

УДК 543.8+504.3.054

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДСКОЙ ЗОНЫ

Хаустова С. А., студент гр. ХОм-251, I курс
Боркина Г. Г., к.х.н., доцент, Котельникова Т. С., к.х.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Современное развитие промышленности, транспорта и городского хозяйства существенно влияет на качество атмосферного воздуха, что представляет собой одну из актуальных глобальных экологических проблем. Загрязнение атмосферы негативно сказывается на здоровье человека, вызывая острые и хронические заболевания, на экосистемах и климате и требует принятия мер на государственном, региональном и муниципальном уровнях. Эффективный мониторинг состояния воздуха становится ключевым инструментом для выявления источников загрязнений, оценки их воздействия и разработки мер по уменьшению негативных последствий.

В выбросах предприятий различных отраслей промышленности и транспорта содержится большое число различных вредных примесей. Повсеместно из всех источников в атмосферный воздух городов поступают диоксид серы (SO_2), взвешенные вещества, оксид углерода (CO), оксиды азота (NO , NO_2), которые принято называть основными. Много вредных веществ образуется при сжигании топлива. Также для отдельных производств, предприятий и цехов, расположенных в городах, характерны выбросы специфических веществ.

Помимо основных примесей в городе Кемерово проводятся наблюдения за следующими специфическими примесями: гидрохлорид, аммиак (NH_3), фенол, сажа и формальдегид [1].

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в городах Российской Федерации возложен на Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Для анализа качества воздуха применяются разработанные методики измерений массовых концентраций загрязняющих веществ, установленные руководящими документами и основанные на различных классических (химических) и инструментальных (физико-химических и физических) методах анализа.

Ведущая роль среди методов анализа проб атмосферного воздуха отводится спектрофотометрии. Метод основан на измерении поглощения света анализируемым раствором и позволяет определять концентрацию компонента в зависимости от длины волны пропускаемого светового потока [2]. На анализ берут пробу атмосферного воздуха, переведенную в раствор и подготовленную

ную согласно методике определения. Измерения оптической плотности проводятся на приборах типа спектрофотометра UNICO 1201, КФК-3, Альтаир КФК-300.

На ряду со спектрофотометрией используется электрохимические методы анализа. Электрохимические методы анализа основаны на использовании процессов, протекающих в электрохимической ячейке, на поверхности электрода или в приэлектродном пространстве. Любой электрический параметр (потенциал, сила тока, сопротивление и др.), функционально связанный с концентрацией анализируемого раствора и поддающийся правильному измерению, может служить аналитическим сигналом [3]. Газоанализаторы типа Элан, Палладий-3М и К-100 используют принудительный пробоотбор для прокачки воздуха через датчики, преобразуя концентрацию газа в электрический сигнал, отображаемый на дисплее.

Гравиметрический метод (весовой анализ) – это эталонный, наиболее точный способ определения концентрации взвешенных частиц (пыли, аэрозолей) в атмосферном воздухе. Метод основан на пропускании известного объема воздуха через фильтр и последующем взвешивании уловленной пыли, что позволяет рассчитать ее массу [3]. Для гравиметрического метода требуются весы с высоким классом точности, как например весы лабораторные OHAUS Pioneer, с возможностью определять веса до четвертого, реже до пятого знака после запятой.

Формальдегид, как одно из загрязняющих веществ в российских городах, требует особого внимания из-за увеличения среднегодовых концентраций в воздухе примерно на 5% по данным регулярных наблюдений за период 2019 – 2023 гг. [4].

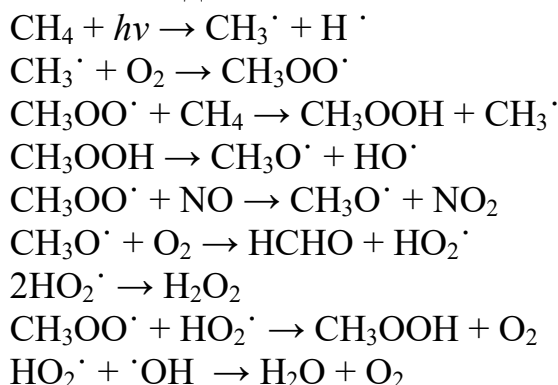
Воздействие повышенных концентраций формальдегида приводит к раздражению верхних дыхательных путей и глаз, воспалительным и гиперпластическим изменениям слизистой. Вдыхание газообразного формальдегида даже в небольших количествах сопровождается бронхитом и пневмонией, обусловленной ингаляционным воздействием токсиканта. Международное агентство по изучению рака (IARC) классифицирует формальдегид как канцероген [5].

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, регламентирующему предельные допустимые значения загрязнителей для атмосферы городов и сельских населённых пунктов, формальдегид по токсическому действию отнесен ко 2 классу опасности – высокоопасные вещества. Для него установлены следующие предельно допустимые показатели: максимальная разовая концентрация – $0,050 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная – $0,010 \text{ мг/м}^3$ [6]. Рекомендуемый опасный уровень краткосрочного воздействия формальдегида (30 мин), по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), составляет $0,100 \text{ мг/м}^3$. Такая концентрация уже различима для органов чувств, и поскольку это более чем на порядок ниже предполагаемого порога цитотоксического повреждения слизистой оболочки носа, данное рекомендуемое значение представляет со-

бой уровень воздействия, при котором риск развития рака верхних дыхательных путей у человека незначителен [7].

В городской среде можно выделить несколько источников накопления формальдегида в воздухе. Основной техногенный источник – выхлопные газы автотранспорта – в условиях современного города источник трудноконтролируемый и дающий существенное загрязнение воздуха. Другой источник – это выбросы промышленных предприятий; несмотря на наличие очистных сооружений, избежать попадания формальдегида в атмосферу практически невозможно из-за несанкционированных источников выбросов в виде неплотности соединений трубопроводов и арматуры. Следует отметить, что в г. Кемерово работает производство по выпуску феноло-формальдегидных смол (ООО ПО «Токем») и несколько организаций по производству деревянных и строительных материалов и изделий, использующих формальдегид и смолы на его основе [8]. Кроме того, формальдегид относят к классу фотооксидантов, способных образовываться в воздухе под влиянием солнечной радиации при фотоокислении разнообразных органических соединений, таких как метан, пропилен, бензин и другие углеводороды [9].

Преобладающие в атмосфере углеводороды, такие как метан, изопрен и терпены, являются основными природными предшественниками формальдегида. Механизма образования формальдегида из метана в воздухе можно представить в виде:



В условиях городской загрязнённой атмосферы значимой является реакция метилпероксидного радикала $\text{CH}_3\text{OO}\cdot$ с NO .

Хотя в итоге многочисленных реакций метан в конечном счёте окисляется до углекислого газа и воды, формальдегид является промежуточным продуктом этого процесса и не исключено его попадание в органы дыхания человека. Присутствие метана в атмосфере является важным фактором в атмосферной фотохимии формальдегида [9].

Отбор проб воздуха для определения концентраций формальдегида в г. Кемерово проводился Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) ежедневно (за исключением воскресенья и нерабочих праздничных дней) на шести пунктах наблюдения за загрязнением воздуха. Общее число отобранных и проанализированных проб во всех районах города в 2019 г. составило 5214, в 2020 г. – 5206, в 2021 г. –

5220, где на каждый пост наблюдений приходилось в среднем по 72 пробы в месяц.

Отбор проб проводится на высоте 1,5–3,5 метра от поверхности земли при помощи побудителя расхода воздуха. Фиксированный объем атмосферного воздуха принудительно аспирируется в поглотительный прибор Рыхтера, где проходит через раствор для барботаж и поглощения формальдегида. После раствор с поглощенным формальдегидом отбирается из прибора Рыхтера и подвергается пробоподготовке. Определение концентрации формальдегида в пробе осуществляется фотометрически, при длине волны 412 нм, с последующим пересчетом оптической плотности в массовую концентрацию формальдегида в исследуемом объеме воздуха.

Тенденция концентрации формальдегида в атмосферном воздухе жилой зоны г. Кемерово в 2019 – 2021 гг. отражена на рис. 1 по месяцам.

В качестве значений массовой концентрации формальдегида в атмосферном воздухе г. Кемерово для построения графика взяты усредненные (среднеарифметические) по месяцам и по городу в целом значения результатов проанализированных проб за период с 2019 г по 2021 г включительно [4].

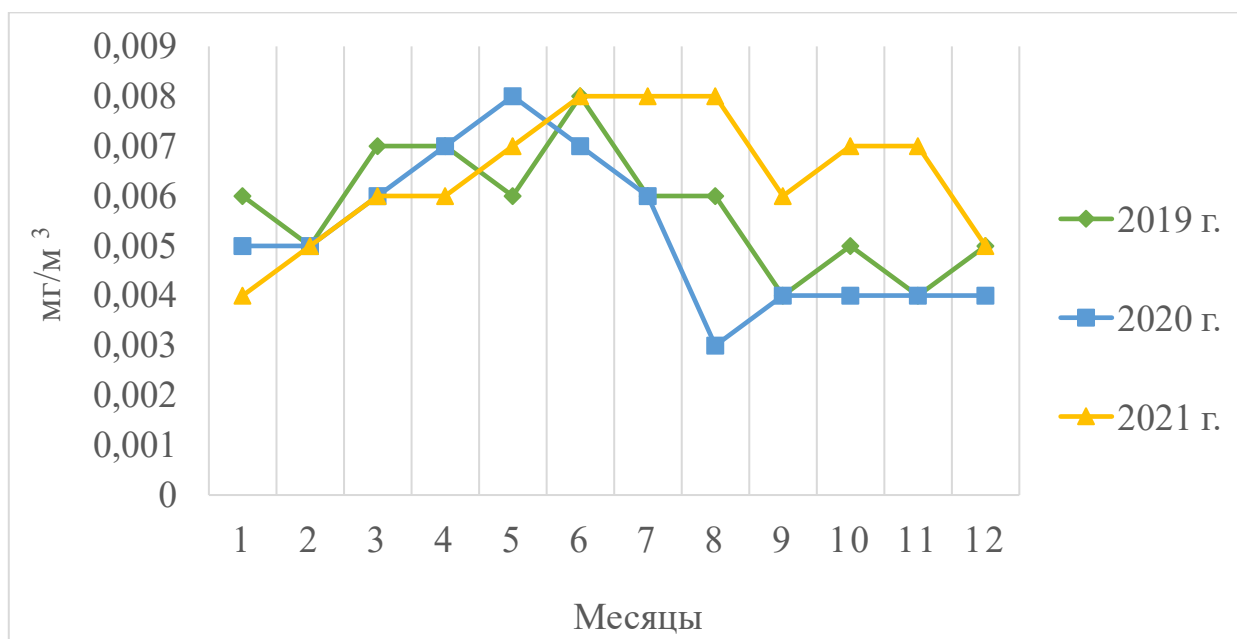


Рис. 1. Тенденция концентраций формальдегида в атмосферном воздухе г. Кемерово 2019 – 2021 гг.

На основе полученных результатов испытаний проб атмосферного воздуха для определения концентрации формальдегида в г. Кемерово за период с 2019 г по 2021 г можно сделать вывод о зависимости концентрации формальдегида от сезонов года. Из графика следует, что пиковые значения приходятся на весенне-летний период (с мая по август). Минимальные концентрации формальдегида зафиксированы в осенне-зимний период (с сентября по февраль). Также следует отметить рост значений концентраций формальдегида за

2021 г в летний (июнь, июль, август) и осенний (сентябрь, октябрь, ноябрь) периоды в сравнении со значениями 2019 – 2020 гг. Данная тенденция может быть обусловлена возрастающим вкладом в загрязнение атмосферного воздуха вторичного образования формальдегида как промежуточного продукта при фотохимическом окислении органических соединений.

Несмотря на колебания значений концентраций формальдегида в атмосферном воздухе, все они лежат в пределах одного порядка, в целом не отличаются экстремальными значениями и не доходят до предельно допустимых показателей. Можно отметить, что минимальные показатели наблюдались в зимний период 2020 г, что, вероятно, связано с менее активным использованием автотранспорта в период пандемии.

Для регионов с развитым промышленным комплексом, к которым относится Кузбасс, работа Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) имеет важное значение и требует повышенного внимания и поддержки со стороны государственных органов как регионального, так и федерального значения.

Список литературы:

1. ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. Официальное издание. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 4 с. Охрана природы. Атмосфера: Сб. ГОСТов. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004 год.
2. Жуков, А. Ф. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа : Учебник для вузов / А. Ф. Жуков, И. Ф. Колосова, В. В. Кузнецов – Москва : Химия, 2001. – 496 с. – ISBN 5-7245-0953-9.
3. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа. В 2 т. : учебник для студентов учреждений высшего образования / Глубоков Ю. М., Головачева В. А., Ефимова Ю. А. [и др.] ; под ред. Ищенко А. А. ; – 8-е изд., стер. – Москва : Академия, 2014. – 352 с.
4. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Обзор состояния и загрязнения окружающей среды за 2019–2023 гг. – 2024. – 77 с.
5. Лазарев, Н. В. Вредные вещества в промышленности. Органические вещества: справочник / под ред. Н. В. Лазарева и Э. Н. Левиной. – Ленинград : Химия, 1976. – 623 с.
6. Санитарные правила и нормы САНПИН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» I. Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 62296 – URL: https://nagut6.gosuslugi.ru/netcat_files/174/2801/SP123685_21.pdf (дата обращения: 20.03.2026).

7. Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. – WHO, 2000. – 288 p.
– URL: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/7107999d-7e53-47aa-90e8-bb1d162ff46e/content> (дата обращения: 20.03.2026).
8. ООО ПО "ТОКЕМ" : официальный сайт. – Кемерово. – URL: <https://www.token.ru/ru/o-kompani/o-kompanii/ooo-potokem.html> (дата обращения: 20.03.2026).
9. Халиков, И. С. Формальдегид в атмосферном воздухе: источники поступления и пути удаления // Экологическая химия. – 2019, 28(6); с. 307–317.