

УДК 504.054 (476)

ФОРМАЛЬДЕГИД В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ

© 2012 г. С.В. Какарека

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 02.04.2009 г.

Описаны свойства формальдегида в окружающей среде, подходы к нормированию его содержания в атмосферном воздухе, методики выполнения измерений и основные источники поступления в окружающую среду. Приведен обзор измеряемых концентраций формальдегида в атмосферном воздухе в городах Беларуси, других стран СНГ, Европы и США.

Показано, что среднегодовые концентрации формальдегида в атмосферном воздухе городов СНГ в целом близки среднегодовым уровням содержания в городах Европы и несколько ниже, чем в США.

Введение. Для большинства промышленных центров Беларуси вклад формальдегида в суммарный индекс загрязнения (ИЗА) составлял до недавнего времени от 50 до 80% [14]. Сходная ситуация характерна и для городов других стран СНГ. В частности, согласно [4], формальдегид является одним из основных газовых компонентов-загрязнителей атмосферного воздуха городов России, причем проблема загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом обостряется с каждым годом. В то же время анализу данной проблемы посвящены немногочисленные работы, среди которых можно отметить обзор Скубневской и Дульцовой [6] и Безугловой, Смирновой [1].

Свойства формальдегида и судьба в окружающей среде. Формальдегид оказывает многообразное токсическое действие на живые организмы. Он является сильным сенсибилизатором при контакте с кожей. Профессиональным заболеванием медицинского персонала, работающего с водным раствором формальдегида (формалином), является экзема рук. При постоянном контакте с формалином развиваются тяжелые аллергические дерматиты. Формальдегид, являясь респираторным сенсибилизатором, приводит к развитию астмы и другим нарушениям легочных функций [6, 39]. Есть данные об увеличении заболеваемости раком рабочих, контактирующих с формальдегидом [24]. Сочетание канцерогенных и иммунодепрессивных свойств формальдегида ставит его в ряд опаснейших для человека веществ.

Проявление канцерогенных и иммунодепрессивных свойств формальдегида резко усиливается

в присутствии обычных для городского воздуха загрязнителей, поэтому рост загрязнения атмосферы формальдегидом становится существенным фактором риска, определяющим онкологическую заболеваемость.

Формальдегид – сильно реакционноспособное вещество с периодом полувыведения из атмосферы, равным нескольким часам. В этой связи перенос формальдегида на большие расстояния незначителен. Попадая в атмосферу, формальдегид испытывает дальнейшие химические превращения либо под действием света, либо реагируя с другими примесями. Период полураспада формальдегида зависит от уровня ультрафиолета, присутствия и концентрации других загрязнителей [28].

Органические соединения, являющиеся предшественниками формальдегида, более устойчивы в окружающей среде, поэтому они вносят основной вклад в образование формальдегида на большом расстоянии от источника выбросов [21].

Еще одним стоком формальдегида из атмосферы является адсорбция газовых составляющих при формировании дождевых облаков, вымывание (влажное осаждение) и десорбция на подстилающую поверхность. Период полувыведения формальдегида данными процессами составляет от 19 до 50 ч [33].

Повышенные концентрации оксидов азота и озона, а также органических примесей в условиях фотосмога приводят к появлению повышенных концентраций формальдегида [25].

Абсорбция формальдегида почвой мала; исследования, проведенные [19], показали, что формальдегид подвижен в почвах и достаточно легко выщелачивается. При высоких концентрациях газообразный формальдегид адсорбируется глинистыми минералами.

Нормирование содержаний формальдегида в атмосферном воздухе. Согласно рекомендациям ВОЗ, опасный уровень краткосрочного (30 мин.) воздействия формальдегида составляет 100 мкг/м^3 [16, 21]. Превышение данного уровня может вызвать сенсорные раздражения.

В Беларуси до 2005 г. действовали ПДК формальдегида в атмосферном воздухе, установленные в СССР: ПДК_{с.с.} (средняя суточная) – 3 мкг/м^3 ; ПДК_{м.р.} (максимальная разовая) – 35 мкг/м^3 . Аналогичные ПДК приняты в России и других странах СНГ.

С июля 2005 г. в Беларуси приняты следующие ПДК формальдегида: ПДК_{с.с.} – 12 мкг/м^3 , ПДК_{м.р.} – 30 мкг/м^3 .

Источники поступления формальдегида в атмосферный воздух. Содержание формальдегида в атмосферном воздухе представляет собой баланс его поступления и фотохимического образования, с одной стороны, и разложения и стока – с другой.

К настоящему времени статистической отчетностью о выбросах формальдегида достаточно полно учитываются выбросы лишь при его производстве и химическом синтезе. В то же время такие важные источники поступления формальдегида в атмосферу, как сжигание топлива и отходов двигателей внутреннего сгорания, биологическая очистка сточных вод, выделение формальдегида из продуктов, материалов и отходов, статистикой практически не учитываются. Это иллюстрировано ниже на примере выполненной инвентаризации источников выбросов формальдегида в г. Гомеле.

Валовые выбросы формальдегида в Беларуси в 2004 г. составили по данным статистики 62.1 т; согласно этим же данным, в Гомеле в 2004 г. выброшено в атмосферу 3.8 т. Расчеты с использованием удельных показателей выбросов показали, что суммарный выброс формальдегида в атмосферу г. Гомеля в 2004 г. существенно выше – 43.6 т. При этом выбросы от стационарного сжигания топлива составили 5.86 т (14%), от производственных процессов – 3.8 т (9%), от передвижных источников – 33.43 т (76%) (табл. 1). Таким образом, статистикой недоучи-

тывается около 90% поступающего в атмосферу формальдегида [28].

Таблица 1. Выбросы формальдегида в г. Гомеле в 2004 г., т

Категория источника	Выбросы
Сжигание в энергетике и промышленности	5.38
Сжигание в жилищно-коммунальном секторе и населением	0.48
Процессы, связанные со сжиганием в обрабатывающей промышленности	0.80
Производственные процессы	3.00
Дорожный транспорт	33.43
Обработка и удаление отходов	0.54
Всего	43.63

Ориентировочная оценка фотохимического образования формальдегида в г. Гомеле, исходя из объемов выбросов углеводородов от стационарных и передвижных источников (1200 т) и коэффициентов трансформации (0.075) [22, 32], показала, что в 2004 г. в атмосферном воздухе г. Гомеля фотохимическое образование формальдегида составило около 90 т в год, что примерно вдвое превышает выбросы от первичных источников.

Методики выполнения измерений формальдегида в атмосферном воздухе. В настоящее время в Беларуси допущены к применению следующие методики определения формальдегида в атмосфере [10]:

- метод с фенилгидразином основан на улавливании формальдегида из воздуха раствором серной кислоты;
- метод с ацетилацетоном основан на улавливании формальдегида ацетилацетоном в среде уксуснокислого аммония и фотометрическом определении образующегося соединения;
- методика определения формальдегида в воздухе методом газовой хроматографии МВИ МН 1960–2003;

МВИ массовой концентрации формальдегида в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе населенных мест флуориметрическим методом на анализаторе жидкости “Флюорат-02”.

Наиболее широко распространено применение метода с фенилгидразином: он является стандартным для пунктов мониторинга атмосферного воздуха в городах Беларуси. Как показано ниже, во многих случаях средние концентрации формальдегида в атмосферном воздухе городов СНГ на-

ходятся на уровне нижней границы рабочего диапазона измерений как метода с фенилгидразином, так и метода с ацетилацетоном, что сказывается на точности измерений.

Методики измерений формальдегида за рубежом весьма многочисленны [11], в том числе и основанных на физических принципах (например, дифференциальная оптическая абсорбционная спектроскопия – DOAS). Однако в системах фоновой мониторинга атмосферного воздуха в последние годы используется чаще всего метод с использованием 2,4-DNPH и жидкостной хроматографии, который представляется весьма перспективным.

Содержание формальдегида в атмосферном воздухе.

Содержание формальдегида в атмосферном воздухе фоновых территорий. Фоновое содержание формальдегида в воздухе на суше составляет от сотых долей до 2–3 ppb [6]. В высоких широтах обоих полушарий уровень формальдегида ниже, чем в воздухе тропических районов. Вероятно, это связано с более высоким уровнем солнечной радиации в тропиках, интенсифицирующим образование карбониллов при фотохимическом окислении углеводородов [20].

В фоновых условиях содержание формальдегида в атмосфере относительно мало меняется в течение суток. Отмечается увеличение данного соединения на 5–10% в полуденные часы, что также связано с фотоокислением атмосферных углеводородов [23].

В настоящее время в Европе формальдегид (в составе других ЛОС) замеряется на ряде станций Программы ЕМЕП. В 1999–2005 гг. измерения выполнялись на 11 станциях, расположенных в Чехии, Германии, Финляндии, Франции и Испании) [27].

Динамика средних годовых содержаний формальдегида на станциях ЕМЕП приведена на рис. 1.

В целом фоновое содержание формальдегида в атмосферном воздухе Европы увеличивается с севера на юг: минимальная средняя годовая концентрация за этот период составила 0.49 мкг/м³ (станция Birkenes, Норвегия), максимальная – 1.97 мкг/м³ (станция La Tardiere, Франция).

Средняя годовая фоновая концентрация формальдегида в атмосферном воздухе на территории Европы за период с 1999 по 2005 г. изменялась в диапазоне 0.9–1.4 мкг/м³. Тренды фоновых концентраций формальдегида в атмосферном воздухе не выявляются. На большинстве станций

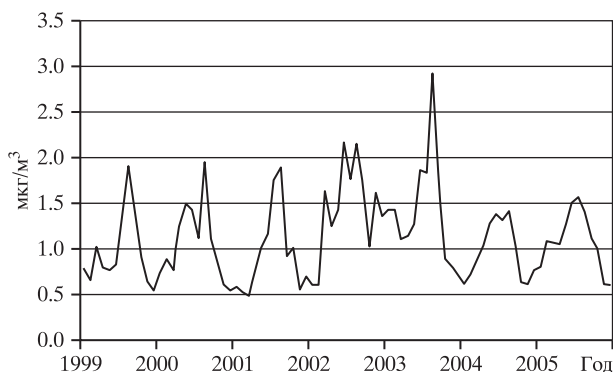


Рис. 1. Динамика среднемесячных фоновых концентраций формальдегида в атмосферном воздухе Европы (по данным Программы ЕМЕП).

хорошо выражены летние максимумы концентраций формальдегида в атмосферном воздухе.

В странах СНГ мониторинг формальдегида в атмосферном воздухе фоновых территорий не проводится. В 2006–2008 гг. нами с использованием методики с фенилгидразином выполнены замеры формальдегида в атмосферном воздухе природного (лесные) и сельского фона (лесные ландшафты, сельские населенные пункты, сельскохозяйугодья) в 20–50 км от Минска. Результаты приведены в табл. 2.

Замеренные уровни формальдегида (кроме сельского населенного пункта) близки фоновым значениям, характерным для станций ЕМЕП.

Содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси. Формальдегид в атмосферном воздухе городов Беларуси измеряется уже более 20 лет; в настоящее время наблюдения за формальдегидом проводятся в 13 городах более чем на 50 постах [9, 14].

Осредненная по всем городам годовая концентрация формальдегида в атмосферном воздухе

Таблица 2. Содержание формальдегида в атмосферном воздухе фоновых территорий, мкг/м³

Место проведения измерений	Сезон	Диапазон содержаний формальдегида	Среднее содержание
Еловый лес	Весна	1.3	1.3
Сельский населенный пункт	“	1.9–5.2	4.0
Берег водохранилища	“	1.3–1.9	1.7

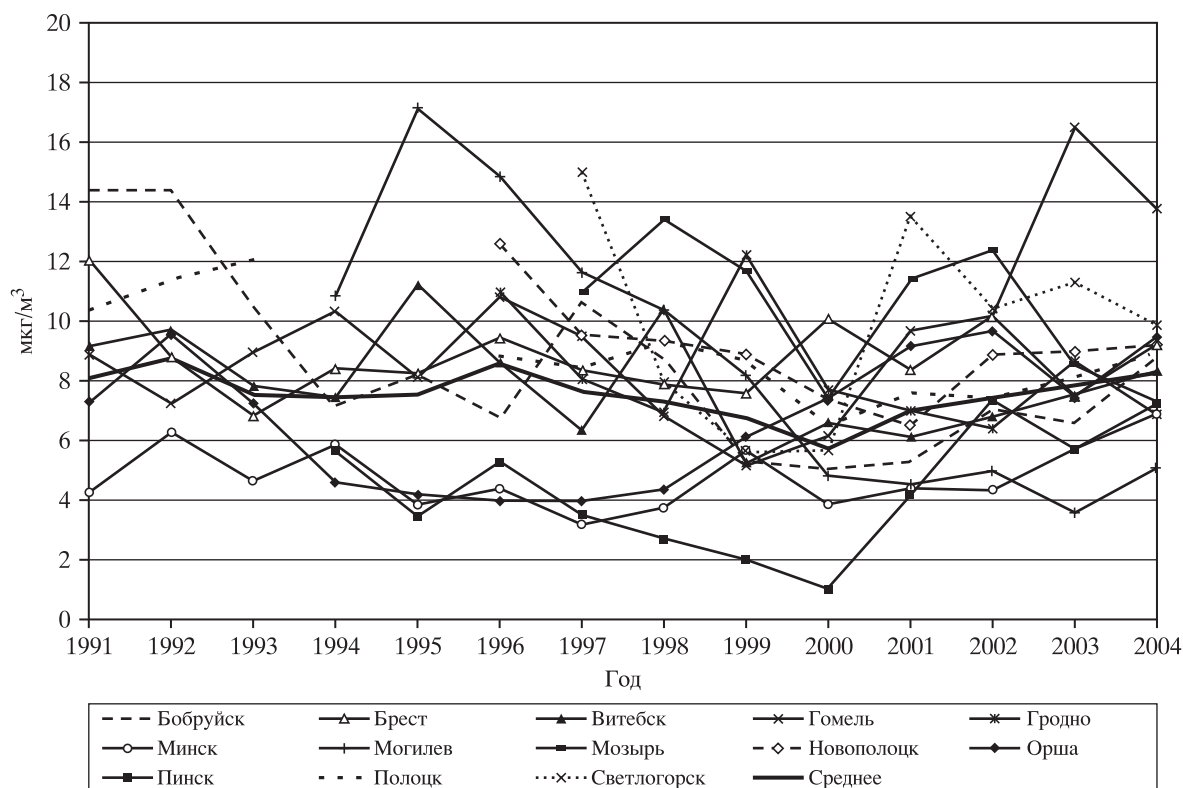


Рис. 2. Динамика среднегодовых концентраций формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси.

городов Беларуси с 1990 по 2005 г. составляла $5.9\text{--}8.1\text{ мкг/м}^3$ (рис. 2). Наблюдались существенные отклонения среднего содержания от города к городу; при этом зависимости содержания формальдегида от величины города либо его промышленного потенциала не выявляются. Так, минимальные среднегодовые концентрации формальдегида в атмосферном воздухе для периода с 2000 по 2004 г. характерны для Могилева (4.6 мкг/м^3) и Минска (5.1 мкг/м^3) — крупнейших промышленных центров, максимальные — для Речицы (12.8 мкг/м^3) — сравнительно небольшого города, и Гомеля (11.3 мкг/м^3) — крупного промышленного центра. В отдельные годы в некоторых городах среднегодовая концентрация формальдегида достигала $13\text{--}17\text{ мкг/м}^3$.

Среднегодовое содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов, где ведется контроль за его содержанием, устойчиво превышало предельно допустимую величину на протяжении 1991–2004 гг. (до изменения ПДК среднесуточной) в 2–3 раза.

Если рассматривать период после 1991 г. в целом, то тренд средних концентраций формальдегида не выражен. Однако после 2000 г. отмечается некоторый рост средних содержаний формальдегида, но устойчивость тенденции неясная (рис. 2).

Максимальные уровни содержания формальдегида характерны для летних месяцев ($8.6\text{--}9.8\text{ мкг/м}^3$),

минимальные — для зимних ($6.8\text{--}6.9\text{ мкг/м}^3$), что свидетельствует о значительном вкладе фотохимического образования формальдегида в теплый период.

Детальный анализ данных мониторинга формальдегида в атмосферном воздухе г. Гомеля показал, что содержание формальдегида достоверно коррелирует с содержанием аммиака, фенола и диоксида азота, из метеопараметров — с температурой воздуха. Анализ по срокам наблюдений показал, что максимальная среднегодовая концентрация характерна для наблюдений в 13 ч (13.7 мкг/м^3), минимальная — в 1 ч (8.0 мкг/м^3).

Формальдегид в атмосферном воздухе городов Российской Федерации. Согласно [4], формальдегид — один из основных загрязнителей атмосферы городов России, причем проблема загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом обостряется с каждым годом. Так, в 1999 г. из 22 городов Российской Федерации, включенных в приоритетный список по загрязнению воздуха (ИЗА > 14), в 18 формальдегид входил в список веществ, определяющих высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, а в 6 он был первым в списке. В 2001 г. из 32 городов такого списка в 29 формальдегид был в числе приоритетных (из них в 11 городах он — первый в списке), в 2002 г. — в

32 из 35 (в 12 – первым), в 2003 г. – в 37 из 44 (только в одном – первоочередным).

В 2001 г. в 11 городах были зарегистрированы разовые концентрации формальдегида, превышающие ПДКм.р. в 5 раз, а в двух городах (Владивосток, Пермь) – более чем в 10 раз [3]. В 2003 г. 45 городов Российской Федерации были включены в приоритетный список с самым высоким уровнем загрязнения воздуха (ИЗА выше 14), а в 38 высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха связан со значительными концентрациями формальдегида.

По данным Московского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (МосЦГМС) и ГПУ “Мосэкомониторинг” уровень содержания формальдегида в атмосферном воздухе Москвы стабильно превышает ПДК; в период с 1995 по 2004 г. он изменялся от 1.7 до 3.7 ПДКс.с. (5.1–11.1 мкг/м³) [2, 5]. В 2004 г., когда среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе города составляло 3.7 ПДК, превышение гигиенического норматива по формальдегиду наблюдалось в 99% замеров. В 1% случаев отмечались десятикратные превышения ПДК.

В Тбилиси в 1984–1998 гг. среднегодовая концентрация формальдегида в атмосферном воздухе варьировала от 7 до 15 мкг/м³ [36].

Отмечается [13], что в Бишкеке наибольшие опасения вызывает устойчивый рост концентраций в атмосфере формальдегида, которые в последние годы превышают ПДК в 7 раз.

Согласно [8], в 2004 г. среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе в г. Алматы составило 17 мкг/м³ (5.6 ПДК), в Шымкенте – 16 мкг/м³, Караганде – 13 мкг/м³.

Близкий диапазон значений среднегодовых концентраций формальдегида в атмосферном воздухе характерен и для городов других стран СНГ.

Формальдегид в атмосферном воздухе стран Европы. Формальдегид в странах ЕС обычно не входит в национальные программы мониторинга качества атмосферного воздуха, поскольку не регулируется директивами ЕС и не рассматривается как приоритетное загрязняющее атмосферный воздух соединение. Лишь в европейских странах бывшего СССР (Литва, Латвия, Эстония), в некоторых восточно-европейских странах (Польша, Румыния) формальдегид входит либо входил в программы мониторинга [15]. Так, указывается [31], что практически во всех городах Латвии концентрация формальдегида в атмосферном воздухе превышала значение ПДК (3 мкг/м³).

Основные данные о содержании формальдегида в других странах получены в результате краткосрочных серий наблюдений в разные годы. Указывается [21], что среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе промышленных районов Европы составляет 7–12 мкг/м³. Согласно [28], в атмосферном воздухе городов содержание формальдегида находится в пределах 1–20 мкг/м³ с большими вариациями в зависимости от локальных условий; в случаях интенсивного транспорта или при сильных инверсиях содержание может достигать 100 мкг/м³.

Согласно замерам во Франкфурте (Германия), средняя концентрация формальдегида в атмосферном воздухе составила 7 мкг/м³. При продолжительных измерениях в Майнц-Буденхайме получены средние концентрации формальдегида 8–20 мкг/м³; максимальные замеренные уровни составили 99 мкг/м³ [21].

В центре Будапешта замеренная концентрация формальдегида составляет 20–40 ppb (24.6–49.2 мкг/м³), на окраине города – 10–20 ppb (12.3–24.6 мкг/м³), превышая установленные пределы в несколько раз. При этом максимальная зафиксированная концентрация формальдегида составила 180 ppb (221 мкг/м³) [37].

В Риме замеры, выполненные в 1994–1997 гг. в центральной части города, показали, что концентрация формальдегида (часовое осреднение) изменяется от 7 до 28 ppb (8.6–34.4 мкг/м³) летом и от 7 до 17 ppb (8.6–20.9 мкг/м³) зимой [35].

В Верхней Силезии, в Катовице (Польша) концентрация формальдегида в атмосферном воздухе варьирует от 2.6 до 44 мкг/м³, причем максимальные содержания могут достигать 326 мкг/м³ [18].

Согласно [29], в Париже средние концентрации формальдегида составляют 2–14 мкг/м³.

Формальдегид в атмосферном воздухе городов США. Формальдегид не входит в программы систем национального мониторинга США (NAMS, SLAMS), однако он включен в ряд других программ мониторинга, в частности, Программу мониторинга фотохимического загрязнения воздуха RAMS, Национальную пилотную программу воздушных токсикантов, а также в программы контроля состояния атмосферного воздуха многих штатов. Это обусловлено тем, что в США формальдегид входит в национальный перечень воздушных токсикантов (Hazardous Air Pollutants – HAP), включающий 189 веществ. Формальдегид также включен в список 30 загрязняющих веществ, выбросы которых представляют наиболь-

шую опасность для жизни и здоровья населения; вклад формальдегида в суммарные выбросы данных веществ составляет порядка 24% [34].

По программе фотохимического мониторинга (PAMS) с 1993 г. проводятся измерения концентраций 56 ЛОС, в том числе 9, входящих в список НАР в 25 регионах, состояние воздушной среды которых рассматривается как особо неудовлетворительное с точки зрения содержания озона. На станциях замеры выполняют в летние сезоны. Методики измерений разнообразны: часовые (автоматическая газовая хроматография), трехчасовые и 24-х часовые пробы (отбор в канистры). В последние годы данная сеть все больше вовлекается в мониторинг воздушных токсикантов.

В конце 1990-х гг. АОС США запущен пилотный проект “Национальный план мониторинга воздушных токсикантов” для получения информации о пространственной и временной вариабельности концентраций токсикантов в атмосферном воздухе. Данные, полученные в рамках этой программы, наряду с указанной выше сетью PAMS, послужили основой для создания Национальной сети мониторинга воздушных токсикантов. Программа началась с анализа имеющейся информации и выполнения ряда пилотных проектов по мониторингу токсикантов в городах Провиденс, Тампа, Детройт, Сиэтл и 6 малых городах.

Согласно [17], к настоящему времени в США примерно на 300 постах объединенными усилиями программ мониторинга (федеральных, программ штатов, местных и племенных) собирается информация об опасных загрязнителях атмосферного воздуха. Около 250 станций по мониторингу воздушных токсикантов поддерживается агентствами штатов и местными органами, в основном по собственной инициативе, поскольку до последнего времени по данному вопросу отсутствовали федеральные требования. Некоторые результаты мониторинга по программам мониторинга токсикантов приведены ниже.

В Детройте пилотный проект включает замеры токсикантов на 8 постах [26]. Отбор ЛОС, карбонилов, ПАУ и тяжелых металлов проводится один раз в 6 дней в течение 10–11 мес. в году. Средние замеренные концентрации формальдегида в воздухе Детройта составили в зависимости от поста от 2.37 до 6.53 ppb (от 2.92 до 8.03 мкг/м³).

В Сиэтле, согласно [40], средние годовые концентрации формальдегида составили 1.23 ± 0.48 ppb (1.88 ± 0.59 мкг/м³) при средней для городов США – 4.21 ppb (5.18 мкг/м³).

Калифорнийское агентство по исследованию атмосферного воздуха (CARB) идентифицировало формальдегид как канцероген [38]. Он включен в перечень 10 приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха, представляющих наибольшую опасность, занимая 5-е место. Согласно оценкам, в 2003 г. на территории штата имело место 23 дополнительных случая смерти на 1 млн человек от рака вследствие воздействия формальдегида. Исследования на юге штата в 1980-х гг. показали, что разовые значения концентрации варьируют от 1.23 мкг/м³ до 105 мкг/м³. Отмечается [22], что в начале 1990-х гг. концентрация формальдегида в Калифорнии варьировала от 3.9 мкг/м³ в районе Сан-Франциско до 6.3 мкг/м³ на юге штата (суточные пробы) при среднем значении 5.4 мкг/м³. Согласно данным CARB [38], с 1990 по 1994 г. средние годовые концентрации формальдегида в атмосферном воздухе Калифорнии составили 1.7–2.2 ppb (2.1–2.7 мкг/м³); с 1995 по 2003 г. концентрации изменялись в диапазоне 2.5–3.5 ppb (3.1–4.3 мкг/м³).

Необходимо отметить, что, несмотря на значительное внимание к формальдегиду в США уровни концентрации формальдегида не учитываются при оценке суммарного загрязнения (индекса загрязнения атмосферы – API), как это принято в странах СНГ, где рассчитывается индекс суммарного загрязнения (ИЗА) на основе концентраций 5 приоритетных загрязняющих веществ в воздухе.

Для городов стран Азии и Латинской Америки характерна значительная вариабельность содержания формальдегида в атмосферном воздухе. В частности, указывается [30], что в Сеуле концентрации формальдегида в атмосферном воздухе составляют 15–48 мкг/м³. Замеры в Гонконге показали содержания формальдегида в диапазоне 0.6–11.3 мкг/м³, Осаке – 0.1–4.3 ppb (0.1–5.3 мкг/м³), Мехико 5.9–110 ppb (7.3–135 мкг/м³), Рио-де-Жанейро – 1.5–54.3 ppb (1.8–66.8 мкг/м³) [28].

Заключение. В целом можно отметить, что уровни содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси и других стран СНГ сопоставимы с результатами измерений в городах Европы. Однако в сравнении с замерами в США средние содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов стран СНГ несколько выше, что может быть обусловлено различиями в используемых методиках, в частности, погрешностями ручного 20-минутного отбора.

В последние годы в Беларуси происходит рост средних концентраций формальдегида в атмосферном воздухе. В то же время фиксируе-

мые сейчас средние концентрации формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси не выше, чем в начале 1990-х годов. Не установлена четкая связь средних концентраций формальдегида в атмосферном воздухе города с уровнями (объемами) выбросов данного соединения.

Практически везде в странах бывшего СССР, где формальдегид контролируется в атмосферном воздухе, он является приоритетным загрязняющим веществом в атмосфере, что связано с ПДКс.с. (3 мкг/м³). После того, как в Беларуси в 2005 г. среднесуточная ПДК была повышена до 12 мкг/м³, количество превышений ПДКс.с. резко сократилось. В соответствии с рекомендациями ВОЗ, опасный уровень краткосрочного (30 мин.) воздействия формальдегида составляет 100 мкг/м³; для концентраций более длительного осреднения рекомендации отсутствуют. Однако это обстоятельство не снижает важность наблюдений и исследования формальдегида в атмосферном воздухе, учитывая токсикологические свойства формальдегида, его роль в фотохимических процессах в атмосфере. Формальдегид как один из опасных воздушных токсикантов не должен быть вычеркнут из программ мониторинга воздушной среды городов.

Благодарности. Автор выражает признательность Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за предоставленную информацию о качестве атмосферного воздуха в городах Беларуси и поддержку данного исследования, всем сотрудникам, участвовавшим в проведении экспериментальных исследований, сборе и обработке информации, экспертам Программы ЕМЕП за ценные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. СПб.: Астерин, 2008. 254 с.
2. Бюллетень о загрязнении воздушной среды города Москвы за 2004 год. М.: Мосэкомониторинг, 2005. 48 с.
3. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2001 году". М., 2002. 492 с.
4. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году". М., 2006. 499 с.
5. Доклад о состоянии окружающей природной среды Москвы в 2000–2001 годах. М., 2002. 102 с.
6. Загрязнение атмосферы формальдегидом: аналитический обзор / Скубневская Г.И., Дульцова Г.Г. Новосибирск: Институт химической кинетики и горения, 1994. 69 с.
7. Исидоров В. А. Органическая химия атмосферы / Под ред. Иоффе Б.В. СПб.: Химия, 1992. 264 с.
8. Национальный доклад о состоянии окружающей среды в Республике Казахстан в 2004 году. Алматы, 2005. 229 с.
9. Гидрометеорологические наблюдения, состояние и загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных вод и почв, радиационная обстановка в Республике Беларусь в 2005 году. Мн.: РУП Бел НИЦ "Экология", 2006. 160 с.
10. Реестр методик выполнения измерений в области экологического контроля. Ч. 2. Воздух атмосферный, промышленные выбросы. СТБ 1126–98. Минск, 2006. 66 с.
11. Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу (перевод с английского). 2001. 270 с.
12. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186–89. Часть I и II. Л.: Госкомгидромет СССР, 1991. 693 с.
13. Состояние окружающей среды в Бишкеке в 2001 г. 2002. / http://www.ceroi.net/reports/bishkek/issues/air_quality/state.htm.
14. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2005 г. Мн.: РУП БелНИЦ "Экология", 2006. 324 с.
15. Air Pollution Monitoring in Europe – Problems and Trends. Topic Report № 26/1996. EPA, 1996. 91 p.
16. Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. WHO, 2000. 288 p.
17. Air Toxics Monitoring Concept Paper. 2000. 44 p.
18. Chorazy M., Szeliga J., Strózyk M., Cimander B. Ambient Air Pollutants in Upper Silesia: Partial Chemical Composition and Biological Activity // Environmental Health Perspectives 102, Supplement 4, October 1994. P. 61–66.
19. A Rapid Method for the Estimation of the Environmental Parameters Octanol / Swann R.L., Laskowski D.A., McCall P.J et al. Water Partition Coefficient, Soil Sorption Constant, Water to Air Ratio and Water Solubility. Residue Rev 85. 1983. P. 17–28.
20. Seinfeld J. N. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. N.Y.: John Wiley, 1986. 768 p.
21. Environmental Health Criteria 89. Formaldehyde. Geneva. WHO, 1989. 182 p.
22. Final Report on the Identification of Formaldehyde as a Toxic Air Contaminant / Prepared by the Staffs of the Air Resources Board and the Office of Environmental Health Hazard Assessment July 1992. 17 p.
23. Fushimi K., Miyake Y. Contents of Formaldehyde in the Air Above the Surface of the Ocean // J. Geophys. Res. 1980. V. 85C. № 12. P. 7533–7536.

24. *Greenbalt M.* Formaldehyde Toxicology: a Review of Recent Developments // Proc. 2nd. Conf. The Role of Formaldehyde in Biological Systems. Budapest, 1987. P. 53–59.
25. *Grosjean D.* Formaldehyde and other carbonyls in Los Angeles ambient air // Environm. Sci. and Technol., 1982. V. 16. P. 254–264.
26. *Heindorf M.* Detroit Pilot Project: Preliminary Conclusions. Pilot City Data Analysis Conference. Chicago. May 13–14, 2003. 18 p.
27. *Hjellbrekke A.-G.* Data Report 2005. Acidifying and atrophying compounds. EMEP/CCC-Report 1/2007. 123 p.
28. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 88. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. World Health Organization. Lyon, France, 2006. 497 p.
29. *Kalabokas P., Carlier P., Fresnet P.* et al. Field Studies of Aldehydes Chemistry in the Paris Area // Atmospheric Environment. 1988. V. 22. № 1. P. 141–155.
30. *Kim Y. S.* Formaldehyde Levels in Seul Indoor Microenvironments // Man and Ecosystem. Proc. 8th World Clean Air Congress, the Hague. 1989. Amsterdam, 1989. V. 1. P. 301–306.
31. Latvian State of the Environment Report 1998 / http://www.vkmc.gov.lv/soe_engl/index.htm.
32. Locating and Estimating air emissions from sources of formaldehyde (revised). EPA-450/4-91-012. 1991. 123 p.
33. *Lowe D.C., Schmidt U., Ehhalt D.H.* A new technique for measuring tropospheric formaldehyde [CH₂O]. Geophys Res Lett 7. 1980. P. 825–828.
34. National Air Toxic Program: The Integrated Urban Strategy. Report to Congress EPA-453/R-99-007. 2000. 159 p.
35. *Possanzini M., Vincenzo Di Palo and Cecinato A.* Sources and Photodecomposition of Formaldehyde and Acetaldehyde in Rome Ambient Air // Atmospheric Environment Volume 36, Issue 19, July 2002. P. 3195–3201.
36. State of the Environment in Tbilisi 2000 / http://www.ceroi.net/reports/tbilisi/issues/air_quality/index.htm.
37. *Szilagyi I., Demeter A., Turanyi T., Berces T.* Non-methane Hydrocarbon and Aldehyde Measurements in Budapesht, Hungary // Ibid. 1991. Vol. 25A. № 10. P. 2103–2110.
38. The California Almanac of Emissions and Air Quality / A. Alexis, P. Cox et al. 2005. 504 p.
39. Toxicological Profile for Formaldehyde. US Department of Health and Human Services. 1999. 468 p.
40. *Williamson J., Westberg H.* Seattle Air Toxics Studies. Air Toxics Monitoring and Data Analysis // Workshop October 29–30. Chicago, IL. 2001. 39 p.

Formaldehyde in Urban Air

S.V. Kakareka

Institute for Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus

The properties of formaldehyde in the environment, approaches to the valuation of its content in the air, measuring techniques, and the main sources of its releases to the environment are discussed. An overview of the measured concentrations of formaldehyde in the air in the cities of Belarus and other CIS countries, Europe and the USA.

It is shown that the average concentration of formaldehyde in ambient air of cities of the CIS as a whole are close to the average annual levels of content in the cities of Europe and somewhat lower than in the U.S.