воздействием высоких концентраций оказывается небольшая часть населения, так и экспозицию по средним концентрациям, под воздействием которых находится большинство населения.

4. При проведении оценки экспозиции населения, используя результаты наблюдений на сети мониторинга атмосферного воздуха, все население должно быть отнесено к отдельным участкам с концентрацией атмосферной примеси, измеренной на той или иной станции мониторинга. Информация о численности экспонированного населения должна использоваться в сочетании с измеренными концентрациями. Для этой цели также необходимы надежные демографические данные.
5. Наличие данных о распределении по времени видов деятельности для различных контингентов населения может способствовать уточнению оценок экспозиции, полученных путем сопоставления сведений о плотности населения с данными о концентрациях атмосферных примесей.
6. Системы мониторинга должны планироваться на основании ясно сформулированных целей и требований, предъявляемых к качеству данных.
7. Программы мониторинга должны быть эффективными с точки зрения затрат, характеризоваться устойчивостью и соответствовать приоритетным потребностям и специфике условий на национальном и местном уровнях. Следует всегда отдавать предпочтение самым простым технологиям и процедурам, которые в полной мере соответствуют достижению общих целей мониторинга.
8. Всеобъемлющее обеспечение и контроль качества программ мониторинга атмосферного воздуха являются важнейшим условием для того, чтобы гарантировать, что измерения точны, надежны и соответствуют поставленной цели. Гармонизации качества измерений на

национальном и международном уровнях должна содействовать национальной координации мер по обеспечению и контролю качества, аккредитация лабораторий и международные программы в области проверки правильности данных.

9. Полезность необработанных (первичных) данных о качестве атмосферного воздуха весьма ограничена; путем адекватной выверки, анализа и интерпретации такие данные следует преобразовывать в ценную информацию, которая ориентирована на удовлетворение потребностей в ней конечных пользователей среди ученых, политических деятелей, специалистов в области планирования и здравоохранения и общественности. Информация такого рода должна оперативно распространяться и быть легко доступной.
10. Мониторинг⁴⁹ представляет собой лишь один из набора инструментария в области оценки качества атмосферного воздуха; мониторинг, инвентаризация выбросов и прогностические модели наилучшим образом дополняют друг друга в рамках любого комплексного подхода к проведению оценки экспозиции, анализу эффектов на здоровье и управлению факторами риска.

⁴⁹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

Приложение 1

Основные мероприятия, связанные с оценкой качества атмосферного воздуха в Европейском регионе

Приложение 1.1. Обзор пересмотренного варианта критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы *Rolaf van Leeuwen и Michal Krzyzanowski*

Введение

Более 40 лет проблема загрязненной воздушной среды и ее воздействия на здоровье человека была объектом повышенного внимания со стороны ВОЗ. Первая конференция ВОЗ по вопросам охраны здоровья населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха в Европе состоялась в 1957 г. в Милане, а затем последовало несколько мероприятий, организованных Европейским региональным бюро по данной проблеме, причем все они были нацелены на расширение международного сотрудничества и согласование политики в области окружающей среды в Европейском регионе. В итоге проведенных мероприятий были разработаны критерии качества атмосферного воздуха, рекомендованные ВОЗ для Европы.

Первое издание *Критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы*, было выпущено

в 1987 г. В этой публикации представлена информация о рисках по 27 загрязнителям. Впоследствии появились новые научные данные из области токсикологии и эпидемиологии загрязнения воздушной среды, а также были разработаны новые методы оценки риска. Эти достижения обусловили необходимость пересмотра и обновления существующих нормативов. Билтховенский филиал Европейского центра ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья приступил к работе по пересмотру, обновлению и расширению принятых ранее критериев. Работа проводилась в тесном сотрудничестве с Международной программой по химической безопасности (МПХБ) и Генеральным директором Европейской комиссии по окружающей среде, ядерной безопасности и гражданско-правовой защите.

Работа по подготовке нового издания началась с проведения в январе 1993 г. совещания по планированию (1). Для подготовки пересмотренного варианта нормативов состоялись совещания рабочих групп ВОЗ по следующей тематике:

- методология и формат, сентябрь 1993 г. (2)
- экотоксические эффекты, сентябрь 1994 г. (3)
- «классические» атмосферные примеси, октябрь 1994 г. (4)
- неорганические атмосферные примеси, октябрь 1994 г. (5)
- некоторые загрязняющие вещества в воздухе помещений, март 1995 г. (6)
- ПХБ, диоксины и фураны, май 1995 г. (7)
- летучие органические соединения, октябрь 1995 г. (8)
- «классические» атмосферные примеси – второе совещание, июнь 1996 г.
- итоговое консультативное совещание, октябрь 1996 г.

Помимо состоявшихся совещаний, посвященных выработке критериев качества атмосферного воздуха, рабочая группа подготовила методические рекомендации по разработке стандартов качества атмосферного воздуха (май 1997 г.), которые составляют часть обновленных критериев качества атмосферного воздуха.

Второе издание *Air quality guidelines* (Критерии ВОЗ по качеству атмосферного воздуха) было опубликовано в 2000 г. (9);

помимо него имеется также компакт-диск с полным комплектом исходных материалов по этой публикации.

Цель и предназначение критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для Европы

Как и в случае первого издания, цель рекомендованных критериев состоит в создании основы для защиты здоровья населения от неблагоприятного воздействия загрязнения окружающей среды, а также в предотвращении или сведения к минимуму экспозиции по загрязнителям, которые обладают уже известными или потенциально возможными вредными эффектами на здоровье человека или его благополучие. Несмотря на то, что при установлении упомянутых критериев в центре внимания находились эффекты на здоровье, учтены были такие экологически обоснованные рекомендации по профилактике вредного воздействия на наземную растительность и были установлены значения критериев по оксидам азота и серы и по озону для защиты растительности.

Рекомендованные критерии служат источником базовой информации и представляют собой методические рекомендации для национальных или международных уполномоченных учреждений, занимающихся оценкой риска и выработкой решений по управлению им. В предложенных критериях даются значения концентрации загрязняющих веществ, ниже которых пожизненная экспозиция или экспозиция за определенный период времени не представляют существенного риска для здоровья населения, и таким образом создается основа для установления международных и национальных стандартов или предельных величин для атмосферных загрязняющих веществ.

Вообще говоря, предложенные критерии относятся к отдельным загрязнителям, тогда как в реальных условиях население находится под воздействием смеси химических веществ, обладающих дополнительными, синергическими или антагонистическими эффектами. В некоторых случаях в обновленных критериях действительно непосредственно рассматриваются такие смеси веществ, в частности табачный дым, содержащийся в окружающей среде, и искусственные

стекловидные волокна. В критериях не делается каких-либо различий между воздействием воздушных примесей внутри помещений и на открытом воздухе, поскольку соотношение экспозиции и отклика (реакции), в сущности, остается неизменным несмотря на то, что от конкретного места экспозиции зависит тип и концентрация атмосферных примесей.

Несмотря на то, что разработка ВОЗ критериев качества атмосферного воздуха для Европы преследовала цель охраны здоровья человека, приводимые в них концентрации являются максимально допустимыми и следует стремиться к тому, чтобы уровни загрязнения воздушной среды были настолько низкими, насколько эти практически достижимо. По некоторым загрязнителям (к примеру, по ВЧ₁₀, радону или бензолу) никаких значений гигиенических критериев не предлагается; вместо этого приводится величина (или величины) риска (или уровней риска возникновения различных последствий для здоровья) на единицу концентрации. Такой подход позволяет провести оценку риска для здоровья, обусловленного определенной экспозицией.

В основу представленных критериев положены эффекты на здоровье или последствия загрязнения окружающей среды, и как таковые эти критерии не являются стандартами. При установлении законодательных, юридически обязательных стандартов следует принимать во внимание преобладающие уровни экспозиции, техническая осуществимость, меры по контролю источников загрязнения, стратегии по снижению степени загрязнения, а также социально-экономические условия и культурологические особенности. Поэтому между-народные или национальные стандарты могут оказаться завышенными или ниже гигиенических критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованным ВОЗ для Европы. Эти аспекты будут рассмотрены во втором издании книги по критериям ВОЗ.

Обновленные критерии качества атмосферного воздуха для Европы

Конкретные величины критериев и соответствующие периоды осреднения, полученные в итоге пересмотра, обобщены в таблицах А1.1 и А1.2. Как сказано выше, по

Таблица А1.1. Обобщенная сводка пересмотренных критериев качества атмосферного воздуха, рекомендованных ВОЗ для стран Европы

Вещество	Рекомендуемый критерий	Время осреднения
Классические воздушные примеси		
Оксид углерода	100 мг/м ³	15 минут
	60 мг/м ³	30 минут
	30 мг/м ³	1 час
	10 мг/м ³	8 часов
Озон	120 мкг/м ³	8 часов
Диоксид азота	200 мкг/м ³	1 час
	40 мкг/м ³	1 год
Диоксид серы	500 мкг/м ³	10 минут
	125 мкг/м ³	24 часа
	50 мкг/м ³	1 год
Взвешенные частицы (см. табл. А1.2)	экспозиция-отклик	24 часа
Воздух внутри помещений		
Искусственное стекловидное волокно (жаростойкое керамическое волокно)	1 × 10 ⁻⁶ (волокон/литр) ⁻¹	единичный риск/ продолжительность жизни
Радон	3–6 × 10 ⁻⁵ /Бк/м ³	единичный риск/ продолжительность жизни
Табачный дым в окружающей среде	рекомендуемый критерий не установлен ^a	
Органические примеси		
Бензол	6 × 10 ⁻⁶ (мкг/м ³) ⁻¹	единичный риск/ продолжительность жизни
1,3-бутадиен	рекомендуемый критерий не установлен ^a	
Дихлорметан	3 мг/м ³	24 часа
Формальдегид	0,1 мг/м ³	30 минут
Полициклические ароматические углеводороды (бенз[а]пирен)	8,7 × 10 ⁻⁵ (нг/м ³) ⁻¹	единичный риск/ продолжительность жизни
Стирол	0,26 мг/м ³	1 неделя
Тетрахлорэтилен	0,25 мг/м ³	24 часа
Толуол	0,26 мг/м ³	1 неделя
Трихлорэтилен	4,3 × 10 ⁻⁷ (мкг/м ³) ⁻¹	единичный риск/ продолжительность жизни
ПХБ, ПХДД, ПХДФ	рекомендуемый критерий не установлен ^a	
Неорганические примеси		
Мышьяк	1,5 × 10 ⁻³ (мкг/м ³) ⁻¹	единичный риск/ продолжительность жизни

Таблица А1.1. (продолжение)

Вещество	Рекомендуемый критерий	Время осреднения
Кадмий	5 нг/м ³	1 год
Хром (хром)(VI)	4 × 10 ⁻² (мкг/м ³) ⁻¹	единичный риск/ продолжительность жизни
Фторид	рекомендуемый критерий не установлен ^а	
Свинец	0,5 мкг/м ³	1 год
Марганец	0,15 мкг/м ³	1 год
Ртуть	1,0 мкг/м ³	1 год
Никель	3,8 × 10 ⁻⁴ (мкг/м ³) ⁻¹	единичный риск/ продолжительность жизни
Платина	рекомендуемый критерий не установлен ^а	
Экотоксическое воздействие		
SO ₂ – критический уровень критическая нагрузка	10–30 мкг/м ³ ^б 250–1500 экв на гектар в год ^в	1 год
NO _x – критический уровень (NO + NO ₂ , выраженный в NO ₂) критическая нагрузка	30 мкг/м ³ 15–35 кг N на гектар в год ^в	1 год
Озон – критический уровень	0,2–10 частей/млн. · ч ^{б,г}	от 5 дней до 6 мес

^а См. текст.

^б В зависимости от типа растительности.

^в В зависимости от типа почвы и экосистемы.

^г Суммарная экспозиция свыше предела порогового воздействия 40 частей/млрд. (за дневное время суток).

Единичный риск представляет собой дополнительный риск летального исхода от рака вследствие пожизненной экспозиции. К примеру, как результат воздействия бензола шесть человек из популяции в 1 миллион умрут при пожизненной экспозиции на уровне 1 мкг/м³; на случай воздействия полициклических ароматических углеводородов единичный риск означает, что 87 человек из популяции в 1 миллион умрут от рака при пожизненной экспозиции на уровне 1 нг/м³.

некоторым загрязнителям не дается каких-либо нормативов. Причины этого были разными для разных загрязнителей. Если имеется информация по экспозиции и отклику (на нее), она может быть использована для оценки риска для населения, а также его приемлемости. Табачный дым, содержащийся в окружающей среде, ассоциируется с серьезными последствиями для здоровья при типичном уровне экспозиции, обусловленной данным загрязнителем. Что касается группы хлорорганических загрязнителей (ПХБ,

Таблица А 1.2. Обновленные критерии качества атмосферного воздуха, рекомендованные ВОЗ для стран Европы: сводка расчетных оценок относительного риска для некоторых исходов болезни, ассоциированного с увеличением 24-часовой осредненной концентрации ВЧ₁₀ или ВЧ_{2,5} на 10 мкг/м³

Результат воздействия на здоровье	Относительный риск по ВЧ _{2,5} (95% доверительный интервал)	Относительный риск по ВЧ ₁₀ (95% доверительный интервал)
Назначение бронхолитиков		1,0305 (1,0201–1,0410)
Кашель		1,0356 (1,0197–1,0518)
Проявление симптомов в нижних отделах дыхательных путей		1,0324 (1,0185–1,0464)
Изменение в показателе пиковой скорости движения воздуха на выдохе (м ³ /кг) по сравнению со средним значением		–0,13% (от –0,17% до –0,09%)
Поступление в стационар по поводу респираторных расстройств		1,0080 (1,0048–1,0112)
Смертность ⁵⁰	1,015 (1,011–1,019)	1,0074 (1,0062–1,0086)

⁵⁰ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

ПХДД и ПХДФ), то непосредственный риск для здоровья вследствие их воздействия через дыхательные пути оказывается незначительным в сравнении с суммарной (пероральной) экспозицией по данным соединениям. По фтористым соединениям был сделан вывод о том, что их концентрации, обеспечивающие должную защиту для домашних животных и растений, также адекватным образом защищают и здоровье человека. Получение гигиенического критерия для платины оказалось нецелесообразным ввиду того, что ее концентрации в окружающем воздухе как минимум на три порядка ниже, чем уровни содержания, вызывающие аллергические реакции у чувствительной части населения. Кроме того, не было установлено какого-либо критерия для 1,3-бутадиена, так как оценка канцерогенного

риска у различных биологических видов варьировалась в широких пределах, в связи с чем не может быть сделано определенного заключения о том, с каким биологическим видом следует ассоциировать оценку такого риска для организма человека.

Библиография

1. *Update and revision of the air quality guidelines for Europe*: report on a WHO planning meeting, Bilthoven, Netherlands, 11–13 January 1993. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1994 (document EUR/ICP/CEH 230).
2. *Methodology and format for updating and revising the air quality guidelines for Europe*: report on a WHO Working Group, Bilthoven, Netherlands, 20–22 September 1993. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1994 (document EUR/ICP/CEH 230/A Rev.1).
3. *Updating and revision of the air quality guidelines for Europe*: report on the WHO Working Group on Ecotoxic Effects, Les Diablerets, Switzerland, 21–23 September 1994. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1995 (document EUR/ICP/CEH 230/B).
4. *Update and revision of the air quality guidelines for Europe*: report on the Working Group on “Classical” Air Pollutants, Bilthoven, Netherlands, 11–14 October 1994. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1995 (document EUR/ICP/EHAZ 94 05/PB01).
5. *Updating and revision of the air quality guidelines for Europe*: report on the WHO Working Group on Inorganic Air Pollutants, Düsseldorf, Germany, 24–27 October 1994. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1994 (document EUR/ICP/EHAZ 94 05/MT04).
6. *Updating and revision of the air quality guidelines for Europe*: report on the Working Group on Certain Indoor Air Pollutants, Hanover, Germany, 27–29 March 1995. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1996 (document EUR/ICP/EHAZ 94 05/MT09).
7. *Updating and revision of the air quality guidelines for Europe*: report on a WHO Working Group on PCBs, PCDDs and PCDFs, Maastricht, Netherlands, 8–10 May 1995. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1995 (document EUR/ICP/EHAZ 94 05/MT10).

8. *Updating and revision of the air quality guidelines for Europe: report on a WHO Working Group on Volatile Organic Compounds*, Brussels, Belgium, 2–6 October 1995. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1995 (document EUR/ICP/EHAZ 94 05/MT 12).
9. *Air quality guidelines for Europe: second edition*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, No. 91).

Приложение 1.2. Рамочная директива и «дочерние» директивы Европейского союза *Frank de Leeuw*

В рамочной директиве Европейского союза по оценке качества атмосферного воздуха и управлению им (96/62/ЕС) (1) сформулированы общие принципы измерения и оценки качества атмосферного воздуха в 15 государствах-членах Европейского союза. В соответствии с требованиями рамочной директивы предельные значения, определяющие состояние качества атмосферного воздуха, должны быть установлены «дочерними» директивами по конкретным загрязнителям. Во исполнение рамочной директивы проведение измерений в обязательном порядке предусмотрено в случае:

- агломераций, определяемых как зона компактного проживания населения численностью более 250 000 человек или же поселения с достаточно высокой плотностью населения на км², чтобы признать, по мнению государств-членов, необходимость оценки качества атмосферного воздуха и управления им;
- зон с концентрацией, превышающей предельное значение на $x\%$, где x зависит от конкретного загрязнителя и регламентируется в «дочерней» директиве; и
- прочих зон с концентрациями выше предельного значения.

Измерения должны осуществляться на стационарных постах наблюдения в непрерывном режиме или путем взятия случайных выборок, а само число таких измерений должно быть достаточно большим для определения регистрируемых уровней загрязнения. На случай такой степени загрязнения

атмосферного воздуха, когда не превышает предельный уровень (т.е. тогда, когда концентрации загрязнителей ниже $x\%$ от предельного уровня), допускается использование комбинированных методов проведения измерений и моделирование. При низких концентрациях (менее $y\%$ от предельного уровня, где y зависит от загрязнителя и регламентируется «дочерней» директивой), допускается ограничение одним лишь моделированием или проведением объективной оценки. Например, в случае с SO_2 $x = 60\%$ и $y = 40\%$.

Не позднее чем через 9 месяцев после окончания каждого года государства Европейского союза обязаны информировать Европейскую комиссию о числе случаев превышения предельного значения наряду с указанием причин. Кроме того, ежегодно страны должны представлять список зон и агломераций, где концентрации превышают предельное значение. Названная Комиссия обязана ежегодно опубликовывать такие списки.

При подготовке «дочерних» директив рабочими группами были подготовлены специальные обосновывающие доклады («доклады по позиции»). В них приводятся рекомендации относительно предельных значений (концентраций), а также стратегия мониторинга по конкретным примесям. Соответствующие критерии детализированы для выбора места размещения и минимального количества пунктов наблюдений, проведения эталонных измерений и методов отбора проб. Наряду с этим даются рекомендации по обеспечению и контролю качества. Эти обосновывающие доклады составляют базис для «дочерних» директив, подготовленных Комиссией. В 1997 и 1998 гг. были выпущены проекты обосновывающих докладов по SO_2 , NO_2 , взвешенным частицам и свинцу, бензолу и СО и озону. Кроме того, началась подготовительная работа, связанная с обработкой информации по полициклическим ароматическим углеводородам, кадмию, мышьяку, никелю и ртути. В апреле 1999 г. была принята директива по SO_2 , NO_2 , взвешенным частицам и свинцу (2).

Комиссия обратилась с просьбой к Европейскому агентству по окружающей среде и Центру совместных научных

исследований Европейской комиссии оказать помощь в разработке методических рекомендаций по дополнительному анализу для обоснования перечня требований, установленных рамочной директивой. В методическом руководстве (3) представлены критерии, процедуры и методы, позволяющие наиболее эффективно в плане затрат выполнять задачи мониторинга и оптимальным образом размещать пункты наблюдений для обеспечения достаточной репрезентативности параметров качества атмосферного воздуха на всей охваченной зоне для четырех случаев оценки:

- предварительная оценка: когда на территории зон или агломераций отсутствуют репрезентативные измерения, страны обязаны провести предварительную оценку для своевременного получения данных, необходимых для выполнения «дочерней» директивы;
- оценка, позволяющая провести дальнейшую оптимизацию размещения пунктов наблюдений для выполнения (обязательных) измерений;
- оценка, на основании которой выполняется обобщение результатов обязательных измерений; и
- анализ существующих оценок.

В сочетании с каждым из вышеизложенных случаев следует использовать три оценочных метода:

- предварительные измерения качества атмосферного воздуха
- инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу
- моделирование загрязнения атмосферного воздуха.

В упомянутом методическом руководстве (3) дается описание процедур проведения оценки и аналитических методов, о которых сказано выше.

Библиография

1. Council directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient all quality assessment and management. *Official journal of the European Communities*, **L296**(21/11): 55–63 (1996).

2. Council directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official journal of the European Communities*, **L163**(29/06): 41–60 (1999).
3. VAN AALST, R. ET AL. *Guidance report on preliminary assessment under EC air quality directives* (<http://www.eea.eu.int/Document/Entecrep/default.htm>). Copenhagen, European Environment Agency, 1998 (accessed 12 August 1999).

Приложение 2

Общие принципы инвентаризации выбросов

Alexander Economopoulos

Введение

Получение надежной оценки выбросов, поступающих в атмосферу от каждого источника или от совокупности аналогичных источников в пределах изучаемой территории, имеет большое значение для уточнения природы, масштабов и происхождения актуальных проблем загрязнения окружающей среды, а также для формулирования рациональных стратегий борьбы с загрязнением.

Поскольку на территории любого города осуществляются всевозможные виды деятельности, загрязняющие окружающую среду, охват абсолютно всех источников загрязнения может оказаться нецелесообразным или даже ненужным. В самом деле, большинство видов деятельности сопряжено с определенным уровнем загрязнения среды, однако основная масса выбросов приходится на относительно небольшое число типов источников. Следовательно, эффективная инвентаризация источников загрязнения может быть организована следующим образом:

- проведение отдельной оценки выбросов, поступающих от каждого крупного и среднего источника загрязнения;
- проведение совокупной оценки выбросов, поступающих от групп аналогичных мелких источников загрязнения, которые совместно дают существенный вклад в суммарные выбросы, в частности такие источники, как отопительные котельные, автотранспорт, химчистки и автозаправочные станции; и

- игнорирование роли всех остальных источников загрязнения, совместный вклад которых в суммарные выбросы незначителен (основные виды экономической деятельности).

Методы инвентаризации источников загрязнения должны быть положены в основу формирования действующих кадастров газообразных выбросов и проведения оценки последних. К имеющимся для выполнения этой задачи приемлемым методам можно отнести экспресс-оценку, имитационное моделирование источников загрязнения и связанные с ними системы контроля и прямой (инструментальный) мониторинг газообразных выбросов. Первые два метода относятся к разряду расчетных и отличаются тем, что с их помощью можно получать оценочные данные не только о состоянии текущей ситуации, но и о возможных альтернативных ситуациях, представляющих интерес для специалистов по планированию. Программы инструментального мониторинга позволяют получать ценные первичные данные инвентаризации, однако такие программы отражают лишь текущую ситуацию, и их сравнительно трудно реализовать на практике ввиду высокого уровня затрат.

Краткое описание этих методов представлено ниже. Более полное их описание наряду с необходимыми моделями реализации на практике приводится в других источниках (1). Goodwin et al. (2) провели инвентаризацию для всего Соединенного Королевства путем совмещения подходов «сверху – вниз» и «снизу – вверх», тогда как Hutchinson и Clewley (3) составили свой кадастр по принципу «снизу – вверх» в масштабе города.

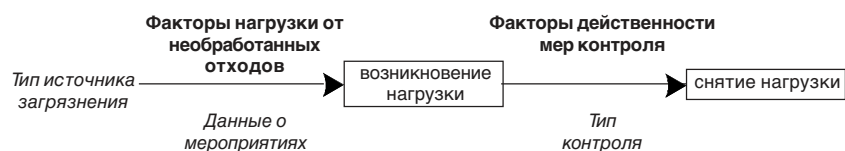
Экспресс-оценка

Экспресс-оценка представляет собой достаточно эффективный метод анализа состояния выбросов от самых различных источников загрязнения, а также анализа эффективности альтернативных подходов контроля загрязнения.

Данный метод основывается на документированном и нередко обширном опыте и знаниях о природе и характеристиках загрязнителей, выбрасываемых из

источников каждого типа как при наличии, так и при отсутствии соответствующих систем контроля выбросов. Как показано на рис. А2.1, при таком методе обеспечивается непрерывный учет приобретаемого опыта для прогнозирования ожидаемых нагрузок, обусловленных отдельно взятым источником загрязнения.

Рисунок А2.1. Иллюстрация метода экспресс-оценки для получения расчетной нагрузки загрязнения на атмосферный воздух, воду и местность



Жирный шрифт: компоненты модели

Курсив: данные натуральных наблюдений

Поэтому у специалистов по планированию появляется возможность для составления всеобъемлющих кадастров для большой территории города и анализа сценариев контроля выбросов при умеренных затратах. Тем не менее, несмотря на заметное варьирование нормализованных параметров выбросов от аналогичных источников загрязнения, получаемые данные являются статистически достоверными.

Расчет создаваемых нагрузок на окружающую среду от конкретного источника загрязнения проводится на основании соответствующих факторов выбросов (удельных показателей выбросов), полученных путем измерений на аналогичных источниках загрязнения. Каждый фактор, e_j , определяется как отношение нормализованной массы загрязняющего вещества j в выбросе на единицу производительности рассматриваемого источника загрязнения. В принципе, тот или иной фактор можно представить как функцию нескольких параметров в следующем математическом виде:

$e_j = f'$ (тип источника загрязнения, особенности технологического процесса или конструкции, срок эксплуатации объекта и уровень его технической сложности, практика эксплуатации, технического обслуживания и ремонта объекта, тип и качество используемого сырья, тип, конструкция и срок службы действующих систем контроля, тип и конструкция систем контроля состояния загрязнения других сред, условия окружающей среды и другие параметры)

Зависимость факторов выбросов e_j от параметров, включенных в состав вышеприведенного уравнения, не может быть выражена в форме непрерывной функции по причине дискретной природы большинства этих параметров (например, тип используемых систем контроля) и отсутствия достаточной информации об остальных параметрах. Вместо этого используется дискретная форма функции, позволяющая получить серию значений о факторах выбросов, каждый из которых является достоверным лишь для конкретного набора сочетания наиболее типичных и важнейших параметров.

Это обуславливает необходимость в табличной форме построения комплексной модели инвентаризации и контроля выбросов (1). Такая модель позволяет учитывать влияние большинства основных параметров при оценке нагрузок на окружающую среду, обеспечивая на основании натуральных обследований точное определение требований, предъявляемых к данным.

Моделирование источника загрязнения и систем контроля

Применение математических моделей, позволяющих имитировать производственную деятельность некоторых источников загрязнения и функционирование систем контроля, действующих на этих объектах, представляет собой наиболее передовой метод получения надежной оценки не только о состоянии текущих значений выбросов, но и о последствиях внедрения всевозможных модификаций в их конструкцию и процесс эксплуатации.

Недостатком имитационного моделирования являются практические трудности при разработке таких моделей для широкого разнообразия существующих источников загрязнения и систем контроля. Более того, становятся довольно жесткими требования, предъявляемые к обработке данных, а их обработка вручную сопряжена с практическими ограничениями. Вместе с тем, осуществление выборочного применения таких моделей дает значительные улучшения результатов инвентаризации, а разработка графических методов решения проблемы приводит к применению удобных инструкций. Разработаны методики получения графических решений в отношении следующих источников загрязнения и систем контроля (1):

- источники внутреннего сгорания (потребление топлива и газообразные выбросы от автомобилей);
- источники внешнего сгорания (объем топочного газа для большинства видов топлива);
- дымовые трубы (падение температуры отходящих газов);
- циклонная установка (общая производительность и распределение выбрасываемых твердых частиц);
- скруббер Вентури (общая производительность и распределение выбрасываемых твердых частиц); и
- электростатические пылеуловители (общая производительность).

Изложенный подход расширяет возможности и улучшает метод экспресс-оценки, причем данный подход может быть дополнен этим методом. Более того, будучи расчетным по своей природе, такой принцип находит применение для анализа как текущей, так и прогнозируемой ситуации. Таким образом, можно утверждать, что этот подход вполне подходит для целей разработки стратегий в области охраны окружающей среды.

Программы прямого измерения выбросов

Прямой мониторинг источников выбросов путем взятия и анализа проб представляется вполне очевидным. Такой метод незаменим во многих случаях, особенно когда возникает необходимость в тщательном контроле за выбросом крупных

источников, или же когда перед службами охраны окружающей среды стоит задача проверки соблюдения установленных нормативов по жидким сбросам или выбросам в атмосферу.

Связанные с измерениями требования по линии программ инвентаризации источников загрязнения в отличие от контроля за исполнением нормативно-правовых актов, как правило, более ослаблены. Следовательно, в этом случае допускается использование облегченных по весу и менее дорогостоящих приборов, которые удобнее в транспортировке, техническом обслуживании, ремонте и эксплуатации. При этом могут рассматриваться дополнительные параметры, а определяемые концентрации всегда должны анализироваться с учетом объемов отходящих газов.

Инструментальный мониторинг источников загрязнения позволяет добиться повышения точности инвентаризации выбросов, и эту работу следует проводить постоянно. Вместе с тем, на этом пути нередко возникают такие серьезные проблемы, как изменчивость выбросов, отсутствие подходящих участков для отбора проб, высокие температуры и присутствие в среде токсичных газов. Более того, затруднено проведение измерений для рассеянных распыленных или рассредоточенных на большой территории источников загрязнения, а число индивидуальных источников зачастую бывает чрезмерным. Даже для источников, инструментальный мониторинг выбросов которых может быть осуществлен, следует составить приоритетный перечень, включающий важнейшие источники. Поскольку на крупные источники загрязнения обычно приходится основная доля нагрузки на окружающую среду, точный мониторинг выбросов во многом предопределяет точность программы инвентаризации в целом.

Несмотря на возможность и необходимость использования рационально упрощенных методов, инвентаризация источников загрязнения, которая полностью основана на прямых измерениях выбросов, обычно требует много

времени и значительных ресурсов, часто не может обеспечить охват всех источников и способна отслеживать лишь текущую ситуацию. Поэтому регулярное обновление данных инвентаризации отходов представляется непрактичным. К тому же, полезность кадастровой информации при планировании оказывается ограниченной, так как плановики не имеют возможности измерить последствия принятия альтернативных мер, представляющих интерес.

Комбинированные подходы

Представляется возможным организовать такие программы инвентаризации выбросов, которые будут сочетать расчетные методы с методами прямых измерений, чтобы ценой разумных затрат получать наиболее достоверные результаты. Для достижения этой цели данные прогнозов вычислительных методов могут найти свое применение при установлении приоритетов для программ (инструментального) мониторинга источников, а результаты мониторинга, в свою очередь, могут использоваться для верификации и калибровки прогнозов, получаемых путем математического моделирования. В дальнейшем математические модели могут применяться при составлении надежных кадастров и проведении анализа стратегий контроля загрязнения окружающей среды.

В частности, математические методы инвентаризации источников загрязнения позволяют получить информацию о характере (параметрах загрязнения, представляющих наибольший интерес) и масштабах нагрузки на окружающую среду вследствие загрязнений, поступающих от каждого источника. В большинстве случаев основная нагрузка на окружающую среду приходится на долю немногих крупных источников загрязнения, и они могут быть легко идентифицированы и, соответственно, проконтролированы.

Организация программ измерения выбросов может существенным образом повлиять на валидацию математических моделей. Для этого требуется вести тщательный учет технологических и операторских данных,

проводить дополнительные измерения для определения нагрузки на окружающую среду до и после введения в эксплуатацию очистных сооружений, а также инспектировать работу соответствующего оборудования, установленного на всех основных источниках из всех категорий размеров. По каждому основному типу источников необходимо обеспечивать мониторинг отдельных репрезентативных источников загрязнения, чтобы выполнять калибровку математических моделей.

Такой комбинированный подход сулит явные преимущества. Программа прямых измерений, затратная по времени и средствам, может проводиться в ограниченном масштабе, поскольку она совершенно не обязательно должна быть всеобъемлющей. В данном случае достаточно иметь лишь репрезентативную выборку из основных категорий источников загрязнения. После выверки тех прогнозов, которые были получены с помощью математических методов на основании вышеприведенной информации, можно с уверенностью пользоваться ими в отношении всех источников загрязнения как для текущих оценок, так и при отработке потенциальных стратегий на будущее, и регулярно составлять надежные пересмотренные варианты данных прогнозов. Таким образом, влияние дорогостоящей программы измерения выбросов может быть долгосрочным, если применять в дальнейшем математические модели, достоверность которых проверена на конкретных примерах.

Проведение в жизнь отдельных программ измерения выбросов исключительно ради их инвентаризации обычно связано со значительными расходами. Такие программы должны быть всеобъемлющими; однако возможности использования их результатов в сфере управления весьма ограничены, поскольку имеющиеся данные непригодны для целей планирования, и полученные с их помощью результаты недолговечны, так как каждые несколько лет необходимо повторно осуществлять новые дорогостоящие программы. Все эти недостатки преодолимы за счет совместного использования программ измерения выбросов и программ с

применением математических моделей, которые позволяют наилучшим образом составлять обоснование измерения выбросов.

Библиография

1. ECONOMOPOULOS, A.P. *Assessment of sources of air, water, and land pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies. Part 2. Approaches for consideration in formulating environmental control strategies.* Geneva, World Health Organization, 1993 (document WHO/PEP/GETNET/93.1-B).
2. GOODWIN, J.W.L. ET AL. *Atmospheric Emission Inventory 1995: Detailed spatial emission estimates and method.* Culham, UK, AEA Technology, National Environmental Technology Centre, 1997 (Report AEA/RAMP/20090001, AEAT-1835).
3. HUTCHINSON, D. & CLEWLEY, L. *West Midlands atmospheric emissions inventory.* London, London Research Centre. 1996.

Моделирование качества атмосферного воздуха

Приложение 3.1. Модели рассеивания примесей *Jaako Kukkonen*

Введение

Моделям загрязнения атмосферного воздуха принадлежит важная роль в процессах нормирования, формулирования политики и проведения научных изысканий. Сочетание техники измерений и моделирования часто оказывается наиболее эффективным методом исследований загрязнения воздушной среды. В этом разделе представлен анализ моделей рассеивания примесей в атмосфере, включая основные цели, физические и химические требования, предъявляемые к моделям, и определение характеристик моделей рассеивания на местном, региональном и континентальном уровнях.

Модели рассеивания атмосферных примесей могут быть использованы в самых различных целях:

- определение соотношений источник – рецептор;
- определение вклада различных источников в суммарные концентрации;
- оценка пространственного распределения концентрации и экспозиции населения;
- оптимизация стратегий снижения объема выбросов и анализ сценариев, связанных с выбросами;
- прогнозирование изменения концентраций загрязнителей во времени;

- анализ репрезентативности станций мониторинга; и
- использование моделей как инструментов научных исследований.

Выполнение многих из вышеперечисленных задач не ограничивается одним лишь измерением параметров качества атмосферного воздуха.

Для применения моделей следует располагать метеорологической и географической информацией, а также данными об источниках загрязнения и выбросах. Неточности прогнозов, полученных путем моделирования, обусловлены такими факторами, как (1):

- неточности при оценке входных параметров моделей;
- несовершенство моделирования физических и химических явлений;
- вычислительные ошибки моделей; и
- случайная изменчивость состояния атмосферы⁵¹.

Для осуществления контроля за неточностями, связанными с методами моделирования, модели должны подвергаться постоянно действующим процедурам обеспечения и контроля качества. Следует уделять первостепенное внимание деятельности по оценке моделей и проверке их достоверности, сопоставляя их с высококачественными базами данных.

В этом разделе предпринята попытка проведения общего аналитического обзора моделей рассеивания, в связи с чем конкретные модели не рассматриваются вообще. Moussiopoulos et al. (2) сделали обзор моделей загрязнения атмосферного воздуха, в том числе краткий анализ отдельных моделей.

Классификация моделей загрязнения атмосферного воздуха

Ниже приводится классификация моделей загрязнения атмосферного воздуха, предложенная Zannetti (3). Такие модели включают в себя:

⁵¹ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

- 1) Эйлеровы модели, позволяющие численно решать уравнения атмосферной диффузии;
- 2) Гауссовы модели, в соответствии с которыми распределение концентраций характеризуется как гауссовское в горизонтальном и вертикальном направлениях;
- 3) Лагранжевы модели, в которых либо отслеживаются процессы в движущихся массах воздуха, либо используются условные частицы для имитации процессов рассеивания;
- 4) полуэмпирические модели, базирующиеся, главным образом, на эмпирической параметризации;
- 5) стохастические модели, базирующиеся на полуэмпирических или статистических методах и ориентированные на проведение анализа соотношения между качеством атмосферного воздуха и измерениями атмосферных параметров или на прогнозирование случаев повышенного загрязнения воздуха; и
- 6) рецепторные модели, которые рассматривают измеренные концентрации загрязнителей в рецепторной точке и оценивают процентный вклад различных источников в этой концентрации.

Совершенно очевидно, что все вышеперечисленные модели можно считать наиболее распространенными и типичными. К примеру, в состав моделей Эйлера и Лагранжа, как правило, входят субмодели сухого и мокрого осаждения, химического превращения и других процессов. Составной частью моделей Гаусса могут быть субмодели, в частности характеризующие подъем дымового факела и оседание потока, процессы осаждения и химическое превращение.

Модели Эйлера и Лагранжа традиционно определяются как описывающие процессы в фиксированной системе координат или в потоке жидкости соответственно (4). В этом смысле, например, модели Гаусса и большинство полуэмпирических моделей можно отнести к подгруппам моделей Эйлера. Однако, применение этих терминов в проблеме загрязнения атмосферного воздуха традиционно следует вышеприведенным определениям.

Указанный выше перечень моделей относится к моделям загрязнения воздушной среды. Модели рассеивания описывают процессы турбулентной диффузии в атмосфере, и сюда из представленной классификации можно отнести модели категории 1-3 и отчасти категории 4. Модели рассеивания могут быть классифицированы по масштабам атмосферных процессов, а именно:

- макромасштаб (масштаб протяженности ≥ 1000 км), при котором атмосферный поток ассоциируется с синоптическими явлениями;
- мезомасштаб ($1 \text{ км} < \text{масштаб протяженности} < 1000 \text{ км}$), при котором воздушный поток отчасти находится в зависимости от синоптических явлений и отчасти от гидродинамических эффектов (например, от шероховатости подстилающей поверхности и препятствий) и от неоднородностей энергетического баланса; и
- микромасштаб (масштаб протяженности ≤ 1 км), при котором воздушный поток в основном зависит от характеристик поверхности.

Как предлагают Moussiopoulos et al. (2), классификацию моделей рассеивания можно представить и иным образом, разделив их на локальные (при масштабе времени менее нескольких минут), от локальных до региональных (несколько часов), от региональных до континентальных (несколько дней) и от континентальных до глобальных (недели или более). В разделах, приведенных ниже, дается краткая информация о моделях различного класса.

Модели рассеивания для различного пространственного масштаба

В связи с моделями рассеивания применительно к локальному, региональному и континентальному масштабам в настоящем обзоре рассмотрен следующий круг вопросов:

- основные цели в области моделирования;
- физические и химические требования, предъявляемые к моделям; и
- характеристика наиболее распространенных моделей.

Модели загрязнения атмосферного воздуха также разрабатывались и для глобального масштаба; при этом предпринимались попытки описать изменения в физических параметрах и химического состава глобальной атмосферы.

Модели рассеивания в локальном масштабе. Основная цель моделей рассеивания в локальном масштабе состоит в получении количественных характеристик концентраций загрязнителей, способных оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье населения. В отдельных случаях также ставятся задачи, связанные с осаждением загрязнителей и влиянием атмосферных примесей на растительность. Модели, посвященные анализу рассеивания вредных для здоровья материалов в результате химических аварий, можно также в основном отнести к моделям локального масштаба. Большинство моделей локального масштаба разрабатывалось в целях нормативно-правового регулирования.

Модели, в основу которых положены гауссовские распределения концентраций, уже давно широко используются в целях регламентации. Принцип построения этих моделей был традиционно связан с классификацией устойчивости Пасквилла-Гиффорда, причем параметризация рассеивания носила крайне прямолинейный характер. Тем не менее, такие модели позволяли учитывать структуру атмосферного пограничного слоя и различные эффекты локального масштаба, в том числе такие, как влияние зданий и препятствий, явления стекания потока и подъем дымового факела.

Последнее поколение моделей локального масштаба используется в сочетании с моделями метеорологических препроцессоров, основанными на теориях подобия для атмосферного пограничного слоя. В данном случае процессы дисперсии описываются в терминах параметров атмосферного пограничного слоя и его высоты. Некоторые из этих моделей предназначены для обработки данных химического превращения и осаждения, подъема дымового факела, явлений стекания потока и дисперсии твердых частиц.

При построении модели локального масштаба также ставилась специальная задача по описанию рассеивания примесей, выбрасываемых автомобильным транспортом. Модели такого рода включают в себя модели рассеивания для дорог, модели для уличного каньона и полуэмпирические модели, которые позволяют учитывать влияние зданий различной конфигурации. Для моделирования воздушных потоков в условиях городской окружающей среды также использовались сложные гидродинамические трехмерные модели.

Модели рассеивания в региональном масштабе. Модели рассеивания в региональном масштабе нацелены на определение количественных характеристик концентрации загрязнителей и параметров осаждения подкисляющих и обуславливающих эвтрофикацию соединений, например, соединений серы и азота, и таких фотооксидантов, как озон. Региональные модели рассеивания примесей также позволяют рассматривать тяжелые металлы, стойкие органические соединения, взвешенные частицы, радиоактивные и химически опасные материалы и случаи повышенного загрязнения атмосферного воздуха. Такие модели разрабатывались для формулирования политики или же в научных целях.

При построении мезомасштабных моделей рассеивания последние должны включать в себя параметризацию атмосферного пограничного слоя и учитывать соответствующие мезомасштабные погодные условия, в частности влияние орографических особенностей и неоднородностей энергетического баланса поверхности. Кроме того, модели этого типа должны учитывать процессы сухого и мокрого осаждения и физико-химического превращения.

В состав мезомасштабных моделей загрязнения атмосферного воздуха, как правило, входит модель ветра (которая описывает процессы переноса воздушных масс) и модель диффузии, поэтому иногда такие модели называют моделями адвекции-диффузии. Модель ветра может быть

диагностической или прогностической; к примеру, такая модель может быть составной частью (гидродинамической) модели прогноза погоды. При этом находят свое применение системы моделирования как по Эйлеру, так и по Лагранжу.

В некоторых региональных моделях рассеивания используются результаты прогона траекторных метеорологических моделей. В системы моделирования данного типа входят крупные блоки параметризации процессов сухого и мокрого осаждения и химических превращений (фотохимические диффузионные модели).

Модели рассеивания в континентальном масштабе. Цели, стоящие перед моделями рассеивания в континентальном масштабе, частично совпадают с назначением аналогичных моделей регионального масштаба. Большинство континентальных моделей (которые нередко называются моделями дальнего переноса) ориентированы на получение количественной оценки концентраций примесей и осаждения подкисляющих и обуславливающих эвтрофикацию соединений, фотооксидантов и радиоактивных материалов. Модели такого рода разрабатывались для формулирования политики или же в научных целях.

В составе моделей дисперсии в континентальном масштабе должны быть блок параметризации атмосферного пограничного слоя и учтены соответствующие синоптические погодные условия. Для получения оценок дальнего переноса очень важно принимать во внимание адвекцию (поле ветра) и условия атмосферной диффузии, облачность и количество осадков, характеристики поверхности и физико-химические превращения. Например, процессы сухого и мокрого осаждения зависят от погодных условий, химических превращений и структуры поверхности.

Как правило, период, для которого проводится оценка подкисляющих нагрузок или фотохимической экспозиции составляет многие месяцы или годы. Поэтому прогон моделей, ориентированных на формулирование политики, равно как и обработка крупных баз данных по

метеорологическим условиям и выбросам, осуществляются для длительных периодов времени. Естественно, что такие требования накладывают определенные ограничения на степень сложности моделей. Модели, ориентированные на научные исследования, могут включать в себя весьма разветвленные субмодели, в частности касающиеся описания процессов фотохимических превращений или сухого и мокрого осаждения. Степень сложности структуры модели также зависит от того, строится ли она в соответствии с Эйлеровым или Лагранжевым подходом.

Приложение 3.2. Рецепторные модели *Juhani Ruuskanen*

Введение

Разработка управленческих стратегий повышения качества атмосферного воздуха требует ясного понимания соотношения между источниками и их воздействием (концентрациями) в выбранных рецепторных точках. Для этого требуется идентифицировать источники поступления в атмосферу газообразных загрязняющих веществ, получить количественную оценку выбросов и представление о рассеивании загрязнителей в атмосферном воздухе, а также о процессах физико-химического превращения, происходящих при дисперсии. Различные методики рецепторного моделирования, позволяющие определить воздействие данного источника загрязнения в данной рецепторной точке, могут составлять один из потенциально эффективных компонентов общих стратегий управления качеством атмосферного воздуха.

Поскольку атмосферные примеси представляют собой чрезвычайно сложную систему, для идентификации источников загрязнения и определения доли этих источников в величине концентрации определенных загрязняющих веществ в рецепторной точке должны быть разработаны соответствующие математические или статистические методы. Для прогнозирования концентраций атмосферных

примесей в рецепторной точке могут применяться модели, ориентированные на источники загрязнения, использующие диффузионные модели, в состав которых входят кадастры выбросов и метеорологические данные. Ориентированные на рецептор (или иначе – рецепторные) модели представляют собой методики, которые нацелены на изучение свойств окружающей среды в некоторой точке, называемой рецепторной точкой, в отличие от моделей, которые ориентированы на источники загрязнения и основная цель которых заключается в анализе переноса загрязнителей, их разбавления и процессов превращения последних в результате миграции от источника загрязнения к рецептору, или точке отбора проба. Рецепторные модели предназначены для оценки относительного вклада конкретных источников загрязнения в рецепторной точке и использовать при этом процедуры статистических расчетов на основании данных, собранных в этих точках.

При рецепторном моделировании используется противоположная исходная позиция, нежели при моделировании рассеивания примесей. Основные источники загрязняющих веществ идентифицируются по химическому составу загрязнителей, наблюдаемому в точке размещения поста отбора проб, а также по химическому составу выбросов возможных источников. Все рецепторные модели базируются на предположении о сохранении массы и использовании метода анализа баланса масс (примесей). В соответствии с наиболее распространенным подходом к получению необходимого набора данных для рецепторного моделирования обеспечивается сбор некоторого количества проб и проведение их анализа на содержание большого количества химических компонентов, таких, как органические элементы или газообразные соединения. В большинстве известных к настоящему времени исследований в области рецепторного моделирования использовалась информация о микроэлементах, как трассерах, однако одних только элементов-трассеров не всегда бывает достаточно, чтобы связать их происхождение с конкретными источниками выбросов. Например, по мере отказа от использования этилированных видов моторного топлива свинец и бром как

маркеры постепенно исчезли из состава загрязнителей от эксплуатации автомобильного транспорта. Это значит, что рецепторные должны включать в себя более широкий спектр компонентов, а не только отдельные элементы.

При рецепторном моделировании успешно использовались несколько подходов (5–7). Методы такого плана традиционно были поделены на две основные группы – методы химического баланса масс и многофакторный анализ. Согласно методам химического баланса масс, используются данные о химическом составе частиц, регистрируемом как на посту измерения, так и в выбросах от потенциальных источников загрязнения, что, в сущности, позволяет рассчитать в пробе атмосферного воздуха долевые вклады загрязняющих веществ от различных известных источников загрязнения. В таких многофакторных методах, как факторный анализ направленной трансформации и анализ главного компонента с множественной линейной регрессией, обычно используются только данные о химическом составе частиц атмосферных примесей, чтобы установить количество категорий источников загрязнения, химический состав их выбросов и относительный вклад этих источников в измеренные концентрации загрязнителей.

Вместе с тем, такие методы предполагают отбор множества проб атмосферного воздуха, поскольку определение относительного вклад источников загрязнения базируется на статистических методах. Использование нейронной сети в сочетании с минимальным деревом связей представляется самой современной и перспективной методикой. Прикладные применения нейронных сетей все еще находятся в стадии развития.

Отбор и анализ проб при рецепторном моделировании

В основу большинства рецепторных моделей положено использование данных о составе твердых частиц, который определяется путем отбора проб на содержание $ВЧ_{10}$, $ВЧ_{2,5}$ или (в ранних приложениях) суммарного количества взвешенных твердых частиц с тем, чтобы по пропорциям

элементного состава в пробе воздуха и в выбросах потенциальных источников установить долевым вклад каждого источника в суммарной измеренной пробе. Подходящий вариант сочетания воздушного пробоотборника, фильтрующего материала и аналитического метода зависит от специфики его применения на практике и источников загрязнения среды на конкретной территории. Выбор воздушных пробоотборников должен осуществляться таким образом, чтобы обеспечить сбор массы взвешенных частиц, достаточной для их дальнейшего анализа. Кроме того, фильтрующие материалы должны быть совместимыми с требованиями, предъявляемыми как к воздушному пробоотборнику, так и к аналитическому методу. Выбор того или иного метода анализа химических элементов зависит от конкретного перечня элементов, подлежащих анализу, отобранной массы взвешенных частиц, требуемой точности и стоимости проведения анализа. Подходящие аналитические методы включают в себя рентгенофлюоресценцию, масс-спектрометрию с использованием индуктивно связанной плазмы, рентгеновское излучение, индуцированное испусканием частиц, инструментальный анализ химических элементов путем активации нейтронов и ионную хроматографию для определения ионов сульфатов и нитратов.

Во многих случаях рецепторное моделирование, в основе которого лежит обработка данных только по классу неорганических веществ, оказывается недостаточным для идентификации всех источников загрязнения. Вследствие регламентации выбросов, когда были введены ограничения на использование таких топливных присадок, как свинец и бром в составе моторных видов топлива, возникла необходимость в других маркерах. В связи с этим особого внимания заслуживают органические соединения. Поскольку органические соединения составляют основную фракцию газообразных выбросов и выбросов твердых частиц⁵², многие из них являются характерными для определенных типов источников загрязнения. Множество органических

⁵² См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

соединений также важны ввиду влияния на санитарное состояние окружающей среды или на изменение климата. Процентный вклад источников загрязнения среды такими соединениями может быть определен напрямую, не полагаясь при этом на суррогатные трассовые элементы. Для органических соединений требуются собственные системы отбора проб и проведения анализов, которые во многих случаях оказываются более сложными по сравнению с системами, анализирующими отдельные химические элементы. Применение органических соединений при рецепторном моделировании заведомо означает, что соединения-маркеры, попадая в атмосферу, не обладают реактивностью. Такие углеводородные соединения, как этан, ацетилен, пропан, *i*-бутан, *n*-бутан, *i*-пентан и *n*-пентан, используются в виде трассеров для автомобильных выхлопных газов, нефти и ее паров и природного газа; гексан, толуол и изомеры ксилола служат для установления факта присутствия растворителей в составе атмосферных примесей. Весьма подходящими для выявления загрязнений, связанных со сжиганием древесины в быту, выбросами от автомобильных двигателей с электрическим зажиганием и выбросами от дизельных двигателей, оказываются полициклические ароматические углеводороды. Использование органических соединений в основном базируется на рецепторной модели сохранения химического баланса масс.

Модель химического баланса масс

За последние десятилетия особенно широко использовались рецепторные модели химического баланса масс на основе спектра химических элементов для определения доли загрязнений, связанных с автомобильным транспортом и стационарными источниками. В случае стандартной модели химического баланса масс в целях выявления загрязняющих веществ и получения количественной оценки процентного распределения вкладов от разных источников загрязнения находят свое применение физико-химические характеристики газов и твердых частиц, измеряемых как в выбросах источника загрязнения, так и в рецепторной точке (точке отбора проб). Модели химического баланса масс позволяют идентифицировать источники загрязнения путем

сопоставления распределения химических веществ в пробе воздуха, называемого часто “отпечатками пальцев”, распределением этих же химических веществ в выбросах рассматриваемых потенциальных источников загрязнения. Согласно условиям построения рецепторной модели, делается предположение о сохранении массы между источником загрязнения и рецептором⁵³, а общая масса отдельно взятого химического элемента определяется как линейная сумма масс отдельных химических веществ, которые достигают точки рецептора от каждого источника загрязнения. Физико-химические характеристики измеряемых загрязнителей должны быть такими, чтобы они присутствовали в разных пропорциях в составе выбросов от различных источников, но чтобы соотношение оставалось относительно неизменным по каждому типу источников загрязнения и чтобы расхождениями в этих соотношениях между источниками выбросов (каждого типа) и рецептором можно было бы пренебречь или провести их оценку. Кроме того, состав (т.е. количественное соотношение между компонентами) выбросов от источников должен оставаться неизменным в течение всего периода отбора проб окружающей среды и непосредственно в источнике загрязнения. Отобранные химические вещества не должны вступать в реакцию между собой, т.е. они должны быть линейно аддитивны. Следует уточнить все источники, выбросы от которых могут оказать потенциальное воздействие на рецептор, а составы самих выбросов должны быть линейно независимыми друг от друга. В связи с вышеизложенным подразумевается, что при моделировании химического баланса масс одни лишь инертные классы веществ подходят для роли трассеров. Это затрудняет использование органических соединений, так как они вступают в химические реакции или распадаются при переносе с атмосферным воздухом, что неизбежно искажает их первичное состояние.

Рассчитанные вклады источников, полученные посредством моделирования химического баланса масс, могут оказаться не обязательно корректными ввиду

⁵³ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

некоторых вариаций, которые зависят от режима функционирования источников загрязнения и параметров погодных условий. Удельные вклады источников за разные периоды времени подлежит проверке, чтобы можно было убедиться, имеют или не имеют смысла эти рассчитанные вклады. К примеру, зимой вклад в загрязнение при сжигании древесины в быту должен быть выше, чем летом, а отобранные с наветренной от источника стороны пробы должны показывать более низкие концентрации, чем пробы, взятые с подветренной стороны. Аналогичным образом, в часы пик удельный вклад загрязнений от движения автомобильного транспорта должен быть больше по сравнению с пробами, отобранными в периоды спада интенсивности транспортного потока.

Модель химического баланса масс может также использоваться в сочетании с другими моделями, ориентированными на источник, и рецепторными моделями. Сочетанное применение моделей позволяет повысить точность распределения относительного вклада загрязняющих веществ с пробе (в рецепторной точке) между отдельными источниками загрязнения, а также проверить результаты, получаемые каждой системой моделирования в отдельности.

Многофакторные рецепторные модели

Для построения модели химического баланса масс требуется, чтобы заранее были известны составы загрязняющих веществ, поступающих от всех источников, однако во многих случаях такое условие невыполнимо из-за сложности определения состава выбросов и отбора необходимых проб, или же в том случае, когда приходится иметь дело с площадным источником, таким, как автотранспортное движение. Более того, в составе выбросов от источников загрязнения нередко отсутствуют те химические вещества, которые обнаруживаются в отобранных пробах. Проблемы такого рода поддаются решению посредством многофакторных моделей, которые при отсутствии какой-либо информации об источнике загрязнения оказываются единственным спасительным средством.

Почти все многофакторные рецепторные модели в первую очередь проводят анализ главных компонент для имеющегося набора данных, которые обычно проходят нормировку в той или иной форме. В дальнейшем выявленные таким образом главные (основные факторы) компоненты подлежат преобразованию. Далее они обрабатываются как факторы в факторном анализе. Главная цель анализа главных компонент состоит в сокращении числа переменных в наборе данных, для формирования новых, скрытых до того переменных. Анализ главных компонент таким образом используется либо в качестве методического инструмента, позволяющего сократить размерность набора данных высокой коллинеарности, либо как средство для описания качественной характеристики взаимосвязей между переменными. Главные факторы, полученные с помощью анализа главных компонент, представляют различные источники загрязнения и отражают возможные трассеры по каждому из них.

Факторный анализ наряду с последующей множественной регрессией позволяет провести оценку относительных вкладов источников различных категорий в составе проб, отобранных в рецепторной точке. В целях идентификации категории источников загрязнения и определения трассеров для каждого из них начальный факторный анализ проводится в сочетании с Варимакс-ротацией в пространстве факторов. Затем для соотнесения распределения веществ в отобранных пробах с различными источниками загрязнения, применительно к трассерам проводится анализ множественной линейной регрессии для этих проб. Факторный анализ с последующим применением множественной линейной регрессии подходит для тех случаев, когда источники загрязнения известны, однако сведения о групповом химическом составе загрязнителей в выбросах отсутствуют или недостаточно полно представлены. Согласно данному методу, необходимо использовать трассерные элементы для каждой категории источников, которые высоко коррелированы с соответствующей категорией источников загрязнения и статистически независимы от других трассеров.

Многофакторные методы связаны с проведением большого объема наблюдений, и чем больше таких наблюдений, тем лучше. Если количество наблюдений оказывается незначительным, то полученные с помощью многофакторной модели результаты не будут надежными. Требуемое количество наблюдений определяется опытным путем, и опыт показывает, что вполне приемлемым количеством является 100 проб, а 30 – явно недостаточно. Простое эмпирическое правило можно получить путем анализа степеней свободы набора данных; отсюда следует формула $N - 1 - (V - 1)/2$, где N и V отражают число наблюдений и переменных соответственно. Опыт показал, что по данной формуле итоговая величина должны быть больше 30, а желательно 60 или более.

Методики многофакторного рецепторного моделирования можно применять в отношении данных о концентрациях загрязнителей в окружающей среде, а также скрининга таких данных для определения возможной структуры выбросов источников загрязнения, на основании которой можно получить детальное распределение их относительных вкладов, не используя для этого каких-либо исходных данных о конкретном химическом составе выбросов.

Методики нейронного картирования

В последнее время при рецепторном моделировании стали использоваться методики нейронного картирования (8–10). Существующие для этой цели надлежащие методики основываются на самоорганизующейся искусственной нейронной сети Кохонена с использованием метода проецирования многофакторных данных об атмосферных примесях. Согласно предложенной концептуальной схеме, рецептор находится под воздействием нескольких источников атмосферных загрязняющих веществ, которые могут давать вклад в различные многофакторные составляющие компонентного состава примесей в рецепторной точке. Основа для распознавания этих многофакторных характеристик формируется путем обучения самоорганизующейся искусственной нейронной сети на измеренных данных. При этом проводится оценка

воздействия на рецептор отдельных источников загрязнения. Такая оценка аналогична результатам, которые возможно получить в итоге проведения иерархического кластерного анализа, нелинейного картирования распределения загрязнителей или построения графиков распределения количественных показателей по основным факторам. Таким образом, самоорганизующаяся искусственная нейронная сеть может быть составлена как комбинация кластерного и факторного анализа. Эта методика все еще находится в стадии развития, но несмотря на это она представляется полезным инструментом при рецепторном моделировании, хотя для этого и требуется специальное программное обеспечение.

Выбор рецепторных моделей

Несколько соображений, связанных с характеристиками источников выброса атмосферных примесей, влияют на выбор соответствующей рецепторной модели, особенно наличие данных о размере частиц выбросов, химическое сходство и устойчивость параметров источников загрязнения, необходимости идентификации индивидуальных источников и конкретного временного масштаба. Из всех рецепторных моделей самой совершенной является методика моделирования химического баланса масс; прочие методы, в частности факторный анализ с последующей множественной линейной регрессией и методики нейронного картирования, находят свое применение в тех случаях, когда данные о выбросах от источников загрязнения не являются адекватными.

Приложение 3.3. Статистические модели качества атмосферного воздуха

John Stedman

Введение

Существует большое разнообразие статистических моделей качества атмосферного воздуха. В данном контексте термин «статистическая модель» используется для характеристики моделей, в которых явным образом не учитываются

рассеивание и химические превращения в атмосфере загрязнителей атмосферного воздуха. Статистические модели могут быть нескольких типов, включая модели экспресс-оценки и эмпирические модели.

Модели экспресс-оценки в основном включают в себя уравнения, справочные таблицы и графики и представляют собой упрощенный, часто некомпьютеризованный метод моделирования качества атмосферного воздуха. Модели такого типа нередко разработаны посредством обобщения ключевых результатов детального компьютерного моделирования рассеивания атмосферных примесей.

Эмпирические модели качества атмосферного воздуха не предназначены для описания причин рассеивания или превращения атмосферных загрязняющих веществ в воздушной среде. Данная группа моделей базируется на эмпирических связях между измеренными характеристиками качества атмосферного воздуха и параметрами, относящимися к погодным условиям и выбросам. Такие связи нередко получают с помощью регрессионного анализа или методов искусственной нейронной сети.

Краткое описание статистических моделей качества атмосферного воздуха приведено в данном разделе в виде трех конкретных примеров моделей совершенно различных типов.

Модели экспресс-оценки

Серия моделей экспресс-оценки представлена в отдельном обстоятельном документе ВОЗ (11). Эти модели используются совместно с методиками инвентаризации выбросов и находят свое применение при изучении ситуаций следующего плана:

- воздействие выбросов от индивидуальных точечных источников загрязнения на краткосрочное качество атмосферного воздуха в зоне критического рецептора, т.е. того участка, в пределах которого выбросы оказывают наиболее серьезное воздействие;

- воздействие выбросов от индивидуальных точечных источников загрязнения на рецептор на известном расстоянии от источника загрязнения;
- воздействие выбросов от индивидуальных точечных источников загрязнения на долговременный средний уровень качества атмосферного воздуха в непосредственной близости; и
- воздействие выбросов от площадных источников (например, выбросы от автотранспортного движения и отопительных систем), на долговременный средний уровень качества атмосферного воздуха на территории города.

Воздействие выбросов от точечных источников загрязнения на краткосрочное качество атмосферного воздуха можно смоделировать, предположив самые неблагоприятные возможные погодные условия, за счет чего отпадает необходимость в местной метеорологической информации. При моделировании долгосрочного качества атмосферного воздуха обычно требуется локальная метеорологическая информация, в частности с частотными характеристиками направления, скорости ветра и условий устойчивости.

Эти модели упрощают задачу моделирования воздействия различных источников загрязнения на качество атмосферного воздуха, если исходить из предположения о том, что воздействие различных источников можно рассматривать отдельно. При построении таких моделей допускается, что дымовые трубы, как правило, удалены друг от друга на достаточное расстояние, и поэтому участки максимального воздействия индивидуальных источников загрязнения не перекрываются. Такое допущение вполне резонно, за исключением очень крупных источников выбросов, и позволяет осуществлять оценку краткосрочного воздействия источников независимо. Кроме того, погодные условия, обуславливающие максимальное воздействие высоких точечных источников загрязнения, отличаются от тех условий, которые определяют максимальное воздействие низких площадных источников.

Если в результате прогона модели экспресс-оценки такого типа удастся выявить возможную проблему, связанную с

качеством атмосферного воздуха, то рекомендуется осуществить более полное моделирование или мониторинг. При оценке качества атмосферного воздуха в ситуациях, когда имеет место фотохимическое превращение загрязняющих веществ, обычно возникает необходимость в применении более полной модели качества атмосферного воздуха, и в таком случае методики экспресс-оценки оказываются неприемлемыми.

Эмпирические модели: прогнозирование загрязненности атмосферного воздуха

Статистические модели нередко находят свое применение в рамках национальных систем прогнозирования качества атмосферного воздуха. Конкретным примером модели данного типа служит модель, разработанная в Нидерландах Национальным институтом общественного здравоохранения и окружающей среды (12). Настоящая модель, а также модель причинной (обратной) траектории и мнение эксперта являются элементом службы ежедневного прогнозирования концентраций озона для населения.

Компьютерная модель такого типа, как правило, скоростная и ее эксплуатация не связана с большими расходами, однако требует большого объема ретроспективных данных о результатах измерений качества атмосферного воздуха, а также метеорологических данных, чтобы построить модель. С помощью этой модели проводятся расчеты ежедневной максимальной концентрации озона на ближайшие 1–3 дня для всех пунктов наблюдений площадках в рамках национальной сети мониторинга озона в Нидерландах. Входные данные для такой модели включают в себя максимальные концентрации озона, зафиксированные станциями мониторинга за предшествующий день, ретроспективные статистические данные, среднее по Нидерландам значение максимальной температуры за прошедший день и его прогноз.

Такая статистическая модель была также разработана в Российской Федерации (13) и введена в практику в целом ряде городов страны. Регулярное использование этой модели является ключевым элементом ежедневного обобщенного прогноза относительного повышения или снижения уровней

концентраций атмосферных примесей на последующий день. Такой прогноз позволяет получить исходные данные для краткосрочного контроля за выбросами в 250 городах и уменьшить потенциальное повышение уровня экспозиции.

Необходимость в ретроспективных данных является главным ограничением моделей данного типа. Такие модели настраиваются по местной ретроспективной информации, которая отсутствует, если соответствующие измерения не проводились.

Эмпирические модели: картографирование качества атмосферного воздуха

Эмпирические статистические модели использовались в Соединенном Королевстве для составления карт распределения оценки концентраций атмосферных примесей на основании данных измерений в сочетании с информацией о выбросах (14).

Измеренные среднегодовые концентрации атмосферных примесей можно условно разделить на две части. Первая часть – загрязнение от относительно удаленных очень крупных источников загрязнения, таких, как электростанции или большие конурбации (Конурбация – совокупность двух или большего числа городов, образующих район сплошной городской застройки). Результаты измерений, которые зарегистрированы станциями мониторинга на значительном расстоянии от локальных источников загрязнения, расположенными, в том числе, в сельских районах, достаточно хорошо выявляют пространственные вариации концентраций, обусловленных дальними источниками. Вторая часть включает в себя вклад в загрязнение вследствие более локальных выбросов. Оценки выбросов на участке площадью 25 км², с центром в точке размещения поста наблюдения за фоновым уровнем загрязнения, воспроизводят картину о наиболее устойчивых связях между выбросами и качеством атмосферного воздуха.

Для ситуаций, где были в наличии данные мониторинга, были выполнены расчеты разности между концентрациями атмосферных примесей, зарегистрированными автоматическими станциями мониторинга на городском фоновом

уровне (т.е. не вдоль дорог или поблизости от промышленных предприятий), и полями концентраций в сельских районах с подветренной от города стороны. Далее был проведен регрессионный анализ для определения коэффициента k , отражающего соотношение между упомянутой разницей и выбросами в непосредственной близости от станций мониторинга:

разница = $k \times$ газообразные выбросы

Затем полученный коэффициент используется для расчетов, связанных с картированием среднегодовых концентраций на основании комбинации данных картирования для сельской местности с оценочными данными инвентаризации выбросов. Таким образом, данные автоматического мониторинга используются в целях калибровки соотношения качества атмосферного воздуха и данными о выбросах. Наряду с этим, вместо инвентаризации газообразных выбросов в качестве суррогатов допускается применение количественных данных об уровнях активности, например, об интенсивности автотранспортного потока. В дополнение к ранее предпринятым усилиям, нацеленным на получение оценочных данных о концентрациях NO_x и NO_2 на территории Соединенного Королевства, были проведены расчеты для составления карт с координатной сеткой в 1 км, отражающих распределение набора веществ, включая SO_2 , VCH_{10} , бензол, CO , свинец и O_3 . Впоследствии такие карты использовались для оценки экспозиции населения в целях анализа эффектов на здоровье и планирования работы сети мониторинга.

Библиография

1. HANNA, S. & DRIVAS, P.J. *Guidelines for use of vapor cloud dispersion models*. New York, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, 1987.
2. MOUSSIOPOULOS, N. ET AL. *Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models* (<http://www.eea.eu.int/Document/Topicrep/default.htm#top>). Copenhagen, European Environment Agency, 1996 (Topic Report No. 19 (Air Quality)) (accessed 12 August 1999).

3. ZANNETTI, P. Numerical simulation modelling of air pollution: an overview. In: ZANNETTI, P. ET AL., ED. *Air pollution*. Southampton, Computational Mechanics Publications, 1993, pp. 3–14.
4. SEINFELD, J.H. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. New York, John Wiley and Sons, 1986.
5. HENRY, R.C. ET AL. Review of receptor model fundamentals. *Atmospheric environment*, **18**: 1507–1515 (1984).
6. HENRY, R.C. & LEWIS, C.W. Current factor analysis models are ill-posed. *Atmospheric environment*, **21**: 1815–1820 (1987).
7. ХОПКЕ, П.К., ED. *Receptor modelling in air quality management*. Amsterdam, Elsevier, 1991.
8. RUUSKANEN, J. ET AL. Urban airborne pollutant analysis by a neural network. In: KULMALA, M. & WAGNER, P., ED. *Proceedings of the International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols, Helsinki, 26–30 August 1996*. London, Elsevier Science, 1996, pp. 639–642.
9. WIENKE, D. & HOPKE, P.K. Visual neural mapping technique for locating fine airborne particles sources. *Environmental science and technology*, **28**: 1015–1022 (1994).
10. WIENKE, D. ET AL. Multiple site receptor modelling with minimal spanning tree combined with neural network. *Environmental science and technology*, **28**: 1023–1030 (1994).
11. ECONOMOPOULOS, A. P. *Assessment of sources of air, water, and land pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulating environmental control strategies*. Part 1. *Rapid inventory techniques in environmental pollution*. Geneva, World Health Organization, 1993 (document WHO/PEP/GETNET/93.1-A).
12. NOORDIJK, H. The national smog warning system in the Netherlands: a combination of measuring and modelling. In: BALDASANO, J.M. ET AL., ED. *Air pollution 2. Volume 2. Pollution control and monitoring*. Southampton, Computational Mechanics Publications, 1994. pp. 35–42.
13. BERLYAND, M.E. *Prediction and regulation of air pollution*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1991.
14. STEDMAN, J.R. ET AL. New high resolution maps of estimated background ambient NO_x and NO₂ concentrations in the UK. *Atmospheric environment*. **31**: 3591–3602 (1997).

Приложение 4

Модели персональной ЭКСПОЗИЦИИ

Halûk Özkaynak

За последнее десятилетие вопросам моделирования экспозиции организма человека по экологическим вредностям уделялось большое внимание. В итоге проведения многих натурных исследований по оценке экспозиции человека, в частности исследований Агентства США по охране окружающей среды в рамках методологии оценки суммарной экспозиции (TEAM)⁵⁴, была подготовлена солидная база для построения моделей экспозиции человека по СО, летучим органическим соединениям (ЛОС), пестицидам и ВЧ₁₀. Результаты таких натурных исследований позволили гораздо глубже понять вариации концентраций загрязнителей внутри помещений, на открытом воздухе и в случае персональной экспозиции. Вместе с тем, измерения концентраций загрязнителей, как правило, поддаются обобщению и технической интерпретации с точки зрения их воздействующей дозы на организм человека с помощью моделей экспозиции.

Модели экспозиции при наличии данных адекватных наблюдений могут использоваться для получения заключений относительно экспозиции по загрязнителям и других индексов влияния химических веществ на целевые группы населения. С помощью моделей экспозиции создается аналитическая

⁵⁴ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

структура для организации данных разного типа, полученных в результате проведения несопоставимых исследований, с целью обеспечить более полное использование существующей информации о конкретном загрязнителе, чем это было бы возможным посредством прямых методов исследования. Эти результаты могут использоваться для оценки определяющих факторов величины экспозиции и доз загрязнителя в разных точках при изменяющемся распределении населения по территории, причем такую оценку невозможно получить прямыми измерениями из-за ограничений в методах мониторинга или недостатка ресурсов. Для того, чтобы получить оценку степени неопределенности прогнозирования индексов воздействия загрязнителей (например, экспозиции, дозы или исхода заболевания) и выявить компоненты, влияющие на правильность и точность прогноза путем сопоставления спрогнозированных и реально измеренных в натуральных условиях величин, модели такого рода должны формально отражать факторы неопределенности, типичные для различных компонентов оценки санитарного состояния окружающей среды. Выверенные таким образом модели в дальнейшем могут использоваться для анализа эффективности различных стратегий управления факторами риска для здоровья населения, ассоциируемых с воздействием различных доз экологических вредностей.

Вместе с тем, большинство моделей экспозиции, в основу которых положены данные, полученные в итоге проведения вышеназванных натуральных исследований, было ориентировано на поступление химических веществ в организм через органы дыхания и на анализ двух основных микросред – внутри домашних помещений и на открытом воздухе. Следовательно, правильность и точность моделей экспозиции в условиях микросреды были в основном несколько ограничены наличием исходных данных, а не степенью сложности методик, используемых для прогнозирования персональной экспозиции. Совершенствование рабочих характеристик нынешних моделей экспозиции возможно за счет получения дополнительных результатов мониторинга и данных распределения видов деятельности по времени.

Для прогнозирования экспозиции по газам и твердым частицам были разработаны всевозможные физические и статистические методы моделирования (1–5). В рамках физических моделей суммарная персональная экспозиция E_i моделируется как сумма экспозиций, учтенных для различных микросред (E_j).

Прогнозирование персональной экспозиции

Ежедневная (средняя за сутки) персональная экспозиция (E_i) любого индивидуума i рассчитывается как сумма экспозиций в каждой микросреде, взвешенной в соответствии с распределением видов деятельности по времени:

$$E_i = \sum_{j=1}^m E_{ij} = \sum_{j=1}^m f_{ij} \times C_{ij}$$

где E_{ij} = экспозиция индивидуума i в микросреде j (мкг/м³), f_{ij} = доля времени, проведенного лицом i в микросреде j в течение 24-часового периода прогнозирования, C_{ij} = средняя концентрация загрязняющего вещества (мкг/м³) в микросреде j при присутствии в ней индивидуума i , а m – количество микросред, анализируемых моделью. Ключевыми предположениями в связи с таким моделированием микросреды являются следующие: концентрации загрязняющих веществ равномерно распределены в каждой из микросред; отсутствие корреляции между f_{ij} и C_{ij} ; и для характеристики суммарной персональной экспозиции достаточно учета нескольких микросред. Правильность и точность моделей экспозиции в микросреде зависят от количества различных микросред, в пределах которых необходимо отслеживать основные изменения в концентрациях, определяющих различные уровни экспозиции. Кроме того, следует также учитывать различные сценарии формирования экспозиции в этих микросредах (или субмикросредах). К таковым, к примеру, можно отнести курение или воздействие табачного дыма, содержащегося в среде внутри помещения или автомобиля; приготовление пищи в домашних условиях; обогрев

помещения с помощью нагревательных приборов, работающих на керосине; и использование товаров широкого потребления, которые выделяют ЛОС. Если в различных местах, посещаемых людьми в течение дня, не наблюдается заметного варьирования видов деятельности или концентраций рассматриваемых загрязнителей, то для моделирования персональной экспозиции учет небольшого числа сред будет вполне достаточным. Например, в модели экспозиции по $ВЧ_{2,5}$ и $ВЧ_{10}$ можно предусмотреть пять основных микросред, чтобы конкретизировать определенные места и виды деятельности, связанные с экспозицией по взвешенным частицам, а именно: на открытом воздухе; внутри помещения в домашних условиях в течение дня; внутри помещения в домашних условиях ночью; в пути; и внутри помещения вне дома.

На практике для оценки распределения загрязненности среды на открытом воздухе среди всего населения используются результаты измерений, зафиксированные станциями мониторинга атмосферного воздуха, или концентрации загрязнителей, полученные путем моделирования. Оценка концентраций загрязнителей внутри помещений по месту жительства или на работе нередко проводится с использованием полуэмпирических методов, которые учитывают проникновение наружных загрязняющих веществ внутрь помещения и вклад в уровни концентраций примесей среды внутри помещения таких внутренних источников, как курение, приготовление пищи, обогрев помещения и его уборка с помощью пылесоса. Поскольку большинство людей находится внутри помещения значительное время, измерение концентраций загрязняющих веществ или моделирование их содержания как во внутренней, так и в наружной среде представляется весьма важным.

В итоге проведения общенационального исследования бюджета времени населения США выяснилось, что дома люди проводят в среднем 87,2% своего времени, в пути – 7,2% и на открытом воздухе – 5,6% (6). Таким образом, внутренней среде принадлежит ключевая роль в персональной экспозиции, так как в течение дня основную часть своего

времени люди проводят в домашней обстановке, на работе или в школе. Наряду с анализом воздействия загрязняющих веществ, образующихся внутри помещения, важно иметь четкое представление о том, каким образом происходит снижение концентрации загрязнителей по мере их инфильтрации внутрь помещений. Загрязняющие вещества, присутствующие как во внутренней, так и во внешней среде, оказывают свое влияние на концентрации загрязнителей внутри помещения. От степени защиты, обеспечиваемой характеристиками здания, напрямую зависит результирующая экспозиция по таким внешним загрязнителям, как содержащиеся в атмосферном воздухе $ВЧ_{10}$ и $ВЧ_{2,5}$. На суммарные концентрации взвешенных частиц воздействуют такие характерные для здания параметры, как объем, кратность воздухообмена, эффективность фильтров, качество отделочных материалов, уровень деятельности, приводящей к появлению пылевой нагрузки, характер эксплуатации и периодичность уборки помещений. Несмотря на то, что кратность воздухообмена способствует разбавлению концентраций взвешенных частиц, выделяемых внутренними источниками, в том числе вследствие курения или приготовления пищи, она, тем не менее, непосредственно влияет на проникновение твердых частиц, содержащихся в атмосферном воздухе.

Концентрации содержащихся внутри помещения взвешенных частиц NO_2 и ЛОС можно смоделировать, воспользовавшись, например, методами, разработанными Özkan et al. в ходе исследования РТЕАМ (78). Полуэмпирическая физическая модель, которая учитывает вклад в уровень загрязненности внутри помещения таких факторов, как загрязнение внешней среды, табачный дым, содержащийся в окружающей среде, приготовление пищи и

$$C_{in} = \frac{P \times a}{a+k} C_{out} + \frac{N_{cig} S_{smk} + T_{cook} S_{cook}}{(a+k)Vt} + \frac{S_{other}}{(a+k)V}$$

прочие неучтенные источники загрязнения внутри помещения, имеет вид (9):

где:

C_{in} = концентрация примеси внутри помещения;

C_{out} = концентрация примеси на открытом воздухе;

P = доля просочившейся примеси (безразмерная)⁵⁵;

a = кратность воздухообмена (час⁻¹);

k = скорость разложения примеси или ее осаждения (час⁻¹);

N_{cig} = количество выкуриваемых сигарет;

V = объем здания (м³);

T_{cook} = время для приготовления пищи (часы);

t = период отбора проб (часы);

S_{smk} = расчетная интенсивность загрязнения вследствие табакокурения (мг/сигарета)

S_{cook} = расчетная интенсивность загрязнения вследствие приготовления пищи (мг/мин); и

S_{other} = интенсивность появления примеси в воздухе или расчетная интенсивность загрязнения от прочих источников внутри помещения (мг/час).

Концентрации загрязнителей внутри помещения, или персональные концентрации⁵⁶, также могут быть смоделированы на основании эмпирической зависимости, при которой персональные концентрации загрязнителей внутри помещения выражаются как функция концентраций на открытом воздухе:

$$C_{indoor} \text{ или } C_{personal} = \beta_0 + \beta_1 C_{outdoor}$$

Такой подход более пригоден для статистической оценки влияния концентраций загрязнителей на открытом воздухе на их концентрации внутри помещения или на персональную концентрацию. Руководствуясь и тем, и другим вариантом формулирования моделирования экспозиции, исследователям удалось продемонстрировать соотношение концентраций внутри помещения и снаружи по отобранной группе основных загрязнителей – ВЧ₁₀, ВЧ_{2,5}, О₃, NO₂, СО и SO₂.

⁵⁵ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

⁵⁶ См. Приложение 6 для более подробного объяснения.

По данным PTEAM и результатам физического моделирования очевидно, что в домах, где курильщики не проживают, внутри помещения и снаружи соотношение концентрации по $ВЧ_{2,5}$ и $ВЧ_{10}$ составляет примерно 60–70% и около 50% соответственно (8,10). Результаты PTEAM также указывают на то, что в персональную концентрацию по $ВЧ_{10}$ дает вклад приблизительно 60% концентраций $ВЧ_{10}$ на открытом воздухе. И все же, состав твердых частиц внутри помещения обычно отличается от состава частиц на открытом воздухе вследствие приготовления пищи внутри помещения, курения, работы пылесоса и других видов деятельности человека, связанных с образованием аэрозолей с различными физико-химическими свойствами. Поэтому при моделировании концентраций $ВЧ_{10}$ и $ВЧ_{2,5}$ внутри помещения следует проводить оценку коэффициентов выбросов взвешенных частиц от каждого типа источника в отдельности. Özkaşnak et al. (8) дают информацию обо этих параметрах, а также о типичных показателях осаждения или разложения $ВЧ_{10}$ ($0,65 \pm 0,28 \text{ ч}^{-1}$) и $ВЧ_{2,5}$ ($0,39 \pm 0,16 \text{ ч}^{-1}$).

Информация о кратности воздухообмена также необходима для прогнозирования концентраций загрязнителей внутри помещения на основании использования модели физического баланса масс. Интенсивность воздухообмена может меняться в зависимости от времени года и типа конструкции здания. В США эти параметры варьируются в диапазоне от 0,1 до 3 ч^{-1} при медиане в 1 ч^{-1} и геометрическом среднем квадратичном отклонении, равном 2.

Уровни NO_2 внутри помещения также зависят от наружных концентраций и выбросов от бытовых газовых приборов. Обычно NO_2 свободно проникает внутрь помещения из внешней среды. Примерно $60 \pm 10\%$ атмосферного NO_2 попадает внутрь помещения (11,12). Выбросы NO_2 от газовых приборов, не снабженных пилотным огнем включения, дают вклад 4–6 частей на млрд. в уровни NO_2 внутри помещения. Устаревшие модели газовых плит с постоянно горящими пилотным огнем включения дают вклад от 8 до 15 частей на млрд. в величины

концентраций NO_2 внутри помещения (12). NO_2 относится к газам со средней реакционной способностью и быстро разлагается внутри помещения в процессе химических реакций и реакций, катализируемых поверхностью. Экспериментальные данные о показателях разложения приводятся в публикациях Özkaynak et al. (13) и Nazaroff et al. (14).

Концентрации озона внутри помещения, как правило, намного ниже, чем уровни его содержания на открытом воздухе, поскольку озон представляет собой газ с высокой химической активностью. По данным обследования, проведенного в 43-х домах в южной Калифорнии (15), было установлено, что среднее отношение концентраций озона внутри помещения и снаружи в жилых домах с открытыми окнами составляет $0,7 \pm 0,2$. Однако в домах с системами кондиционирования воздуха среднее отношение концентраций внутри помещения и снаружи было весьма незначительным – 0,1. Обычно концентрации озона внутри помещения изменяются в диапазоне 10% – 30% от его концентраций на открытом воздухе. Lee et al. (15) также получили среднюю скорость разложения озона внутри помещения на уровне $2,8 \pm 1,3 \text{ ч}^{-1}$.

Концентрации ЛОС внутри помещения зачастую в несколько раз выше их концентраций на открытом воздухе (16). По данным Wallace (16), к источникам ЛОС внутри помещения относятся курение (бензол, ксилолы, этилбензол и стирол в выдыхаемом дыме), одежда после сухой химчистки (тетрахлорэтилен), освежители воздуха (лимонен), средства для домашней уборки, использование хлорированной воды (хлороформ), дезодоранты (*p*-дихлорбензол), различные типы экспозиции в производственных условиях и перекачка бензина (бензол). Тем не менее, большинство атмосферных примесей ЛОС достаточно свободно, без особых потерь проникает внутрь помещения (17). Следовательно, для некоторых ЛОС, как например, для бензола, источники которого внутри помещения весьма малочисленны (курение сигарет и пристроенные гаражи являются основными внутренними источниками бензола), их концентрации внутри

помещения хорошо коррелированы с уровнями содержания на открытом воздухе, а отношение концентраций ЛОС внутри помещения и снаружи приближается к 1. И напротив – внутри новых построек уровни ЛОС примерно в 100 раз превышают их наружные концентрации и снижаются всего лишь до 10-кратного превышения уровней на открытом воздухе по истечении 2–3 месяцев после сдачи таких помещений в эксплуатацию. Предполагается, что основными источниками высоких концентраций ЛОС в новых зданиях являются краски и связующие материалы.

И наконец, такие загрязняющие вещества, как СО и SO₂, также довольно свободно проникают внутрь помещения и не являются химически активными. Если не считать возможные газообразные выбросы от керосиновых нагревательных приборов, то SO₂ относится, как правило, к наружным загрязнителям. СО также в основном относится к наружным загрязнителям. Главными источниками поступления СО в окружающую среду являются автомобильный транспорт и сжигание моторного топлива. Вместе с тем, газовые бытовые плиты или нагревательные приборы и курение также способствуют повышению концентраций СО внутри помещения. В принципе, уровни содержания СО внутри помещения в домах с газовыми приборами для приготовления пищи несколько выше соответствующих уровней на открытом воздухе (18).

Вопросы времени осреднения для оценки экспозиции

Подходящий период осреднения для мониторинга и моделирования, равно как и минимальное количество микросред, должны определяться с учетом конкретного загрязнителя и биологического времени осреднения, используемого в исследовании. В отдельных случаях (как, например, с СО) существуют технические средства для мониторинга поминутных концентраций СО как в фиксированной точке, так и для определения персональной экспозиции. Однако, и в случае моделирования, и при оценке

эффектов на здоровье остается неясным, всегда ли необходим такой короткий период разрешения по времени. Загрязняющие вещества, обладающие известным острым эффектом на здоровье, как например СО, подлежат изучению в режиме, близком к режиму реального времени. Ввиду того, что некоторые виды деятельности и микросреды могут меняться с периодом, большим, чем одна минута, для успешного и практического имитационного моделирования экспозиции по СО предлагается задавать соответствующие временные интервалы от нескольких минут до часа. Вместе с тем, для ЛОС, взвешенных частиц и металлов, которые обычно ассоциируются с хроническими эффектами на здоровье, необходимый временной промежуток для оценки прогнозов может варьироваться в пределах от 1 часа до 24 часов. Для моделей экспозиции по этим загрязнителям в качестве исходных данных обычно принято использовать концентрации с осреднением за 24 часа или 12 часов, причем нередко это продиктовано ограничениями в проведении соответствующих измерений. С другой стороны, такие модели экспозиции, как SHAPE (для СО), THEM (для взвешенных частиц), NEM (для СО и озона) и BEADS (для бензола), для оценки персональной экспозиции или экспозиции населения выбирают разные временные интервалы. В целом, период осреднения с точки зрения анализа эффектов на здоровье диктует оптимальный период разрешения по времени, необходимый для моделирования. Такие модели, как SHAPE и NEM, являются зависящими от времени, вот почему в данном случае следует располагать данными в реальном масштабе времени (поминутными) о концентрациях загрязнителей в микросредах и с учетом распределения видов деятельности по времени (19). В отличие от этого, модель BEADS для бензола, разработанная исследователями из Гарварда (20), не зависит от времени, поскольку для моделирования экспозиции населения используются суточные или 12-часовые осредненные характеристики видов деятельности и распределения концентраций. Разница между методами, зависящими от времени и независящими от времени, имеет большое значение с точки зрения требований, предъявляемых к исходным данным; времени, необходимого для прогона модели; областей применения

модели в целом и желательной правильности точности прогнозов.

Альтернативные модели экспозиции и их применение при исследовании эффектов на здоровье

В исследованиях в области эпидемиологии окружающей среды принято использовать разные подходы к оценке экспозиции. В порядке возрастающей сложности такие подходы включают в себя:

- классификацию индивидуальной экспозиции (высокая или низкая);
- измеренные или смоделированные наружные концентрации;
- измерение внутренних и наружных концентраций;
- оценку персональной экспозиции на основании концентраций внутри помещения, на открытом воздухе и в других микросредах с использованием дневников для фиксации времени и рода деятельности;
- прямые измерения персональной экспозиции; и
- измерение выдыхаемого воздуха и других биомаркеров экспозиции.

Вполне очевидно, что при осуществлении наименее сложного подхода к классификации групп экспозиции с использованием категории в качестве переменной (например, дома, оборудованные газовыми плитами, по сравнению с домами, оборудованными электроплитами, при оценке воздействия NO_2) может возникнуть существенная систематическая ошибка классификации экспозиции (21). Тем не менее, многие современные исследования в области гигиены окружающей среды базируются на данных систем мониторинга окружающей среды или коммунальной службы эпиднадзора. Помимо учета обычной пространственной изменчивости концентраций загрязнителей во внешней среде для оценки экспозиции человека по многим загрязнителям нужна информация об источниках экспозиции и местах нахождения иных, нежели наружные, загрязнителей, которые не

охвачены мониторингом окружающей среды (в частности, взвешенных частиц, NO_2 и ЛОС). В случае таких реактивных загрязнителей, как озон, уровни загрязненности внутри помещения существенно ниже концентраций на открытом воздухе. Поскольку люди основную часть своего времени проводят внутри помещения, персональная экспозиция по озону в большей степени ассоциируется с его внутренней, а не наружной концентрацией. Поэтому в целом можно утверждать, что модели экспозиции, основанные исключительно на данных о состоянии окружающей среды, оказываются заметно менее точными по сравнению с моделями микросред, которые обеспечивают комбинированное использование результатов измерения внутренних и наружных концентраций (или прогнозов) наряду с данными о распределении видов деятельности по времени и информацией об источниках загрязнения и бытовых характеристиках. Многим исследователям удалось показать это на практике. Так например, Хие et al. (22) продемонстрировали увеличение расчетного коэффициента детерминированности R^2 (величины пригодности модели) с 0,28 до 0,74 в результате прогона данных о 2-дневной средней концентрации NO_2 через разные модели экспозиции, причем в первом случае это была концентрация NO_2 в воздухе спальни, а во втором – персональная экспозиция. Эти результаты показали, что прогностическая мощность моделей персональной экспозиции по NO_2 оказывается довольно низкой ($R^2 = 0,28$), когда нет возможности воспользоваться данными об измерении NO_2 в атмосферном воздухе снаружи или внутри помещения, если, конечно, не считать тех данных, которые известны из ответов на вопросы анкеты с перечнем характеристик жилища, например, сведений о наличии газовых приборов для приготовления пищи и систем кондиционирования воздуха. Модели экспозиции по NO_2 , в которых учтены измеренные концентрации NO_2 в атмосферном воздухе снаружи или внутри помещения наряду с ответами на анкету о характеристиках жилища, обладают более высокой прогностической мощностью ($R^2 \cong 0,6$). Вместе с тем, полная модель микросред, взвешенная по данным распределения видов деятельности по времени, обладала гораздо большей

величиной R^2 ($R^2 = 0,74$). В идеальных экспозиционных моделях должны обязательно сочетаться измерения концентраций загрязнителей на открытом воздухе и внутри помещения или результаты прогнозов, которые пропорционально отражают ту долю времени, что приходится на каждую из этих двух основных сред. Эти данные имеют большое значение для планирования исследований с помощью мониторинга и помогают глубже анализировать эффекты на здоровье.

Выводы

В заключение следует отметить, что при применении экспозиционных моделей необходимо заниматься сбором и использованием различных типов данных в качестве входных параметров моделей (например, данных об интенсивности выбросов в разные среды, о связях рода деятельности и времени, данных о рассеивании и удалении загрязняющих веществ), а также внедрять новые статистические методы, позволяющие выявлять соотношение между различными параметрами моделей, временем и видами деятельности и распределениями концентраций. Исходные данные моделирования имеют важные последствия при разработке стратегий и программ мониторинга. Более детальное пространственно-временное распределение персональной концентрации и концентрации в окружающей среде требуется чаще, чем это представляется возможным на практике. К примеру, при изучении персональной экспозиции в условиях маятниковой миграции необходимо располагать более подробной информацией о данных персонального мониторинга и мониторинга, проводимого у края тротуара. Повышение надежности моделей персональной экспозиции зависит от более высокой разрешающей способности регистраторов состояния окружающей среды. Настоятельно рекомендуется заниматься обследованием большего числа лиц и вести дневники для фиксации взаимозависимости рода деятельности и времени, а также анализировать интенсивность источников загрязнения внутри помещения в особых местах или странах, где ощущается недостаток основополагающих данных определения концентраций. И

наконец, реальный успех любых ныне разработанных или будущих экспозиционных моделей напрямую зависит от результатов тщательно спланированных натурных исследований по проверке достоверности. Экспозиционные модели останутся не более чем инструментами для интерпретации данных или нести всего лишь дополнительную информацию об установленных концентрациях до тех пор, пока не будет выполнена их надлежащая проверка. Предстоящая задача особой сложности состоит в повышении точности и моделей экспозиции, включая более широкое применение последних в таких областях, как исследования, посвященные мониторингу окружающей среды, оценка эффектов на здоровье человека и принятие регламентирующих решений.

Библиография

1. DUAN, N. Models for human exposure to air pollution. *Environment international*, **8**: 305–309 (1982).
2. OTT, W.R. Total human exposure. *Environmental science and technology* **19**: 880–886 (1985).
3. SPENGLER, J.D. & SOCZEK, M.L. Evidence for improved ambient air quality and the need for exposure research. *Environmental science and technology*, **18**: 268A–280A (1984).
4. LLOYD, P.J. (1990). Assessing total human exposure to contaminants. *Environmental science and technology*, **24**: 938–945 (1990).
5. RYAN, P.B. An overview of human exposure modelling. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, **1**: 453–473 (1991).
6. ROBINSON, J. & NELSON, W.C. *National human activity pattern survey data base*. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency, 1995.
7. ÖZKAYNAK, H. ET AL. *The Particle TEAM (PTEAM) study: analysis of data*. Vol. III. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency, 1995.
8. ÖZKAYNAK, H. ET AL. Personal exposure to airborne particles and metals: results from the Particle Team Study in Riverside, California. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, **6**: 57–78 (1996).

9. ÖZKAYNAK, H. & SPENGLER, J.D. The role of outdoor particulate matter in assessing total human exposure. *In: WILSON, R. & SPENGLER, J.D., ED. Particles in our air – concentrations and health effects.* Cambridge, MA, Harvard University Press, 1996, 63–84.
10. WALLACE, L.A. Indoor particles: a review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **46**: 98–126 (1996).
11. DRYE, E. ET AL. Development of models for predicting the distribution of indoor nitrogen dioxide concentrations. *Journal of the Air Pollution Control Association*, **39**: 1169–1177 (1989).
12. ÖZKAYNAK, H. ET AL. Errors in estimating children's exposures to NO₂ based on weeklong average indoor NO₂ measurements. *In: MORAWSKA, L. ET AL., ED. Indoor air – an integrated approach.* Oxford, Elsevier Science, 1995, pp. 43–46.
13. ÖZKAYNAK H. ET AL. Indoor air quality modelling: compartmental approach with reactive chemistry. *Environment international*, **8**: 461–471 (1982).
14. NAZAROFF, W.W. ET AL. Critique of the use of deposition velocity in modelling indoor air quality. *In: NAGDA, N.L., ED. Modelling of indoor air quality and exposure.* Washington, DC, American Society for Testing and Materials, 1993 (ASTM Publication 04-012050-17).
15. LEE, K.Y. ET AL. Ozone decay rates in residences. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **49** (10): 1238–1244 (1999).
16. WALLACE, L.A. *The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) study: summary and analysis.* Vol. 1. Washington, DC, Environmental Protection Agency, 1987 (EPA/600/6-87/002a).
17. LEWIS, C.W. Sources of air pollutants indoors: VOC and fine particulate species. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, **1**: 31–44 (1991).
18. WILSON, A.L. ET AL. *California residential indoor air quality study.* Vol. 3. *Ancillary and exploratory analysis.* Irvine, CA, Integrated Environmental Services, 1995.
19. OTT, W.R. ET AL. Validation of the simulation of human activity and pollutant exposure (SHAPE) model using paired days from the Denver, CO, carbon monoxide field study. *Atmospheric environment*, **22**: 2101–2113 (1988).
20. MACINTOSH, D.L. ET AL. A population-based exposure model for benzene. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, **5**: 375–403 (1995).

21. ÖZKAYNAK, H. ET AL. Bias due to misclassification of personal exposures in epidemiologic studies of indoor and outdoor air pollution. *Environment international*, **12**: 389–393 (1986).
22. XUE, J. ET AL. Alternative estimates of exposure to nitrogen dioxide and their implications to epidemiologic study design. *In: Proceedings of Indoor Air '93*. Helsinki, Indoor Air '93, 1993, Vol. 3, pp. 343–348.

Приложение 5

Требования ВОЗ к показателям атмосферного воздуха^a

Данные о качестве атмосферного воздуха, используемые Географической информационной системой по гигиене окружающей среды (ГИСГОС), должны отражать ситуацию по так называемым классическим атмосферным примесям, наиболее широко распространенным в Европейском регионе и представляющим риск для здоровья человека.

Если показатели выбросов служат для описания долгосрочных тенденций в странах, то предлагаемые ВОЗ показатели концентраций нацелены на экспозицию человека по атмосферным примесям. На основании этих показателей и имеющихся данных о распределении населения можно рассчитать число жителей как городских, так и сельских районов в Европе, проживающих на территориях с определенным уровнем качества атмосферного воздуха. Для этого необходимо объединить данные, получаемые с помощью моделей рассеивания и инвентаризации выбросов, чтобы определить географическое распределение атмосферных примесей на территориях, представляющих интерес, а также удельный вклад разных источников загрязнения.

^a Выдержки из “Health related air quality indicators and their application in health impact assessment in HEGIS: report on a WHO consultation” [Связанные со здоровьем показатели качества атмосферного воздуха и их использование в рамках ГИСГОС в целях оценки воздействия на здоровье человека: отчет о консультативном совещании ВОЗ], Sosnowiec, Poland, 21–23 November 1995 (1).

В итоге предлагается следующий принцип: для определенного контингента населения использовать один усредненный показатель за конкретный период времени.

Типичные концентрации загрязнителей в окружающем воздухе, полученные сетью мониторинга, не всегда с необходимостью отражают экспозицию человека, которая может варьироваться в широких пределах в зависимости от профессии, местонахождения жилища и индивидуальной активности. Поэтому, станции мониторинга, обеспечивающие получение данных, которые могут наиболее точно отражать уровень экспозиции наблюдаемой части населения, будут отобраны на основании экспертного заключения о местных условиях и пространственных параметрах загрязнения.

Итак, ниже приводится перечень требований ВОЗ, предъявляемых к данным о загрязнении атмосферного воздуха для оценки популяционной экспозиции.

Характеристики^a сети мониторинга и пунктов наблюдений

- (a) Страна
- (b) Ведомство, к которому относится сеть станций (полное наименование сети)
- (c) Географический охват в рамках сети

Локальная промышленность: обеспечивается охват территории промышленного предприятия или зоны вокруг тепловой электростанции

Поселок или город: обеспечивается охват территории поселка или небольшого города с населением менее 250 000 человек

^a Совместимы с формой классификации станций, принятой в системе AIRBASE (с 22 августа 1999 г. открыт доступ по адресу: <http://www.etcaq.rivm.nl/airbase/airbadm.html>).

Территория города или конурбация (городская агломерация): обеспечивается охват обширной территории города с населением более 250 000 человек

Административно-территориальная единица: провинция, округ и т.п.

Регион (страны): например, регион Пура

Национальный уровень: обеспечивается охват всей территории страны

Отсутствие информации

- (d) Название города, где расположен пункт наблюдений (за исключением сельских районов)

Название места размещения пункта наблюдений и его код

Название технического органа, в ведении которого находится станция

Полное наименование организации, ответственной за обеспечение работы сети и/или представление данных и фамилия ответственного лица, включая его/ее адрес.

В зависимости от источника поступления данных ведется учет следующих характеристик и приводится описание типа и пункта наблюдения и окружающей местности.

Тип пункта наблюдений

Под типом пункта наблюдений подразумевается следующее:

- автотранспортный: пункт наблюдений, используемый для мониторинга загрязненности атмосферного воздуха, обусловленной автотранспортным движением;
- промышленный: пункт наблюдений, используемый для мониторинга загрязненности атмосферного воздуха в зоне промышленных предприятий;

- фоновый: пункт наблюдений, используемый для мониторинга атмосферного воздуха на участках с фоновым загрязнением, расположенных в пределах (фоновый уровень в городе) или за пределами (районный или фоновый уровень) крупных городов; и
- неизвестный: тип пункта наблюдений неизвестен.

Для автотранспортных пунктов наблюдений необходимо обязательно указывать тип улицы и интенсивность транспортного потока.

Тип улицы

Широкая	$P/V > 1,5$ (P = расстояние между осевой линией улицы и зданиями; V = высота зданий)
Каньон	$P/V < 1,5$
Автострада	Средняя скорость движения автотранспорта > 80 км/час
Неизвестный	

Интенсивность автотранспортного потока

Высокая	$> 10\ 000$ автомашин/день
Средняя	$2000\text{--}10\ 000$ автомашин/день
Низкая	< 2000 автомашин/день
Неизвестный	

Тип зоны наблюдения

По своему типу зоны наблюдения подразделяются на следующие:

- городская: пункт наблюдений расположен на территории города;
- пригородная: пункт наблюдений расположен на окраине города или на территории небольших жилых массивов за пределами основной части города;
- сельская: пункт наблюдений расположен за пределами территории города; и
- неизвестный.

Характеристика зоны наблюдения

Зона наблюдения может характеризоваться как:

- жилая
- торговая
- промышленная
- жилая и торговая
- торговая и промышленная
- промышленная и жилая
- жилая, торговая и промышленная
- сельскохозяйственная
- природная
- сельскохозяйственная и природная.

Методы и единицы измерения

Несмотря на то, что используемые конкретной страной методы базируются на национальной и международной стандартизации, предпочтение следует отдавать директивам Европейского союза по качеству атмосферного воздуха и по крайней мере установить отличия других используемых методов. Концентрации загрязнителей атмосферного воздуха должны быть выражены в мкг/м³. Наличие кода загрязнителя позволяет вводить разные единицы измерения по каждому загрязняющему веществу.

Временной интервал

Год: календарный год (с 1 января по 31 декабря).

Сезоны: зимний – с октября по март включительно;
летний – с апреля по сентябрь включительно.

Отношение между количеством достоверных данных, характеризующих два сезона в течение одного года, не может превышать 2.

Критерии достоверности наблюдений, проводимых на пунктах наблюдений

Для установления достоверности наблюдений, проводимых на пункте наблюдений следует руководствоваться критериями, которые даны ниже.

Для получения средних за 1 час значений на основании данных с более коротким периодом осреднения следует использовать данные, содержащие не менее 75% достоверных значений.

Для получения 8-часовых скользящих средних значений на основании ежечасных измерений количество часов, для которых были получены достоверные данные, должно быть не менее 18 (75%).

Для получения суточных (24-часовых) осредненных значений по данным с более коротким периодом осреднения следует использовать более 50% ежечасных достоверных данных и не больше чем 25% полученных данных, не прошедших приемку.

Для получения средних за сезон или средних за год значений следует использовать не менее 50% достоверных данных за отчетный период.

Показатели и статистические параметры

Для пунктов наблюдений, отвечающих критериям достоверности наблюдений, могут быть рассчитаны следующие показатели:

- среднее за 1 час значение для CO и NO₂;
- максимальное из средних за 1 час значений и максимальное из скользящих средних за 8 часов значений за сутки (24 часа) для озона;
- среднее за сутки (24-часовое среднее SO₂, общих взвешенных частиц, «черного дыма» и ВЧ₁₀; и
- среднее за сезон и среднее за год значения (при наличии достоверных данных за зимний период) для свинца и бенз[а]пирена.

Для расчета статистических параметров требуется соблюдение следующих условий:

- для среднего (арифметического): более 50% достоверных данных; и

- для (98-го) перцентиля и максимальной величины: более 75% достоверных данных.

Для получения среднего за год значения должны быть соблюдены следующие критерии полноты данных:

- для CO и NO₂: наличие достоверных данных за зимний и летний периоды;
- для озона: наличие достоверных данных за летний период; и
- для SO₂, общих взвешенных частиц, «черного дыма» и ВЧ₁₀: наличие достоверных данных за зимний период.

Распределение экспозиции населения

Для каждого города или городской агломерации с определенной численностью населения определяется число действующих пунктов мониторинга и характеристики каждого из них и уточняется информация о достоверности проводимых ими наблюдений. На основании критериев достоверности данных, полученных на пункте наблюдений, производится расчет годового и сезонного распределения экспозиции населения по тем загрязнителям, которые представляют интерес.

Оценка распределения экспозиции населения и/или распределения подгрупп населения проводится на основании осреднения соответствующих данных, полученных на достоверных пунктах наблюдений, которые, как считают эксперты, наиболее правильно отражают экспозицию обследуемой части населения. По завершении процедуры отбора станций для расчета распределения экспозиции населения отобранные для этой цели станции должны продолжать функционировать без изменений в течение 1 года и не подлежат замене на этот период. Если же через год в список отобранных ранее станций для расчета распределения экспозиции населения вносятся изменения, то этот факт должен быть официально

зарегистрирован и включен в отчет, если данные будут использованы на практике или распространены.

Расчет распределения экспозиции населения базируется на осредненных суточных достоверных данных, зафиксированных не менее чем 2/3 ранее отобранных станций. Если же данные поступили менее чем от 2/3 станций за какой-либо день, то суточная экспозиция за такой день не рассчитывается, а соответствующие данные за этот день не учитываются при составлении распределения экспозиции населения.

Если распределение экспозиции населения было рассчитано на основании ежесуточных средних по данным, поступившим более чем с одного пункта мониторинга, то потребуются дополнительные данные (указанные ниже), характеризующие распределение экспозиции по пунктам наблюдений, зарегистрировавшим самые низкие ее уровни, и распределение экспозиции по станциям, зарегистрировавшим самые высокие уровни.

Неприемлемым является расчет распределения экспозиции населения путем осреднения сезонного или годового распределения по каким-либо пунктам мониторинга.

Данные, подлежащие регистрации, включают в себя количество дней (или часов для CO и NO₂), на основании которых производится расчет годовых и сезонных средних величин по каждому загрязнителю (принимается во внимание количество дней, для которых было рассчитано ежесуточное (или ежечасное) осредненное распределение экспозиции населения).

Отчетные данные о распределении экспозиции населения по классическим атмосферным загрязнителям наряду с другой адекватной информацией, обеспечивающей идентификацию данных, рекомендуется представлять на прилагаемых формах А5.1, А5.2 и А5.3. Для этого может быть использовано программное обеспечение AIRQ.

Библиография

1. *Health related air quality indicators and their application in health impact assessment in HEGIS: report on a WHO consultation, Sosnowiec, Poland, 21–23 November 1995*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1997 (document EUR/ICP/EHAZ 94 06/MT03).

**Форма А5. 1а: Распределение экспозиции населения по
загрязняющим веществам в атмосфере.
Форма для сбора данных по SO₂, сумме взвешенных частиц,
“черному дыму” и ВЧ₁₀^а**

Календарный год _____	Концентрация загрязнителя (мкг/м ³)	Общее количество дней
Страна _____		
Наименование агломерации _____		
Общая численность населения (тысяч человек) _____	<10	
Численность населения, для которого определяется распределение экспозиции ^б (тысяч человек) _____	10–20	
	20–30	
	30–40	
	40–50	
Сбор данных: За год (дни) _____	50–60	
зимой (дни) _____	60–70	
летом (дни) _____	70–80	
Арифметическое среднее за год по выборке осредненных суточных величин	80–90	
	90–100	
	100–110	
	110–120	
Арифметическое среднее за зиму по выборке осредненных суточных величин	120–130	
	130–140	
	140–150	
Арифметическое среднее за лето по выборке осредненных суточных величин	150–160	
	160–170	
	170–180	
98-й процентиль за год для выборки осредненных суточных величин	180–190	
	190–200	
	200–250	
Максимальная величина за год для выборки осредненных суточных величин	250–300	
	300–350	
	350–400	
Максимальная величина за зиму для выборки осредненных суточных величин	≥400	
Максимальная величина за лето для выборки осредненных суточных величин		

^а Исключить то, что не соответствует конкретному загрязнителю.

^б Если представленная характеристика экспозиции касается всего населения городской агломерации, то это число должно совпадать с общей численностью населения.

Выборочные статистические характеристики измеренных концентраций для пунктов наблюдений с наиболее низким и в наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха.

Если распределение экспозиции населения определялось по выборке ежесуточных средних по данным, полученным более чем одним пунктом мониторинга, то необходимо представлять дополнительную информацию о распределении экспозиции для пунктов, где наблюдались самые низкие и самые высокие концентрации.

<i>Пункт наблюдений в самых низкими уровнями</i>	<i>Название и код пункта наблюдений</i>	<i>Пункт наблюдений с самыми высокими уровнями</i>
	Арифметическое среднее за год по выборке осредненных суточных величин	
	Арифметическое среднее за зиму по выборке осредненных суточных величин	
	Арифметическое среднее за лето по выборке осредненных суточных величин	
	98-й процентиль за год для выборки осредненных суточных величин	
	Максимальная величина за год для выборки осредненных суточных величин	
	Максимальная величина за зиму для выборки осредненных суточных величин	
	Максимальная величина за лето для выборки осредненных суточных величин	

Дополнительная информация

Если такой информации не имеется, то следует в электронном виде представить набор данных с суточными концентрациями конкретных загрязнителей за календарный на пунктах мониторинга, отобранных вами для оценки распределения экспозиции населения, а также привести необходимые статистические характеристики (арифметическое среднее и 98-й процентиль).

**Форма А5. 1b: Распределение экспозиции населения по
загрязняющим вещества в атмосфере.
Форма для сбора данных по NO₂ и CO^a**

Календарный год _____	Концентрация загрязнителя (мкг/м ³)	Общее количество дней
Страна _____		
Наименование агломерации _____		
Общая численность населения (тысяч человек) _____		
Численность населения, для которого определяется распределение экспозиции ^b (тысяч человек) _____	<10	
Сбор достоверных данных:	10–20	
За год(часы) _____	20–30	
зимой (часы) _____	30–40	
летом (часы) _____	40–50	
	50–60	
	60–70	
	70–80	
	80–90	
Арифметическое среднее за год по выборке осредненных ежечасных величин	90–100	
	100–110	
	110–120	
Арифметическое среднее за зиму по выборке осредненных ежечасных величин	120–130	
	130–140	
	140–150	
Арифметическое среднее за лето по выборке осредненных ежечасных величин	150–160	
	160–170	
	170–180	
98-й перцентиль за год по выборке осредненных ежечасных величин	180–190	
	190–200	
	200–250	
	250–300	
	300–350	
	350–400	
	≥400	

^a Исключить то, что не соответствует конкретному загрязнителю.

^b Если представленная характеристика экспозиции касается всего населения городской агломерации, то это число должно совпадать с общей численностью населения.

Выборочные статистические характеристики измеренных концентраций для пунктов наблюдений с наиболее низким и с наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха.

Если распределение экспозиции населения определялось по выборке ежечасных средних по данным, полученным более чем одним пунктом мониторинга, то необходимо представлять дополнительную информацию о распределении экспозиции для пунктов, где наблюдались самые низкие и самые высокие концентрации.

<i>Пункт наблюдений с самыми низкими уровнями</i>	<i>Местное название и код станции мониторинга</i>	<i>Пункт наблюдений с самыми высокими уровнями</i>
	Арифметическое среднее за год по выборке осредненных ежечасных величин	
	Арифметическое среднее за зиму по выборке осредненных ежечасных величин	
	Арифметическое среднее за лето по выборке осредненных ежечасных величин	
	98-й процентиль за год по выборке осредненных ежечасных величин	

Дополнительная информация

Если такой информации не имеется, то следует в электронном виде представить набор ежедневных данных с часовыми концентрациями конкретных загрязнителей за календарный год на пунктах мониторинга, отобранных вами для оценки распределения экспозиции населения, а также привести необходимые статистические характеристики (арифметическое среднее и 98-й процентиль).

**Форма А5. 1с: Распределение экспозиции населения по
загрязняющим веществам в атмосфере.
Учетная форма для данных по озону^а**

Календарный год _____		Концентрация загрязнителя (мкг/м ³)	Общее количество дней
Страна _____			
Наименование агломерации _____			
Общая численность населения (тысяч человек) _____			
Численность населения, для которого определяется распределение экспозиции ^б (тысяч человек) _____		<10	
Сбор достоверных данных: За год (дней) _____		10–20	
зимой (дней) _____		20–30	
летом (дней) _____		30–40	
		40–50	
		50–60	
		60–70	
		70–80	
		80–90	
98-й процентиль за год для выборки максимальных за сутки величин из средних за 1 ч		90–100	
		100–110	
		110–120	
Максимальная величина за год по выборке максимальных за сутки величин из средних за 1 ч		120–130	
		130–140	
		140–150	
Максимальная величина за зиму максимальных величин из средних за 1 ч		150–160	
		160–170	
		170–180	
Максимальная величина за лето по выборке максимальных за сутки величин из средних за 1 ч		180–190	
		190–200	
		200–250	
98-й процентиль за год для выборки максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч		250–300	
		300–350	
		350–400	
		≥400	
Максимальная величина за год по выборке максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч			
Максимальная величина за зиму по выборке максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч			
Максимальная величина за лето по выборке максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч			

^а Исключить то, что не соответствует конкретному загрязнителю.

^б Если представленная характеристика экспозиции касается всего населения городской агломерации, то это число должно совпадать с общей численностью населения.

Выборочные статистические характеристики измеренных концентраций для пунктов наблюдений с наиболее низким и наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха.

Если распределение экспозиции населения определялось по выборке из ежедневных данных, полученных более чем одним пунктом мониторинга, то необходимо представлять дополнительную информацию о распределении экспозиции для пунктов загрязнения на участках, где наблюдались самые низкие и самые высокие концентрации.

<i>Пункт наблюдений с самыми низкими уровнями</i>	<i>Местное название и код станции мониторинга</i>	<i>Пункт наблюдений с самыми высокими уровнями</i>
	98-й процентиль за год для выборки максимальных за сутки величин из средних за 1 ч	
	Максимальная величина за год по выборке максимальных за сутки величин из средних за 1 ч	
	Максимальная величина за зиму максимальных величин из средних за 1 ч	
	Максимальная величина за лето по выборке максимальных за сутки величин из средних за 1 ч	
	98-й процентиль за год для выборки максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч	
	Максимальная величина за год по выборке максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч	
	Максимальная величина за зиму по выборке максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч	
	Максимальная величина за лето по выборке максимальных за сутки величин из скользящих средних за 8 ч	

Дополнительная информация

Если такой информации не имеется, то следует в электронном виде представить набор ежедневных данных с часовыми концентрациями конкретных загрязнителей за календарный год на пунктах мониторинга, отобранных вами для оценки распределения экспозиции населения, а также привести необходимые статистические характеристики (арифметическое среднее и 98-й процентиль).

Форма А5. 1d: Распределение экспозиции населения по загрязняющим веществам в атмосфере.

Учетная форма для данных по свинцу (мкг/м³)

Календарный год _____
 Страна _____
 Наименование агломерации _____
 Общая численность населения (тысяч человек) _____
 Численность населения, для которого определяется распределение экспозиции^a (тысяч человек) _____
 Сбор достоверных данных:
 За год (дней) _____
 зимой (дней) _____

Учетная форма для данных по бенз[а]пирену (нг/м³)

Календарный год _____
 Страна _____
 Наименование агломерации _____
 Общая численность населения (тысяч человек) _____
 Численность населения, для которого определяется распределение экспозиции^a (тысяч человек) _____
 Сбор достоверных данных:
 ежегодно (дней) _____
 зимой (дней) _____
 летом (дней) _____

Среднее за год	
Среднее за зиму	
Среднее за лето	

Среднее за год	
Среднее за зиму	
Среднее за лето	

^a Если представленная характеристика экспозиции касается всего населения городской агломерации, то это число должно совпадать с общей численностью населения.

^a Если представленная характеристика экспозиции касается всего населения городской агломерации, то это число должно совпадать с общей численностью населения.

Выборочные статистические характеристики измеренных концентраций для пунктов наблюдений с наиболее низким и наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха.

Если распределение экспозиции населения определялось по выборке ежесуточных данных, полученных более чем одним пунктом мониторинга, то необходимо представлять дополнительную информацию о распределении экспозиции для пунктов, где наблюдались самые низкие и самые высокие концентрации.

<i>Пункт наблюдений с самыми низкими уровнями</i>		<i>Пункт наблюдений с самыми высокими уровнями</i>
	<i>Название и код пункта наблюдений</i>	
	Среднее за год	
	Среднее за зиму	
	Среднее за лето	

Форма А5.2: Характеристики пункта наблюдений
(прилагается к Форме 5.1 по каждому загрязняющему веществу)

Загрязняющее вещество: _____

Календарный год	
Страна	
Наименование городской агломерации	
Географические координаты городской агломерации (градусы и минуты)	
Общая численность населения (тысяч человек)	
Численность населения, для которого определяется распределение экспозиции	
А. Общее число пунктов наблюдений, функционирующих на территории городской агломерации	
Б. Общее число пунктов наблюдений, функционирующих на территории проживания населения, в отношении которого определяется распределение экспозиции	
В. Число пунктов наблюдений, от которых были получены данные, положенные в основу оценки распределения экспозиции населения ^а	
Принадлежность станций, перечисленных под рубрикой «В», к определенной сети (наименование сети)	
Название технического органа, отвечающего за работу станций под рубрикой «В»	

Укажите информацию по каждому пункту наблюдений, на котором были получены данные, положенные в основу оценки распределения экспозиции населения (станции под рубрикой «В»)

Название и код станции	
Тип станции	
Тип зоны наблюдения	
Характеристика зоны наблюдения	
Только для автотранспортных пунктов наблюдений: тип улицы интенсивность движения автотранспорта	
Высота возвышения станции над землей (метры)	
Метод мониторинга (пассивный; активный вручную; стационарный автоматический; оптическая трасса)	
Метод измерения или измерительный прибор (хемилюминесценция, диффузионная трубка и т.п.)	
Условия нормализации (температура и давление – стандарт МОС, директива Европейского союза или критерии, рекомендуемые ВОЗ)	
Расчетная величина погрешности (% измеренного значения, обусловленный неопределенностью при калибровке и проведении измерений)	
Сбор данных (количество дней из 365, когда были получены достоверные данные)	

^а Количество станций под рубриками «А», «Б» и «В» на территории определенной городской агломерации может оказаться одинаковым, если все полученные ими данные были признаны достоверными (см. раздел "критерии достоверности наблюдений ..." и использовались при оценке профиля популяционной экспозиции.

Форма А5.3

[подлежит заполнению и прилагается к Форме А5.1 и Форме А5.2]

Информация об источнике, представившем данные

Страна	
Название учреждения, занимающегося организацией работы сети станций мониторинга и обеспечивающего предоставление данных	
Почтовый адрес	Почтовый индекс, почтовый ящик, город, улица
Электронный адрес, номер телефона и факса	При указании номеров телефона и факса следуйте формату +xx yy zzzz xx = международный код страны yy = трехзначный междугородный телефонный код (код города) zz = номер телефона организации
Ф.И.О. ответственного лица	

Приложение 6

Примечания к тексту издания на русском языке

Сергей С. Чичерин

- 1) **стр. xxix**
Термином “площадные источники” здесь и далее обозначаются совокупности точечных или линейных источников выбросов. К наиболее распространенным типам площадных источников можно отнести домашнее отопление в населенных пунктах, где отсутствуют системы центрального отопления; отдельные крупные автомагистрали или, в некоторых случаях, совокупность автомагистралей города в целом или его части.
- 2) **стр. 5**
ГСМОС/ВОЗДУХ – The Global Environment Monitoring System (GEMS/AIR)
- 3) **стр. 7 и 85**
АМИС – The Air Management Information System
- 4) **стр. 7**
В соответствующих документах ВОЗ на английском языке используется термин “guidelines”. Эти величины, рекомендованные ВОЗ, не носят обязательного, нормативного характера. Поэтому в переводе использован термин “критерии”, который по своему смыслу в данном контексте соответствует термину оригинала на английском языке.
- 5) **стр. 8**
Руководящий орган Европейского союза, уполномоченный принимать нормативные документы, в

том числе, по вопросам окружающей среды, имеющие обязательный характер для стран - членов ЕС.

6) стр. 21

Для читателей, знакомых с физикой, можно привести очень простое разъяснение понятия “персональная экспозиция”. Обычно термином “концентрация” обозначают величину, относящуюся к конкретной точке пространства, подразумевая при этом, что значение концентрации определено как среднее для некоторого промежутка времени. Такое представление величин в физике принято называть эйлеровским. Если же концентрация определяется не в фиксированной точке, а в точке, которая движется по некоторой траектории, то такое представление называется лагранжевым. Персональная экспозиция есть не что иное, как концентрация рассматриваемой примеси, усредненная вдоль траектории (либо части траектории), по которой перемещалась некоторая персона, с учетом, разумеется, продолжительности ее пребывания в отдельных точках (на отдельных участках) траектории в зависимости от текущего рода деятельности (пребывание на работе, дома, на открытом воздухе, в транспорте и т.д.).

7) стр. 21

Из разъяснения, приведенного в предыдущем примечании, можно представить всю широту спектра и сложность проблем, связанных с переходом от персональной экспозиции к экспозиции населения. В какой-то степени этот переход аналогичен переходу от микроскопического описания движения отдельных молекул в газе к описанию связанных с этим движением микроскопических характеристик (температура, давление, распределение по энергиям) с помощью специальных процедур усреднения.

8) стр. 25

Приведенные аргументы являются обоснованием необходимости продолжительных регулярных измерений концентраций атмосферных примесей в фиксированных точках, что и означает проведение мониторинга на сети стационарных пунктов наблюдений. Подчеркнем, что данных измерений, выполненных на некоторой территории в течение периода времени продолжительностью менее указанных в тексте 6 месяцев, как правило, недостаточно

для того, чтобы с приемлемой степенью достоверности охарактеризовать качество атмосферного воздуха. Именно поэтому в развитых странах сложилась достаточно устойчивая традиция использования передвижных аналитических лабораторий в качестве фактически стационарных станций мониторинга, устанавливаемых в изучаемой местности на 6–12 месяцев и более.

9) стр. 33

Радон относится к числу радиоактивных загрязнителей нижних этажей зданий. Проблемам, связанным с оценкой содержания радона в окружающей среде помещений и его влияния на здоровье человека, посвящены специальные публикации ВОЗ.

10) стр. 33

Удачный пример того, когда можно сравнить понятия “персональная экспозиция” по некоторой токсичной атмосферной примеси и “внешняя персональная доза” по некоторому радиоактивному веществу в окружающей среде. Здесь и в некоторых других местах оригинала допускается терминологическая неточность: в случае радиоактивности под суммарной экспозицией в тексте понимается суммарная доза, а для случаев химических вредностей под суммарной экспозицией понимается не накопленная (просуммированная) концентрация, а ее среднее значение.

11) стр. 34

Вообще говоря, в упоминаемых критериях ВОЗ нет четкого указания, как трактовать понятие “время усреднения” (за исключением случая канцерогенов, когда прямо указывается на экспозицию в течение всей жизни). При применении процедуры усреднения к концентрациям в фиксированной точке критерии ВОЗ должны соотноситься с измеренными в этой точке (либо с рассчитанными) концентрациями. Если процедура усреднения применяется последовательно к концентрациям во всех точках, в которых находился реципиент, то критерии ВОЗ следует соотносить с персональной экспозицией. В исследовательских и методических проработках обоснованным представляется применение обеих трактовок. В нормативных целях критерии ВОЗ

более целесообразно рассматривать в отношении показателя качества воздуха в точке, а не в отношении экспозиции.

12) стр. 34

Поэтому всегда следует четко устанавливать, к какому интервалу усреднения относится то или иное измеренное (или рассчитанное) значение концентрации. С другой стороны, меньшие значения критериев для больших интервалов усреднения (см. таблицу A1.1 в Приложении 1.1) не означают автоматически более жестких требований к источникам выбросов соответствующих вредных веществ. Подробнее об этом см. подраздел “Характеристики выбросов загрязняющих веществ и качество атмосферного воздуха” в конце настоящей главы.

13) стр. 34

Имеются в виду прямые измерения долгосрочных средних концентраций с применением так называемых пассивных пробоотборников. Диффузионный принцип действия обеспечивает низкую скорость отбора проб, что позволяет накапливать пробу в течение длительного времени (до месяца). Подробнее об этом см. гл. 3 и 4.

14) стр. 34 и 143

Разъяснения понятия “пороговый уровень” приводятся с сознательным упрощением проблемы. В действительности, как неоднократно отмечается в данной публикации, существуют категории населения, значительно различающиеся по своей реакции на одну и ту же экспозицию. В этом заключается одна из наиболее сложных проблем установления гигиенических критериев качества атмосферного воздуха, поскольку при этом нельзя обойти молчанием вопрос о приемлемом для общества уровне риска для категорий населения с повышенной чувствительностью (пожилые, дети, хронические больные с “профильным” заболеванием). По этой же причине в различных документах ВОЗ настойчиво подчеркивается, что рекомендованные критерии – это верхняя граница порога и следует добиваться качества воздуха с показателями как можно ниже рекомендованных критериев. Этот же фактор находит отражение в позиции ВОЗ о соотношении между рекомендованными критериями

и национальными (международными) стандартами качества атмосферного воздуха.

15) стр. 35

Исключительно важный тезис. По существу, в рекомендациях ВОЗ введен принцип беспорогового вредного действия взвешенных веществ, чем, фактически, эта примесь поставлена в один ряд с канцерогенами и радиоактивностью. Разумеется, степень вредного действия взвешенных веществ в той или иной местности решающим образом зависит от их химического состава.

16) стр. 35

Следует обратить внимание на то, что величина относительного риска $RR(c)$ больше единицы.

17) стр. 36

Излагаемый алгоритм и конкретные количественные характеристики риска основаны на известной функциональной зависимости риска от экспозиции населения. Методика получения этой зависимости здесь не рассматривается – она является результатом специальных дорогостоящих эпидемиологических исследований (см. литературу к наст. главе и к Приложению 4). Вопрос о применимости конкретных значений риска для стран, в которых характеристики социально-экономического развития, параметры здоровья населения, качество окружающей среды, природные и климатические условия существенно отличаются от условий в странах, где проводились упомянутые тщательные эпидемиологические исследования, – этот вопрос должен быть предметом отдельного рассмотрения.

18) стр. 37

Проявляющееся в этом кажущееся несоответствие тезису о беспороговом вредном воздействии взвешенных частиц имеет чисто методическое происхождение. Это означает, что при $c < 20$ мкг/м³ значения соответствующих рисков ниже разрешающей способности излагаемой методики и не могут быть выявлены с достаточным уровнем достоверности на фоновом уровне заболеваемости.

19) стр. 46

Современные фотохимические модели учитывают сотни химических реакций для десятков веществ, присутствующих в атмосфере.

20) стр. 46

Здесь кратко упоминаются факторы, влияющие на формирование турбулентного режима нижнего слоя атмосферы, который и определяет интенсивность рассеивания атмосферных примесей.

21) стр. 47

Перечень входных метеорологических параметров в значительной мере зависит от того, какая модель используется для восстановления по данным наблюдений структуры воздушного потока в пограничном слое атмосферы, в том числе характеристик турбулентного перемешивания.

22) стр. 48

Имеется в виду условное “объединение” источников, т.е. замена группы однотипных источников одним виртуальным. В зависимости от условий задачи этот виртуальный источник может быть точечным, линейным или площадным. “Объединение” источников – метод, позволяющий довольно радикально упростить и ускорить расчеты рассеивания атмосферных примесей для большой совокупности источников.

23) стр. 56

В сфере управления качеством атмосферного воздуха (источниками выбросов различных типов) и в относительно автономной от нее сфере управления рисками, связанными с загрязнением атмосферного воздуха (факторы, определяющие уровень экспозиции для различных категорий населения с учетом миграции по территории города), очень важно иметь четкое представление, какая именно информация необходима и достаточна для выработки и принятия управленческих решений, для содействия их выполнению и для контроля их эффективности. Это должно стать отправной точкой для планирования систем мониторинга как на локальном, так и на национальном уровне.

24) стр. 58

Следует обратить внимание на то, что комплекс проблем, связанных с обеспечением и контролем качества не

исчерпывается чисто метрологическими аспектами даже в том, что касается непосредственно точности измерений. Суть метрологических проблем здесь связана с тем, что для атмосферного воздуха в принципе не существует эталонного образца, являющегося необходимым атрибутом в классической метрологии. С другой стороны, каждое отдельное измерение концентрации примеси в атмосферном воздухе уникально и не может быть повторено, поскольку при другом измерении концентрация будет определена для другого объекта. Для натуральных условий особую сложность представляет вопрос о воспроизводимости методики измерений. Одним из свидетельств значимости этой проблемы является общепринятая практика межлабораторных сравнений как с помощью рассылки контрольных образцов проб, так и посредством параллельных измерений в натуральных условиях. Важность таких сравнений неоднократно подчеркивается в настоящей публикации, и в других документах ВОЗ.

25) стр. 62

Любое решение задачи планирования сети мониторинга основывается на компромиссе между потребностью в информации и наличием ресурсов. Поэтому при увеличении затрат на создание (развитие) сети следует представлять, к каким информационным выигрышам это ведет (прежде всего, в отношении решения задач управления качеством атмосферного воздуха). И наоборот, при уменьшении затрат нужно оценивать приемлемость ожидаемых информационных потерь.

26) стр. 74

При формировании графика отбора проб следует принимать во внимание, что при уменьшении частоты отбора проб уменьшается и точность, и обеспеченность определения статистических характеристик по данным измерений. В первую очередь, это ведет к занижению оценок максимальных значений концентраций и квантилей высокого порядка. Э.Ю. Безуглая и Т. Керен на основании результатов имитационного моделирования получили следующие оценки. При выполнении наблюдений за NO_2 четыре раза в сутки в равноотстоящие сроки величина 98-го

процентиля занижается примерно на 20% (без учета погрешности измерений), а значение среднегодовой концентрации – примерно на 5%.

27) стр. 74

Применение периодического краткосрочного (20–30 мин.) отбора проб вместо автоматических непрерывных наблюдений имеет под собой, в основном, сугубо экономические причины. Не следует забывать, что одним их важных факторов, способствовавших широкому распространению автоматических газоанализаторов в развитых странах была сравнительно высокая стоимость оплаты труда квалифицированных специалистов. Относительно точности определения статистических параметров по данным срочных наблюдений см. предыдущее примечание.

28) стр. 77

Процесс установки пассивных пробоотборников несложен, но их следует устанавливать в местах, защищенных от несанкционированного доступа. Анализ проб не сложнее, чем при обработке обычных проб срочных наблюдений. Сложнее обстоит вопрос с длительной сохранностью пробы воздуха без искажений в период отбора.

29) стр. 77

Процесс отбора проб поддается автоматизации. В таком случае отпадает необходимость в операторе.

30) стр. 77

Разумеется, в наибольшей степени преимущества высокой информационной производительности автоматических газоанализаторов проявляются в автоматизированных системах мониторинга, оснащенных специальными программными средствами оперативной обработки данных, подготовке информационных материалов и архивных файлов (баз данных).

31) стр. 77

Наиболее распространенным критерием для выбора трассы является относительная однородность концентраций. Этому критерию достаточно хорошо удовлетворяют участки автомагистралей на некотором удалении от перекрестков. Разумеется, трассовые измерения позволяют определить лишь среднее вдоль трассы значение концентрации.

32) стр. 79

Примеси-индикаторы полезны при качественных оценках и прогнозах трендов. Так, при уменьшении концентраций СО есть основания полагать, что так же уменьшаются концентрации ряда органических примесей, содержащихся в выбросах автотранспорта. То же самое можно сказать об уменьшении содержания металлов в воздухе при уменьшении концентраций взвешенных частиц (если это взвешенные частицы не вторичного происхождения).

33) стр. 87

Если требуется, чтобы данные наблюдений, полученные некоторой лабораторией, были сопоставимы с данными локальной и/или национальной системы мониторинга, необходимо, чтобы методика измерений была метрологически аттестована (единство измерений) и признана пригодной для целей мониторинга атмосферного воздуха.

34) стр. 90

Автоматическая обработка данных важна и для систем с отбором проб. Для таких систем крайне желательно, чтобы алгоритмы проверки данных (так называемый критический контроль) были одинаковыми для всех данных наблюдений системы мониторинга в целом. В противном случае не будет обеспечена сопоставимость данных (в наибольшей степени это важно для оценки квантилей высокого порядка). В качестве примера можно указать на автоматизированную систему обработки данных АСОИЗА, которая в течение ряда лет применяется в государственной службе наблюдений за загрязнением атмосферы Российской Федерации.

35) стр. 92

При обсуждении проекта настоящей публикации на заседании рабочей группы этому вопросу было уделено особое внимание. Эксперты были единодушны в том, что конечным пользователям (специалистам, управленцам, общественности) нужно передавать не данные, а информацию (информационный продукт), что целесообразно по многим причинам, некоторых из которых обсуждались в предыдущем разделе.

- 36) стр. 97**
EUROAIRNET – The Air Quality Monitoring and Information Network of the European Environment Agency.
- 37) стр. 101**
Уместно отметить, что в английском языке слово стратегия (strategy) не столь тяжеловесно по своему смыслу, как в русском. Слово strategy имеет общий корень в таком слове, как stratagem – (военная) хитрость, уловка, и тесно связано с такими понятиями, как art, skill (искусство, умение, мастерство). (На одном из начальных этапов подготовки настоящей книги слово strategies было вынесено в ее название).
- 38) стр. 107**
Разумеется, входные параметры должны быть гармонизированы по времени усреднения с данными измерений.
- 39) стр. 112**
The Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe.
- 40) стр. 113**
Содержание озона в свободной тропосфере выше, чем у земной поверхности. С нисходящими потоками воздуха (что бывает в условиях антициклона) тропосферный озон опускается в нижние слои атмосферы. Известны случаи, когда в таких ситуациях существенно превышались стандарты качества атмосферного воздуха по озону, установленные Европейским союзом.
- 41) стр. 115**
Для системы трассовых измерений типа ДООС характерная длина трассы (между излучателем и приемником) составляет обычно несколько сотен метров.
- 42) стр. 127**
Очень важное замечание. При малой периодичности отбора проб (менее 4 раз в сутки) целесообразно устанавливать обязательные требования к минимальному количеству достоверных (ратифицированных) данных наблюдений в выборке за определенный период времени (например, за год), для которой рассчитанные статистические характеристики (среднее значение, медиана, процентиля, максимальное значение и др.) имеют достаточную

обеспеченность. При несоблюдении таких требований полученные оценки качества атмосферного воздуха следует признавать недостоверными.

43) стр. 144

Другими словами, отсутствие в рекомендациях ВОЗ значения порогового уровня для концентраций $ВЧ_{10}$ и $ВЧ_{2,5}$ не следует рассматривать как препятствие для установления национальных стандартов качества воздуха для взвешенных частиц.

44) стр. 145

Обращает на себя внимание отсутствие стандарта для взвешенных частиц со временем усреднения менее 24 часов. В приведенных стандартах ЕС и США в качестве норматива использованы четкие статистические характеристики, что делает однозначной трактовку этих стандартов. Различия между стандартами ЕС и США иллюстрируют тезис о том, что исходя из одних и тех же рекомендаций ВОЗ по гигиеническим критериям качества воздуха, каждая страна вырабатывает собственную конкретную стратегию в отношении качества окружающей среды и здоровья населения. Стандарты качества воздуха являются важнейшим элементом этой стратегии, как это можно увидеть в законодательных актах США и директивах ЕС. Отметим также, что ЕС счел целесообразным придать стандартам по взвешенным частицам целевой характер, указав конкретные сроки достижения требуемого уровня качества воздуха.

45) стр. 147

Как видно уже из названия упоминаемого ниже стандарта СЕН, установление эквивалентности эталонному методу проводится по результатам сравнений в натуральных условиях. Сравнению подлежат ряды параллельных наблюдений. Единичные пробы друг с другом не сравниваются.

46) стр. 180

В тексте оригинала использован термин “trace metals”, а в названии упоминаемой публикации – “trace elements”. Основное значение этого последнего термина – микроэлементы. Следует, однако, иметь в виду, что в английском языке, как, впрочем, и в русском, понятие “микроэлементы” означает также элементы, сверхмалые

количества которых (trace-следы) необходимы для развития человека, растительного и животного мира, но передозировка которых имеет крайне негативные последствия. Именно этим объясняется необходимость мониторинга микроэлементов, антропогенные выбросы которых значительно повышают их содержание в атмосферном воздухе по сравнению с природным фоном (в аэрозолях естественного происхождения).

47) стр. 188

Руководящий орган Европейского союза.

48) стр. 191

Кратко обозначена суть методологии кригинга (или криджинга – от английского kriging) в геостатистике – одного из предшественников современных компьютерных ГИС-технологий.

49) стр. 199

Многим читателя знакомо представление о мониторинге, введенное Ю.А. Израэлем, как о триаде наблюдения-оценка-прогноз, в которой все составляющие ее части взаимозависимы и взаимно дополняют друг друга. Усовершенствования, касающиеся любого из элементов триады, ведут к более глубокому осмыслению получаемой диагностической и прогностической информации о качестве окружающей среды.

50) стр. 207

Если исходить из того, что при средней за 24 часа концентрации $ВЧ_{10}$, равной 20 мкг/м^3 , относительный риск равен 1,00, что соответствует фоновому уровню заболеваемости (см. табл. 2.2 и текст к ней), то экспозиция населения при концентрации $ВЧ_{10}$, равной 150 мкг/м^3 (национальный стандарт США – см. рамку 4.4), приводит к увеличению заболеваемости примерно на 10% по сравнению с фоновым уровнем. (Также примерно на 10% возрастает и смертность).

51) стр. 224

С этим фундаментальным свойством атмосферы связана принципиальная невозможность построения абсолютно точных моделей атмосферных процессов, в том числе и моделей рассеивания атмосферных примесей.

52) стр. 233

Данное утверждение справедливо при преобладании выбросов автотранспорта. На территориях, где

загрязнение воздуха в большей степени обусловлено выбросами предприятий промышленности и энергетики, среди атмосферных примесей преобладают неорганические вещества как в газообразной, так и в твердой фазе.

53) стр. 235

Данное допущение справедливо, как уже указывалось выше, для так называемых консервативных (не реактивных) примесей при условии, что они не выпадают на подстилающую поверхность.

54) стр. 247

TEAM – The Total Exposure Assessment Methodology.

55) стр. 252

Разумеется, величина коэффициента P зависит от множества факторов, и для ее определения требуется проведение специальных исследований.

56) стр. 252

Как отмечалось выше, в большинстве моделей загрязнения воздуха внутри помещений делается допущение о равномерном распределении концентраций. Поэтому в данном случае термин “персональная концентрация” следует понимать как “персональная экспозиция внутри помещения” (с учетом соответствующего интервала усреднения).

Нередко обоснованием для проведения оценки качества атмосферного воздуха служит необходимость в установлении факта превышения действующего стандарта или критерия, однако данная оценка также требуется для получения информации, на базе которой проводится оценка экспозиции населения по атмосферным примесям и их воздействия на здоровье населения. Большинство систем мониторинга качества атмосферного воздуха не предназначено для того, чтобы собирать данные, необходимые для оценки экспозиции населения по токсичным атмосферным загрязняющим веществам. При оценке воздействия неблагоприятных факторов среды на здоровье принимаются во внимание не только расчетные данные об экспозиции населения, но и информация о токсичности.

Ввиду важности получения достоверной информации об экспозиции населения, обусловленной загрязнителями атмосферного воздуха, по инициативе Европейского центра ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья была организована рабочая группа, перед которой ставилась задача определения параметров функционирования сетей мониторинга, позволяющая ориентировать их работу на оценку потенциальной экспозиции населения по атмосферным примесям. Прделанная таким образом работа была положена в основу написания этой книги. Принципы, изложенные в данном докладе, призваны стимулировать дальнейшее совершенствование функционирования сети станций мониторинга качества атмосферного воздуха в целях повышения их роли при оценке воздействия экологических вредностей на здоровье.

Данная книга адресована не только менеджерам по управлению сетями мониторинга и тем, кто занимается проектированием новых или совершенствованием уже действующих сетей, но и лицам, формулирующим политику, а также тем, кто оказывает на нее свое влияние.

ISBN 92 890 4351 2

62 швейц. фр.

