



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (бакалаврская работа)

На тему «Исследования связей приземной концентрации формальдегида с метеорологическими параметрами по данным наблюдений на сети Росгидромета»

Исполнитель Суматохин Андрей Константинович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Крюкова Светлана Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор
Кузнецов Анатолий Дмитриевич

«___» _____ 2020 г.

Санкт-Петербург
2020_

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Загрязнение атмосферы.....	5
1.1 Определение загрязнения воздуха.....	5
1.2 Метеорологическая сеть наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы.....	6
1.3 Характеристики загрязнения атмосферы. Критерии качества атмосферного воздуха.....	8
1.4 Влияние атмосферного загрязнения воздуха на здоровье человека.....	11
1.5 Особенности информации о загрязнении атмосферы.....	13
1.6 Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха.....	14
Глава 2. Источники и факторы образования формальдегида.....	20
2.1. Источники атмосферного формальдегида.....	20
2.2. Природные источники формальдегида.....	21
2.3. Антропогенные источники формальдегида.....	22
2.4. Атмосферная химия формальдегида.....	24
2.5. Содержание формальдегида в отдаленных районах.....	26
2.6. Содержание формальдегида в помещении.....	27
2.7. Методы определения формальдегида в атмосфере.....	28
2.8. Производство измерений формальдегида в атмосферном воздухе.....	30
2.9. Отборы проб в замкнутом помещении.....	32
Глава 3. Исследование загрязнения воздуха Москвы формальдегидом в летний период 2018 г.....	35
3.1. Физико-географическое положение города Москвы.....	35
3.2. Общая экологическая обстановка атмосферного воздуха города Москвы.....	36
3.3. Исследование изменения загрязнения воздушного бассейна города Москвы формальдегидом.....	39
3.4. Общая оценка уровня загрязнения атмосферы Москвы формальдегидом.....	49
Заключение.....	52
Список используемой литературы.....	54
Приложение.....	57

Введение

Формальдегид является ключевой примесью атмосферы, которая позволяет дать оценку фотохимической деятельности рассеянных веществ в атмосфере. Основным источником образования формальдегида является промежуточное фотоокисление летучих углеводородных соединений, и в связи с этим его концентрация в атмосфере зависит от наличия свободных радикалов, связанных соотношениями между оксидами азота и других примесей. Изучение данной темы весьма актуально для мониторинга атмосферного воздуха, так как формальдегид является веществом второго класса опасности, и он способен оказывать раздражающее действие на организм человека, преобладавая общей токсичностью. При концентрациях существенно выше ПДК, формальдегид действует на центральную нервную систему, особенно на зрительные бугры и сетчатку глаз.

Данная тема является важной и по той причине, что в России в последние годы растет количество городов с повышенным содержанием формальдегида в атмосфере. Результаты наблюдения за его концентрацией в воздухе и выявление высоких уровней загрязнения служат информационной базой для реализации задач по государственному контролю источников выброса вредных веществ.

Целью данной работы является исследование связи концентрации формальдегида с метеорологическими параметрами за летний период 2018 года, необходимой для определения его возможной опасности для окружающей среды и жизнедеятельности человека, так как особенностью загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом является его преимущественная локализация в сравнительно небольшом наблюдаемом регионе. Объектом исследования является город Москва.

Предметом исследования является формальдегид, его воздействие, образование в атмосфере и его приземная концентрация с учетом влияния различных метеорологических показателей по городу Москва.

Основным методом исследования является анализ метеорологических характеристик за период наблюдения с июня по август 2018 года по основным показателям.

Структура работы: выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, которые подразделены на подглавы, заключения, списка использованной литературы и приложения.

В первой главе рассматриваются определение и характеристики загрязнения атмосферы, критерии качества атмосферного воздуха, влияние атмосферного загрязнения на здоровье человека, а также зависимость степени уровня загрязнения воздуха от погодных условий и их источники.

Во второй главе рассматривается формальдегид – его источники, способы образования, а также методы для его измерения и определения концентрации в атмосферном воздухе.

В третьей главе представлены результаты исследования и анализ временных рядов концентрации формальдегида в воздухе за летний период 2018 года г. Москвы.

В заключение дипломной работы сделаны основные выводы по результатам исследования.

1 Загрязнение атмосферы

1.1 Определение загрязнения воздуха

Уровень загрязнения атмосферы различными веществами определяется по выбросам из различных источников и характерными условиями их рассеивания. Исходя из этого, для соответствующей оценки при определённых критериях выбросов используют показатель потенциала загрязнения воздуха, который показывает, насколько атмосфера способна рассеивать различные примеси. На него, прежде всего, влияет совокупность различных метеорологических факторов, так как они напрямую влияют на уровень загрязнения атмосферы. Изменение потенциала загрязнения воздуха, прежде всего, зависят от турбулентных движений, а также скорости и направления ветра. Поэтому, сочетание данных процессов, исходя из тех районов, где метеорологические факторы способствуют благоприятному образованию вредных концентраций примесей, образуют высокий потенциал загрязнения атмосферы, тогда как в районах с низким потенциалом метеорологические условия способствуют значительному рассеиванию выбросов [1]. Это важно учитывать, так как степень загрязнения атмосферы при одинаковых количествах выбросов может существенно отличаться в зависимости от климатических условий данного района исследования.

Для определения различных территорий по степени оценки загрязнения дают климатологическую оценку потенциала загрязнения, а также учитывают наличие развитых приземных инверсий, которые представляют большую опасность, особенно в городской среде, так как в этом случае имеется множество различных источников выброса, которые будут накапливаться приподнятыми инверсиями.

Если в городе имеются высокие источники загрязнения, то в этом случае высокая концентрация примесей у земли может наблюдаться из-за слабой

скорости ветра, которая не превышает 6 м/с, для низких источников – 1-2 м/с, а наибольшее загрязнение при минимальной скорости – 0÷1 м/с.

1.2 Метеорологическая сеть наблюдений за состоянием загрязнения атмосферы

Система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха была образована Постановлением Совета Министров СССР 30 сентября 1963 года. Главному Управлению Гидрометеослужбы при Совете Министров СССР с целью поручения изучения химического состава атмосферы на территории СССР. Для этого система Гидрометеослужбы развернула сеть пунктов наблюдений для систематизации организованного сбора атмосферного воздуха с целью определения концентраций химических веществ, а также вредных примесей в нижнем слое атмосферы, в дальнейшем для детального химического лабораторного анализа взятых проб. Параллельно с этими исследованиями производились совместные метеорологические наблюдения, которые влияют на перенос и распространение загрязнителей в земной атмосфере. Руководство по наблюдению мониторингу загрязнения атмосферы в городах было возложено на ГГО им. А.И. Воейкова в г. Санкт-Петербург, которая выполняла большой ряд исследований в области распространения примесей в земной атмосфере, и в результате чего были выработаны методические основы организованной сети наблюдений [2].

В программе наблюдений были утверждены нормы минимального количества станций и постов, которые должны обеспечивать оперативной информацией о состоянии концентрации примесей на территории городов, а также методику определения классификации веществ для необходимого контроля их наличия в атмосферном воздухе. На основании полученной информации был определен порядок регистрации данных, статистический

анализ и средства обработки данных. Полученные результаты этих наблюдений положили начало Правилам [2], которые определяют следующие задачи:

- Порядок проведения наблюдений за загрязнением атмосферы
- Метод анализа путем химических исследований
- Метод сбора проб
- Обработка и статистический анализ полученной информации.

Важным показателем сети мониторинга загрязнения земной атмосферы является значительный охват и исследование большого количества вредных примесей в воздухе. Современные станции, расположенные во многих городах, позволяют выполнить подробный анализ на основании определения десятков различных веществ. Для необходимой оправдываемости данных наблюдений проводят из двух этапов проверку полученной информации: из ГГО данный материал исследования направляется в УГМС, а из УГМС пробы воздуха направляют на исследование в химические лаборатории [2].

Станции наблюдения подразделяют относительно их местоположения на фоновые (в жилом секторе), промышленные (на территории предприятий) и региональные. Более ранние наблюдения проводили в 4 срока, или при определенных условиях в 2 срока, но на сегодняшний день наблюдения производят лишь в один срок, что очень сильно нарушает достоверность исследуемых характеристик, в чем дать точную оценку весьма затруднительно. Исходя из местоположения источников и влияния погодной циркуляции атмосферы, формируются поля концентраций. В зависимости от типа города и его промышленности можно выявить определенный набор загрязнителей, подлежащих исследованию, и основные типы примесей, которые будут характерны для данного района подлежащие контролю.

Для полной оценки состояния атмосферы, как правило, организуют характерную для каждого типа местности сеть наблюдений, оценивают качественную сторону выбросов и выполняют измерения 6 – 8 веществ. Статистический анализ полученной информации позволяет составить индекс загрязненности атмосферного воздуха для изучения подробных характеристик.

В настоящее время в городах России проводят наблюдения за следующими веществами:

- Диоксид азота – NO_2
- Оксид азота - NO
- Диоксид серы – SO_2
- Сероводород – H_2S
- Оксид углерода - CO
- Сероуглерод – CS_2
- Фенол – $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
- Бензапирен – $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$
- Фторид водорода - HF
- Хлорид водорода - HCl
- Ароматические углеводороды
- Формальдегид – CH_2O .

В последнее время организовываются наблюдения за концентрациями озона (O_3) и мелких аэрозольных частиц (PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$), для чего производят реформирование наблюдений [3].

1.3 Характеристики загрязнения атмосферы. Критерии качества атмосферного воздуха

В атмосферу поступает большое количество различных загрязнителей при деятельности технических производств и транспорта. За мониторингом их содержания в атмосфере необходимы конкретные стандартные экологические нормативы, для этого было принято понятие о предельно допустимой концентрации. Величины ПДК для воздуха измеряются в $\text{мг}/\text{м}^3$, или в $\text{мкг}/\text{м}^3$. Под ПДК выражается максимум концентрации аэрозолей в атмосфере, которая непрерывно, в течение длительного периода на организм человека не способна

вызывать патологий или других осложнений, которые установлены настоящими положениями о защите здоровья человека. Уровни ПДК для наблюдения атмосферного воздуха населённых мест и закрытых помещений установлены СанПиН 2.1.6.1032-01 от Постановления Минздрава РФ от 17 мая 2001 г. N 14: "О введении в действие санитарных правил":

ПДК_{сс} — среднесуточное;

ПДК_{мр} — максимально-разовое.

Для классификации уровней загрязнения применяют следующие характеристики, которые сравниваются при фактической предельно допустимой концентрации загрязнителей (ПДК):

- Средняя суточная концентрация (сравнивается с ПДК_{сс});
- Максимально разовая концентрация (сравнивается с ПДК_{мр});
- Среднее квадратичное отклонение.

При сравнении предельно допустимых концентраций со средними определяют повторяемость разовых концентраций выше ПДК и свыше ПДК в 5 раз, а также число случаев, когда концентрация загрязняющего вещества была свыше ПДК в 10 раз [4].

Для определения качества воздуха используются следующие параметры:

- ИЗА – индекс загрязнения атмосферы, который рассчитывается из наблюдений среднегодовых концентраций для определения многолетнего режима загрязненности атмосферного воздуха.
- СИ – стандартный индекс, максимально разовая концентрация загрязнения, которая делится на ПДК и определяется из данных наблюдений сроками в месяц или год.
- Интегральный индекс загрязнения, учитывающий концентрацию загрязнителя, а также его воздействие на здоровье:

$$I_n = \sum_{i=1}^n l_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\text{ПДК}_i} \right) C_i$$

X_i – средняя годовая концентрация загрязнителя;

C_i – коэффициент, определяющий степень загрязнения атмосферного воздуха веществом (i) к степени загрязнения воздуха, согласно классу опасности которые соответствуют для 4 класса – 0,85, 3 класса – 1,0, 2 класса – 1,3 и для 1 класса – 1,5.

I_n – индекс загрязненности атмосферы, значения которых сопоставляют исходя из разного района или времени наблюдений и рассчитывают их из одинакового количества веществ ($n=m$). Для этого составляют вариационный ряд различных веществ, который состоит из наибольших значений индексов, по которому производят суммарный индекс загрязнения I_m .

Интегральный индекс загрязнения в целом определяет уровень загрязнения вещества относительно наблюдаемых уровней, который рассматривает уровень загрязнения относительно установленного ПДК [4].

Качество воздуха подразделяется на четыре категории относительно уровня загрязнения атмосферного воздуха:

- низкий уровень – при значении ИЗА меньше 5;
- повышенный уровень – при значении ИЗА от 5 до 6, СИ от 5 до 6;
- высокий уровень – при значении ИЗА от 5 до 10;
- очень высокий уровень – при значении ИЗА более 14, СИ более 10.

Сеть наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха исследует множество различных веществ, которые подразделяются на первичные загрязнители, поступающие непосредственно от источника, и вторичные которые образуются при последующих реакциях в атмосфере. Вся информация о проведенных наблюдениях хранится в территориальных управлениях по гидрометеорологии и охране окружающей среды, и поступает главную геофизическую обсерваторию им. А.И.Воейкова, где составляются ежегодники состояния загрязнения атмосферного воздуха.

Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 17 июня 2014 г. № 37 «О внесении изменения № 11 в ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих

веществ в атмосферном воздухе населенных мест» установлены новые гигиенические нормативы концентраций формальдегида:

- Максимальная разовая величина ПДК формальдегида установлена 50 мкг/м³ (вместо 35 мкг/м³),
- Среднесуточная – 10 мкг/м³ (вместо 3 мкг/м³)

Принятые нормативы определяют строгий порог по запаху, ниже минимальной подпороговой концентрации, что создает отсутствие рефлекторных реакций и ощущение запаха у человека при кратковременном воздействии формальдегида, из чего делается вывод, что принятый в наблюдениях уровень концентрации формальдегида способен оказывать раздражающее воздействие на организм человека.

1.4 Влияние атмосферного загрязнения воздуха на здоровье человека

Атмосфера в значительной степени наполняется различными выбросами антропогенного характера, которые в дальнейшем начинают перемешиваться, образуя различные соединения, а также образуются в процессе фотохимии, которые могут представлять более серьезную опасность, чем первичные продукты выброса. Их воздействие ослабляет иммунитет организма человека, вследствие чего он становится более восприимчивым к различным заболеваниям, такие как воспаления дыхательных путей и появление злокачественных образований. Сам процесс влияния атмосферного загрязнения на организм происходит, как и через органы дыхания, так и через кожный покров и желудочно-кишечный тракт.

Различные атмосферные загрязнители, взвешенные в воздухе, очень активно поглощаются человеком через дыхательные органы, вследствие этого в процессе дыхания достаточно быстро проявляются характерные симптомы отравления, где в дальнейшем различные поглощаемые вещества проникают в организм, вызывая заболевания. Для необходимой связи вещества с возникшим

вследствие его класса опасности определенного заболевания приводят уровень загрязнения, который выражается через суммарный индекс загрязнения атмосферы, имеющий прямую связь с числом случаев возникновения заболеваний. Исходя из этого, делается вывод, что превышение ПДК влечет за собой последствия для здоровья и жизнедеятельности человека, где индекс загрязненности атмосферы прямо указывает согласно получаемой информации о здоровье населения соответствующий уровень опасности [5].

При изучении воздействия атмосферного загрязнения на здоровье человека необходимо исследовать все характеристики выбросов, их перенос, а также их возможность трансформации в другие, более опасные вещества.

Исследование вредных примесей в атмосфере так же направлено для выявления смертности населения. Предметом исследования является два самостоятельных объекта – человек и земная атмосфера. Атмосферный воздух под влиянием антропогенных факторов в зависимости от различных метеорологических условий заполняется загрязняющими веществами, вследствие чего над городской территорией создается, как правило, не определенное преимущественное количество конкретного загрязнителя, а смесь различных веществ, воздействующая прямым образом на жизнедеятельность человека. Например, при интенсивных лесных пожарах вследствие поступления в атмосферный воздух продуктов сгорания население пострадавших территорий обращается за помощью с обострением хронических заболеваний, таких как болезни верхних дыхательных путей, системы кровообращения, и признаки приступов бронхиальной астмы [6]. Но при этом если рассматривать отдельное вещество как вспомогательный показатель, то будет выражена комплексная характеристика определенных компонентов влияния на здоровье человека, исходя из рассматриваемого вещества и его источника выброса.

1.5 Особенности информации о загрязнении атмосферы

При рассмотрении параметров влияния атмосферы на жизнедеятельность человека, прежде всего, нужно рассматривать качество воздуха. Для этого рассматривают важные показатели получаемой информации, которые связаны с расположением источников выброса, а также типом климата исследуемой территории, имеющей воздействие на жизнедеятельность и здоровье человека. Как правило, источники выброса вредных веществ, которые в большей своей концентрации имеют место быть в городской черте, располагаются как в промышленных, так и в жилых районах, что усложняет задачу для определения районов характерных для того, или иного типа вещества. Поэтому, пост наблюдений в такой местности может давать разную информацию, в зависимости от типов источников выброса. В основном это усложняется еще и тем, что загрязнение атмосферы происходит, как и специфическими примесями в результате различных производственных мероприятий, так и залповыми выбросами [7].

В городской местности значительное воздействие на здоровье человека имеет комплекс веществ, которые имеют определенные концентрации, с превышением установленного ПДК, что в конечном итоге приводит как кратковременным, так и хроническим воздействиям на человека. Так же стоит учитывать временной ряд уровня концентрации веществ, так как их показатели могут варьироваться как от времени года, сезона и, соответственно месяца, так и степень их концентрации исходя из периода наблюдений. Тем не менее, суммарный показатель уровня различных веществ необходимо применять при этих наблюдениях.

Для того чтобы выявить кратковременное влияние выбросов на здоровье человека, нужно исследовать среднесуточные значения, но в случае измерения отдельного вещества — это будет рассматриваться как показатель случайной величины, который будет располагать информацией в конкретный период

времени в данной точке. В такой ситуации, эта величина будет создавать определенную погрешность в информации о переносе веществ и их рассеивании в различных атмосферных процессах. Поэтому, для детального исследования необходимо брать средние значения за более длительный временной интервал (месяц, сезон, год).

Случается, так, что происходит единовременный комплексный выброс различных веществ, который будет фиксироваться множеством станций, и в такой ситуации при наблюдениях можно исследовать разовые, 20-минутные концентрации выбросов. Это осложняется еще и тем фактором, что в городах России отсутствуют районы с достаточно чистым атмосферным воздухом, с помощью которого можно дать оценку степени влияния загрязнения источниками выбросов.

Из этого можно сделать вывод, что данные сети наблюдений выполняют функцию изучения длительного воздействия загрязнителей на здоровье и жизнедеятельность человека. Для более детального изучения влияния атмосферных примесей на человека необходимо учитывать другие составляющие, как например качество воды, которая в свою очередь имеет различный показатель чистоты в зависимости от географии данной территории. Это дает определение фонового уровня заболеваемости в зависимости от экологической обстановки атмосферы. Для более точного определения влияния загрязненного воздуха на здоровье человека, нужно использовать аналогичную информацию других городов, имеющих различные показатели уровня загрязнения.

1.6 Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха.

В настоящее время для исследования рассеяния вредных выбросов от различных источников проводятся множество экспериментов и теоретических задач. Естественным условием для образования высоких концентраций

различных загрязнителей является направление и скорость ветра от источника выброса в сторону пункта наблюдений. Непосредственно концентрация вредных примесей будет обусловлена степенью турбулентного обмена. Развитый турбулентный обмен создает благоприятные условия для образования больших концентраций вредных веществ, так как большинство примесей образуются из стационарных источников, где как правило, выброс происходит из высоких труб. Дополнительным условием для образований максимальных концентраций веществ будет являться приподнятая инверсия [8].

Источники загрязнения городов подразделены по следующим показателям:

- Природные - представлены природными процессами и явлениями. К загрязняющим веществам относят: пыль растительного, животного и вулканического происхождения, частицы морской соли, дым и газ от лесных пожаров.
- Антропогенные - подразделяются на транспортные (автотранспорт, железнодорожный, речной, морской и воздушный транспорт), производственные (различные промышленные процессы), бытовые (котельные, предприятия по утилизации и переработке бытовых отходов).

Так как городская территория обладает характерной шероховатостью подстилающей поверхности, то в этом случае будет иметь место развитый турбулентный обмен в приземном слое, который может быть усилен из-за определенных локальных условий, например, под влиянием острова тепла или разрушения нижней части приземной инверсии [9]. В совокупности все эти условия приводят к опасному загрязнению городского атмосферного воздуха.

Поскольку эти условия вызваны по метеорологическим причинам, то можно дать определенный прогноз по загрязнению атмосферы исходя из синоптического анализа. Для составления прогноза по загрязнению атмосферы необходимо анализировать конкретную синоптическую ситуацию. Как правило, повышенное загрязнение связано с наличием антициклонов, однако напрямую на повышение концентрации загрязнения влияет безградиентное

барическое поле, а не сама циркуляция антициклона. При этом на его периферии не всегда возникает интенсивное загрязнение. Поэтому, для определения влияния синоптических условий для исследования концентрации загрязняющих веществ используют типы синоптических ситуаций [9]:

- Тип А. Это безградиентное барическое поле, которое образуется в антициклонах – в центре, на оси гребней и в зонах барических седловин. Для данного типа характерны безветренная погода, а также устойчивая стратификация атмосферы при отсутствии поступления солнечной радиации в виде прогрева вследствие чего образуются приземные инверсии.
- Тип Б. Это промежуточное поле, которое характерно при наличии направленного барического градиента. Располагается в местах между барическими образованиями, либо на периферии. Для этого типа характерно сохранение направление вектора ветра.
- Тип В. В данном случае мы имеем циклон, что характерно для появления сильного ветра, осадков и пасмурной погоды. Для исследования при таких условиях рассматривают переднюю часть циклона, тыл циклона, теплый сектор, а также холодную северную часть.

В настоящее время, при выполнении анализа синоптических условий, исходя из распределения по территории при загрязнении атмосферы, определены ключевые факторы на её состояние:

- Малоподвижная скорость фронтов, в первую очередь теплых фронтов и фронтов окклюзии. Это напрямую связано с образованием приподнятой инверсии температуры в зоне фронта, что в дальнейшем формирует вдоль линии фронта область высокого уровня загрязнения.
- Инерционный фактор экстремально высоких загрязнений атмосферного воздуха, который может затрагивать, как и отдельный район исследования, так и охватывать различные территории, который будет показывать вероятность значений по интегральным показателям.

Рассматривая эти закономерности, можно сделать анализ условий, которые формируют повышенные концентрации вредных веществ в атмосфере. Применяя методику отбора частоты явлений, для начала отбирают все случаи, когда наблюдалось повышенное загрязнение атмосферы, после чего отбирают синоптические ситуации, при которых данные явления наблюдались [9, 10]. Далее рассматривают все ситуации, исходя из всего ряда наблюдений, и производят уточнение, при этом могут наблюдаться и минимальные уровни концентрации вредных примесей. И в этом случае можно установить различия в ситуациях, которые могут быть близки к образованию неблагоприятной обстановки и когда уровень загрязнения атмосферы был незначительным.

Исходя из этого делают вывод, какая синоптическая ситуация способствует повышенному загрязнению атмосферного воздуха. На основании многолетних рядов наблюдений и анализа погодной информации можно выделить следующие синоптические условия для образования повышенных концентраций загрязнителей атмосферного воздуха [9, 10]:

- Расположение малоподвижного атмосферного фронта в области высокого давления, а также его расположение параллельно или под небольшим углом относительно изобар. Это характерно относительно времени года: для теплого на восточной периферии антициклона, а для холодного – на западной или северо-западной периферии.
- Антициклон или гребень располагаются непосредственно в теплой воздушной массе.
- Образование инверсионного слоя на нижнем километровом уровне в области высокого давления, чему способствует натекание теплого воздуха на холодный у земли (ниже -15°C), что характерно для холодного времени года.
- Распространение глубокого циклона на западную, северо-западную и северную периферию антициклона в данном районе исследования.
- Распространение гребня сибирского антициклона на районы, которые находились в предыдущий день под влиянием западной или северо-

западной периферией другого антициклона. Такой гребень сохраняется более 2 суток.

- Распространение гребня антициклона на район, где наблюдался высокий уровень загрязнения в области периферии области низкого давления.
- Зона высокого давления распространяется в область теплого сектора циклона, при сохранении тепла.
- Расположение малоподвижного атмосферного фронта в области южной, юго-восточной или восточной периферии глубокого циклона, а также его расположение параллельно или под небольшим углом относительно изобар.
- Распространение южной, юго-восточной или восточной периферии циклона на район, где наблюдался высокий уровень загрязнения в области антициклона.

Приведенные синоптические ситуации в основном характерны для европейской части России и Урала, поэтому для рассмотрения отдельных регионов необходимо проводить отдельные разработки для анализа и прогнозирования состояния атмосферы на загрязнение.

На уровень загрязнения важным образом влияют метеорологические факторы, что в свою очередь влияет на перенос, вымывание и рассеивание примесей, а так же под влиянием непрерывных фотохимических реакций окисления и восстановления которые в свою очередь способствуют образованию новых веществ давай ход дальнейшим процессам. Их сочетание, которое способствует накоплению примесей, называется потенциалом загрязнения атмосферы, а при рассеивании загрязняющих веществ - рассеивающей способностью атмосферы.

При обработке климатологической информации сети наблюдений была получена информация о потенциале загрязнения атмосферы. На рисунке 1 продемонстрирована карта распределения этого потенциала. Использование этой информации прилагается к нормативным документам при учете

климатических особенностей для сооружения различных промышленных предприятий [2].

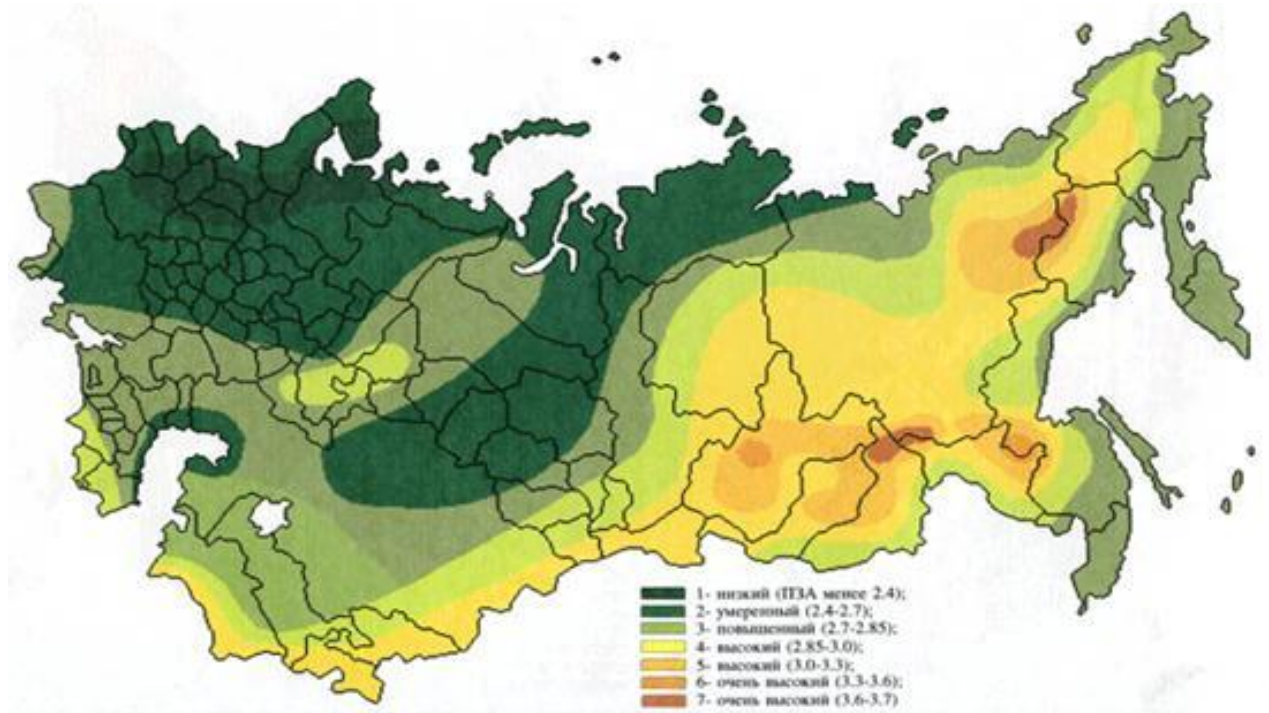


Рисунок 1. Карта распределения потенциала загрязнения атмосферы

С учетом большой территории России выражены различные климатические условия, которые способствуют переносу и рассеиванию примесей, что в свою очередь дает оценку загрязнения городской местности с числом случаев повышения уровня загрязнения.

На карте представлены пять зон условий рассеивания примесей:

- Низкий потенциал (Северо-запад Европейской части России);
- Умеренный потенциал (Европейская часть России и Западная Сибирь);
- Повышенный потенциал (Западная Сибирь, Поволжье и Кавказ);
- Высокий потенциал (Восточная Сибирь);
- Очень высокий потенциал (Восточная часть Восточной Сибири и запад Дальнего Востока).

Эти факторы создают при одинаковых выбросах от источников разные уровни загрязнения атмосферы. Это наглядно нам объясняет, почему воздух в Европейской части России гораздо чище, чем в её Азиатской части, так как на

загрязнение атмосферы в данных районах влияет застой воздуха и отсутствие сильных ветров. Тем не менее, в последнее время в целях экономической оптимизации при строительстве различных предприятий данные требования по экологическому мониторингу не учитываются [2, 7].

2 Источники и факторы образования формальдегида

2.1 Источники атмосферного формальдегида

Впервые наличие данного вещества в земной атмосфере было обнаружено в 30-х годах XX века. За прошедшее с того момента время был собран достаточно приличный объем информации о его возникновении и содержании в воздухе. Формальдегид принадлежит к малым газовым примесям, и его концентрация на 6 – 8 порядков ниже, чем концентрация остальных газовых компонентов атмосферы, например, такие как азот, углекислый газ, аргон, кислород. Но даже при такой малой концентрации, формальдегид влияет на ключевую роль химии атмосферы и считается одним из самых сильных загрязнителей [11].

Концентрацию формальдегида в воздушной среде, как правило, представляют в миллиграммах на кубический метр, но при исследованиях атмосферы применяют единицу измерения объемной миллиардной доли (ppb). Для формальдегида выполняется соотношение, где 1 ppb равен $1,3 \text{ мкг/м}^3$. В загрязненном воздухе формальдегид имеется в более значительной концентрации – до нескольких миллионных долей (ppm) [12].

Источники поступления формальдегида подразделяются на природные и антропогенные, которые делятся на первичные и вторичные. Первичные источники образуют формальдегид, вторичные - образуют соединения органической природы, вследствие чего из них в окружающей среде при конкретных условиях может образоваться формальдегид. Одновременно с этим,

формальдегид, вступает в реакцию с примесями, которые находятся в атмосферном воздухе, образуя другие вредные вещества или преобразовываясь в конечном итоге до оксида углерода и воды [12].

2.2 Природные источники формальдегида

В прозрачной, имеющей минимум аэрозольных частиц атмосфере концентрация формальдегида определяется источниками природного характера. Их бывает два вида: первичные, которые непосредственно попадают в атмосферу и вторичные, из которых образуются вещества, образующиеся под действием естественных факторов с образованием формальдегида [13].

Основными природными источниками являются растения, вулканические выбросы, пожары лесных массивов и выделения биологических организмов. При извержении вулканов в атмосферу выбрасывается огромное количество газов, паров воды, твердых частиц, пепла и пыли. После затухания вулканических процессов общее равновесие газового состояния в атмосфере постепенно приходит в норму.

Первичными природными источниками в основном являются лесные пожары и выделения биологических видов, хотя в последнее время эти источники находятся в сильной зависимости от жизнедеятельности человека ввиду разведения животноводства и уничтожения лесов. Более незначительное значение имеют выбросы выделения растительной массы и вулканических выбросов.

Вторичные источники, как правило, являются главным загрязнителем фоновой атмосферы формальдегидом, вследствие чего протекает реакция фотоокисления различных соединений органической природы.

На рисунке 2 продемонстрирована схема поступления и образования формальдегида в атмосфере.

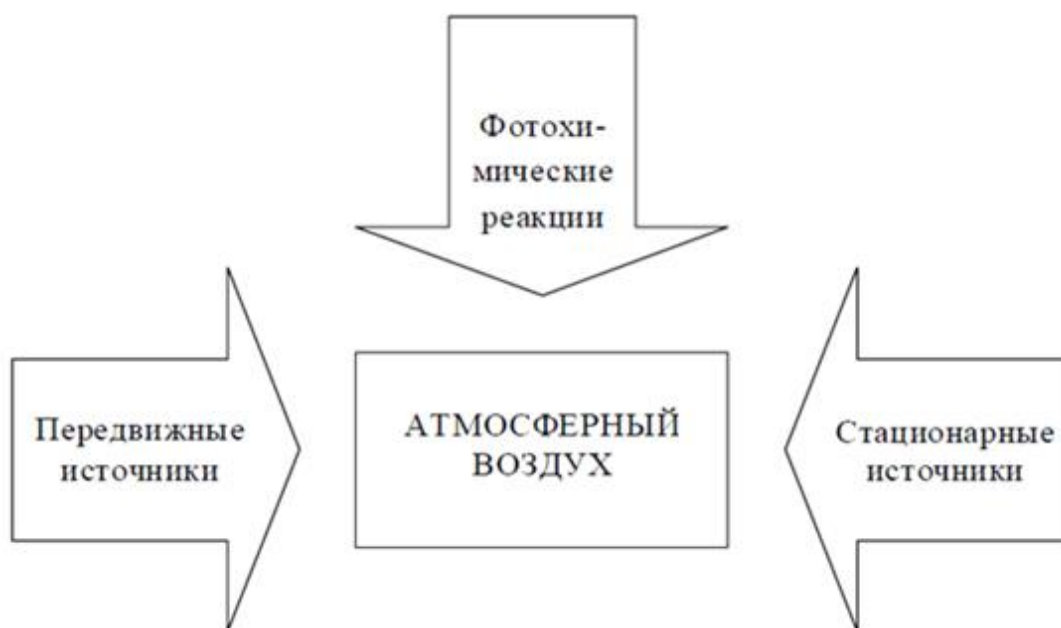


Рисунок 2. Источники поступления формальдегида в атмосферный воздух

Основной причиной образования формальдегида в атмосфере является содержание метана – основного органического компонента земной атмосферы. Среднее его содержание в северном полушарии составляет 2,3 ppm. Но наиболее высокое содержание до 5 ppm располагается над территорией, богатой углеводородами и над районами, где наблюдается сейсмологическая активность, поэтому в процессе фотоокисления метана образуется формальдегид, как промежуточный продукт реакций [13].

2.3 Антропогенные источники формальдегида

Атмосфера городов, которые занимают промышленностью, характеризуется весьма большими концентрациями формальдегида. Самые значительные концентрации загрязнителей находятся в городских массивах в часы пик или в условиях, когда происходит фотохимический смог.

В мире производится около 5 млн. т. формальдегида, который принимает участие в реакциях для ряда различных синтезов. Образуется он не только в результате антропогенной деятельности, но и в естественных природных

процессах, участвует в синтезе фотохимических продуктов во время смога. Следовательно, его наличие в воздухе будет колебаться по сезонам, достигая максимума летом.

Источником выброса формальдегида в городах существенным образом считается автомобильный транспорт, в результате работы которых происходит выделение формальдегида в процессе выхлопа двигателей совместно с другими углеводородами.

Количество загрязняющих веществ в выхлопах автомобиля зависит от его общего состояния, особенно от состояния двигателя — источника наибольшего загрязнения. Исследования показали, что выделение формальдегида при работе карбюраторных двигателей автобусов, которые работают на газе, имеют показатель в 20 раз ниже, чем двигателями автобусов, использующих в качестве топлива дизельное топливо [11, 13].

Формальдегид вместе с прочими продуктами горения топлива находится, в том числе в выбросах железнодорожного транспорта, а также в выхлопах газотурбинных двигателей воздушных судов. Вместе с этим, значительные показатели углеводородов свойственны для работы газотурбинных установок в минимальных режимах — холостом ходе, ручном управлении, приближении к аэродрому, заходе при посадке, в свою очередь концентрация оксидов азота увеличивается при номинальных режимах работы.

Источниками углеводородов в атмосфере, кроме отработавших газов автотранспорта, служат потери при добыче, транспортировке и переработке, нефти и сжиженного газа, очистка сточных вод, лакокрасочная промышленность, производство полиэтилена, газотурбинные двигатели самолетов, автозаправочные станций, предприятия теплоэнергетики и др.

Так, в результате работы только одной буровой скважины в атмосферу поступают до 2 т углеводородов и сажи, 30 т оксидов азота, 8 т оксидов углерода, 5 т диоксида серы в год [13].

Минимум концентрации формальдегида наблюдается в зимнее время, так как это связано с понижением активности фотохимических реакций,

уменьшением эмиссии метана, из которого при реакциях образовывается формальдегид, а также свойствами самого формальдегида, который при температурах ниже $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ переходит в жидкую фазу.

2.4 Атмосферная химия формальдегида

Формальдегид является реакционноспособным веществом, а его наличие в воздухе будет колебаться от динамического равновесия между источниками и стоками, одновременно с этим проявление образований его фотохимических реакций будет проявлять важную роль. В лабораторных опытах это было доказано, применяя действие светового излучения на смеси компонентов различного состава, близко характерных для реальной атмосферы. Достаточно много исследований было посвящено для наблюдений за трансформациями веществ в условиях реакций фотохимического смога.

Для определения кинетической реакции и фотохимического механизма применяется математическое моделирование, где основной целью является воспроизводить содержание различных компонентов, в том числе, и формальдегида. Результаты исследований продемонстрировали, что в этом случае была найдена прямая зависимость между экспериментальными и рассчитанными профилями концентраций формальдегида, с учетом расчетов фотохимических реакций, который связан большим числом элементарных связей [14].

Для реальной атмосферы в моделях необходимо рассматривать различные турбулентные факторы, метеорологическую обстановку и солнечную активность. Изучая эти показатели, можно дать оценку разным вариантам образования формальдегида в атмосферном воздухе, которые будут обоснованы общими причинами возникновения природной и антропогенной обстоятельств.

Например, для образования процесса, реакций расхода в ходе фотохимической процессов органических веществ в воздухе может являться фотоокисление метана, который изображен на рисунке 3 [14]:

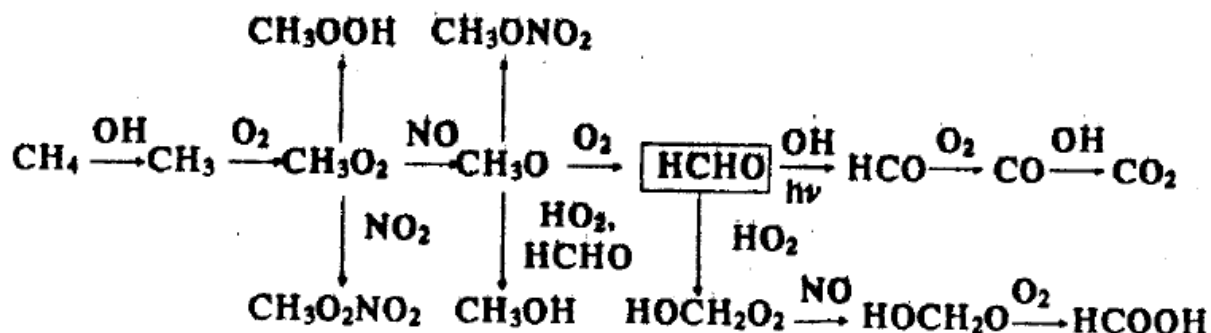


Рисунок 3. Реакция фотоокисления метана

Данный процесс активирует промежуточные частицы – свободные радикалы, такие как гидроксильный радикал OH, где формальдегид образуется в реакциях с кислородом. Таким образом, он является промежуточным образованием, который будет окисляться в атмосфере в углекислый газ и оксид углерода. Поэтому, можно сказать, что формальдегид возникает в ходе фотоокисления различных классов органических соединений в атмосфере, как например влияние повышенной концентрации азота и озона, которые приводят к его повышенной концентрации. Это, прежде всего, характерно для метеоусловий, способствующих накоплению примесей и дальнейших вместе с этим фотохимических трансформаций, где преобладает безветренная и ясная погода [14].

Период активности формальдегида в воздухе зависит от процессов фотохимических разложений и взаимосвязи с частицами, имеющими реакционноспособные свойства. В процессе фотодиссоциации период жизни формальдегида определяется интенсивностью солнечного света, зависящей от широты местности и от высоты поднятия Солнца над горизонтом. В Приложении, в таблице А1 приведены стандартные для атмосферы концентрации радикалов и озона, скорости реакций с формальдегидом и время

существования формальдегида, исходящей по каждой реакции, где можно дать сравнимые оценки времени его жизни в атмосфере [14].

Поэтому, можно сказать, что формальдегид имеет множество различных образований при помощи химических превращений в земной атмосфере.

2.5 Содержание формальдегида в отдаленных районах

Таковыми районами можно назвать такой тип участка наблюдений, где земная атмосфера не подвергается антропогенному загрязнению формальдегидом. Как правило, это может быть незаселённая территория и воздух, который находится над морями и океанами. В случае с отдаленными районами, где не происходит антропогенная деятельность, содержание формальдегида составляет от сотых долей до 2-3 ррб. Такая же концентрация присутствует и над океанами. При ясной, теплой погоде концентрация может быть незначительно увеличена. В таком типе атмосферы его содержание меняется слабо в течении дня, в основном в полуденные часы на 5-10%, так как это связано с фотоокислением углеводов [15].

В сельской местности основным источником образования формальдегида является животноводческое производство, но в ночное время суток возможно его повышение так как оно связано с нисходящими движениями воздуха, которые поступают из городской местности. Непосредственно в городской черте располагаются разнообразные источники загрязнения, как например наличие автотранспорта, где в зависимости от интенсивности движения можно охарактеризовать загрязнение атмосферного воздуха.

2.6 Содержание формальдегида в помещении

Данная проблема является особенно актуальной, так как человек проводит около 70% времени в помещении, что непосредственно влияет на здоровье. Проведенные исследования [16] показали, что допустимый уровень концентрации формальдегида составляет 120 мкг/м³ (92 ppb), соответственно максимально допустимая концентрация составляет 100 ppb. В зависимости от типа помещения, его эксплуатации и даже возраста здания концентрация формальдегида может иметь разные значения. Например, в складских помещениях, которые предназначены для хранения одежды и различных тканей его концентрация наиболее высокая – 405 ppb. В более ранних типах застройки измеряемый уровень формальдегида составляет 53 ppb, а нового типа – около 100 ppb. Это связано с тем, что при постройке зданий используются материалы, изготовленные из прессованной древесины, пластмассы и фенолоформальдегидных смол. Как было указано ранее, формальдегид также выделяют лакокрасочные изделия, декоративные предметы быта, а также различные виды ткани, которые применяются для отделки помещений и обивки мебели. Особенно выделяется предмет мебели, изготовленный из древесно-стружечных плит (ДСП). В странах Европы введены нормы предельно допустимого уровня формальдегида строительных материалов и различных бытовых изделий.

Наиболее правильными мерами по снижению концентрации формальдегида в помещении, необходимо использовать материалы без его выделения в воздух, а также применять дополнительные меры по оптимизации режима вентиляции помещений.

2.7 Методы определения формальдегида в атмосфере

На сегодняшнее время применяются различные методы для мониторинга и измерения концентрации формальдегида [15]:

- Спектроскопический метод – основан на дифференциальном спектральном оптическом поглощении, где для выявления формальдегида применяются полосы 326, 330 и 339 нм. Источником излучения является ксеноновая лампа повышенного давления, которая находится в 5 – 10 км от детектора. Спектр считывается в диапазоне 323 – 348 нм и обрабатывается с помощью компьютера, где формальдегид высчитывается разностью спектров азота и озона. Данным недостатком является значительная длина проходящего луча, которая не дает возможности получить хорошего пространственного разрешения вследствие чего концентрация вещества может значительно меняться, хотя и этот метод демонстрирует высокую чувствительность обнаружения.
- Полярографический метод – применим для измерений воздуха внутри помещений, так как чувствительность показаний недостаточна для анализа измерений воздуха окружающей среды, в связи с чем, применяется импульсная методика. Она основана на выявлении минимума вещества в поглотительном 10%-м растворе метилового спирта, где его переносят в буфер с рН 5.5 гидразинсульфата, находя количественное значение при помощи полярографа, который имеет ртутный капельный электрод.
- Колориметрический метод – применяется для необходимости измерений наличия формальдегида в воде. Метод заключается в индикаторном обнаружении формальдегида с применением хромотроповой кислоты (4,5-дигидроксиафталин-2,7-дисульфоновая кислота) представленный на рисунке 4:

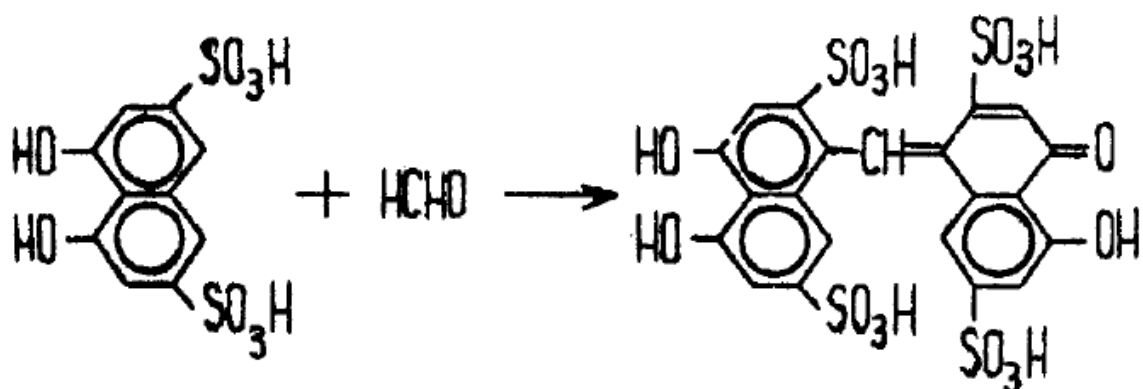


Рисунок 4. Реакция формальдегида с хромотроповой кислотой (4,5-дигидроксинафталин-2,7-дисульфоновая кислота)

Для этого взятую пробу воздуха необходимо прокачать через специальную жидкость – раствор бисульфита или других реагентов для обнаружения формальдегида. Различные нитраты и нитриты создают изменчивость параметров при концентрации более 0,6 мМ, но это не характерно для стандартных условий атмосферы. Недостатком является минимальная чувствительность (66 ppb при 1л/мин на 20 мл раствора за 1 час), однако из-за высокой избирательности его можно применять в лабораторных исследованиях для калибровки различных физических стандартных параметров.

- Флуоресцентный метод – основан на обнаружении и поглощении флуоресценции при постоянном измерении исследуемой газовой среды. Для этого применим скруббер с гидрофобной мембраной, где по прохождению измеряемого газа определенный анализируемый элемент накапливается в мембране и переходит в раствор. Данное преимущество этого метода связано с улавливанием компонентов только газовой составляющей, тогда как аэрозольные частицы не проходят через мембрану. Для активизации флуоресценции применяют интенсивную линию 254 нм ртутной лампы, так как это повышает чувствительность в 3 раза, сохраняя высокую избирательность определения формальдегида в пределах 0,2 ppb.

- Спектрометрический метод – вспомогательный метод, применяемый для стандартизации, основан на селективных методах колориметрического определения.

2.8 Производство измерений формальдегида в атмосферном воздухе

При оперативном реагировании на различные жалобы городских служб экологического контроля применяются меры постоянных наблюдений и внелабораторный химический анализ, непосредственно в месте исследования атмосферного воздуха. Это способствует урегулированию экологической ситуации, где можно продемонстрировать результаты данных наблюдений.

Современные средства методики наблюдений имеют большую перспективность для решения экологических вопросов, которые необходимы для быстрой оценки уровня и масштабов загрязнения окружающей среды, в том числе и при чрезвычайных ситуациях обусловленные авариями техногенного характера.

При проведении лабораторных исследований в условия полевых условий выполняют следующие задачи [17]:

- Производят подготовку техники и оборудования - взвешивание фильтров, калибровка газоанализаторов, аспираторов, газовых счетчиков, термопар, различных зондов, емкостей с поглотительными растворами, руководствуясь методикой выполнения измерений.
- Проводят пробоподготовку отобранных проб, далее обрабатывая данные и измерения погрешности.

При данной методике анализа опираются на применении химических реакций обнаружения, которые могут быть характерны для неорганических ионов в растворах и групп органических соединений, где происходит реакция окраски, выделением различных продуктов реакции и возможное образование осадка.

Целью наблюдений является определение по п.5.3.3.7. РД 52.04.186-89 разовой концентрации формальдегида, которое основано на его улавливании ацетилацетоном в среде уксусного аммония и последующем фотометрическом исследовании образующихся соединений, которые будут иметь желтоватый характерный оттенок.

Измерения проводят фотоэлектрическим фотометром КФК-3-01-“ЗОМЗ”, прибороотборным устройством ПУ-4Э, аналитическими весами, приборами для контроля различных метеорологических условий [17].

Применяя химическую посуду, используют следующие принадлежности:

- Мерные колбы 50, 100, 250 и 1000 мл;
- Пипетки на 1, 5 и 10 мл;
- Пробирки с притертой пробкой вместительностью 10 мл.

Реактивами и прочими материалами будут являться:

- Аммоний уксуснокислый;
- Ацетилацетон;
- Уксусная кислота;
- Формальдегид;
- Дистиллированная вода.

Для начала приготавливают поглотительный раствор. Для начала в мерной колбе в 1000 мл растворяют 150 грамм уксуснокислого аммония в 800 см³ дистиллированной воды. Далее прибавляют 2 см³ ацетилацетона и 3 см³ уксусной кислоты, после чего данную смесь перемешивают и доводят до метки ДВ. Данный реактив хранят в склянке из темного стекла в прохладном месте. Далее устанавливают градуированную характеристику. Она необходима для выражения зависимости оптической плотности от массы формальдегида в анализируемом объеме пробы и строится по семи растворам для градуировки, изготовленной в пяти сериях в пробирках объемом 10 см³. Руководствуясь табл. А2 (см. Приложение), в каждую из них доливают объемы рабочих растворов, а потом и поглотительный раствор. В табл. А2 (см. Приложение), представлена

градуированная характеристика выражения зависимости объема пробы поглотительного раствора (150 грамм уксуснокислого аммония в 800 см³ дистиллированной воды, 2 см³ ацетилацетона и 3 см³ уксусной кислоты) от массы формальдегида для установления характеристики при определении концентрации формальдегида.

Для установления градуированной характеристики пробирки на полчаса помещают в водную среду при температуре 40 °С для охлаждения и фотометрируют при 412 нм по отношению к нулю с градуацией 10 мм.

При отборе проб для определения концентрации формальдегида исследуемый воздух аспирируется с расходом 1,5 дм³/мин в течении получаса в поглотительный раствор. Далее после выполнения отбора проб в непосредственно поглотительных приборах пробирки помещают в водную емкость при температуре 40 °С, после чего охлаждают до комнатной температуры и фотометрируются при 412 нм.

Производство вычислений результатов массовой концентрации формальдегида в атмосферном воздухе вычисляется по формуле: $C = m/V_0$, где

- m – масса загрязняющего вещества, найденная по градуированной характеристике в объеме раствора который был взят на исследование;
- V_0 – объем пропущенного атмосферного воздуха, приведенный к нормальным условиям ($P_0 = 760$ мм.рт.ст. и температуре воздуха 0 °С).

2.9 Отборы проб в замкнутом помещении

Выбор использования измерений в помещении зависит от целесообразности измерений и природы источника формальдегида. При наличии периодических источников формальдегида, способных изменить показания измерений, создается необходимость их устранения до проведения отбора проб.

Перед началом измерений в помещении выявляют основные задачи измерений [18]:

Обычно измерение проводят исходя из следующих целей:

- Определение соответствия стандартным значениям. Для этого перед началом измерений помещение, где есть естественная вентиляция необходимо проветривать в течение 20 минут и после этого герметично закрывают на несколько часов. Далее производят отбор проб в течение 30 мин при сохранении закрытости данного помещения. Для необходимости узнать информацию о понижении концентрации формальдегида при активной вентиляции помещения, соответственно после проведения измерений, производят проветривание помещения в течение 5 мин. В дальнейшем помещение опять герметично закрывается, и через час снова производят отбор пробы. В случае, когда в помещении располагается принудительное воздушное сообщение, то перед отбором проб механизм вентиляции должен проработать в неизменном стандартном режиме в течение трех часов. При наличии определённых инструкций по процедуре проветривания, отбор проб осуществляют после определенных выполняемых мероприятий. Если в помещении главным источником формальдегида являются изделия из прессованной древесины (изготовленные непосредственно с его участием), то его содержание будет зависеть в большой степени от таких параметров как температура и относительная влажность. При этих указанных параметрах повышение температуры на каждый 1°C будет приводить к возрастанию концентрации формальдегида.
- Определение максимальной концентрации формальдегида. Это требуется для получения информации максимальных значений, которые необходимы в тех случаях, когда помещение используют при неблагоприятных климатических условиях, таких как температура и относительная влажность, которая не соответствует комфортным условиям (например, летом при солнечной погоде).

- Проверка эффективности ремонта.
- Определение средней концентрации за выбранный период времени. Период отбора проб зависит от цели измерений. Колебания концентраций, которые могут быть при длинных временных интервалах (сезонные изменения), которые связаны перепадами температур и влажности, в том числе и колебания уровня концентрации, связанные кратковременными второстепенными влияниями (изменение интенсивности выброса или вентиляции), будут оказывать большое значение. В случае, если продукт из прессованной древесины считается главным источником выделения формальдегида в зданиях где есть естественная вентиляция, что, как правило, наиболее распространено на практике, то необходимое для достижения равновесной концентрации формальдегида период времени, будет выявлен при помощи диаграммы различных кратностей воздухообмена.

Продолжительность времени отбора проб будет зависеть от задач измерений и от предельных значений обнаружения аналитического метода для конкретного объема отобранного воздуха. По нормативам, отбор проб нужно проводить в течение 30 мин.

В зданиях большого размера нужно предварительно выяснить, в каких именно помещениях нужно проводить измерения формальдегида. Порядок наблюдений производят последовательно, не проверяя одновременно все помещения. При выборе помещения в первую очередь рассматривают его назначение. Рассматривают в первую очередь именно те помещения, где человек проводит основное время. Дальнейшее решение может быть вынесено после предварительных измерений.

3 Исследование загрязнения воздуха Москвы формальдегидом в летний период 2018 года

3.1 Физико-географическое положение города Москвы

Рельеф города Москвы образовывался достаточно длительное время. Во времена палеозоя и мезозоя образовался эрозионно-тектонический рельеф, в дальнейшем сформированный эрозионными ледниковыми процессами, такими как Окского, Днепровского, Московского оледенений [19]. На севере и западе располагается Смоленско-Московская возвышенность, которая считается наиболее высокой, где её холмистая часть - Клинско-Дмитровская гряда, имеет высоту 285 м. В восточной части возвышенности сменяются более равнинные территории Мещерской низменности. В южной части находится равнина, которая является частью изрезанной руслами рек и оврагов Среднерусской возвышенности с высотами до 237 м. Москва располагается на стыке трех географических районов [19]:

- Смоленско-Московской возвышенности, она находится на северо-западе Москвы. В ее пределах выделяются две её части: Клинско-Дмитровская возвышенность, и Верейско-Звенигородская наклонная равнина.
- Москворецко-Окская равнина, которая изрезана оврагами и балками, представляет собой эрозионную поверхность с высотами до 200 м. В прошлом равнина была покрыта широколиственными лесами, которые сохранились только на отдельных участках.
- Мещерская задровая низменность, которая находится на востоке Москвы. Она представляет собой плоскую песчаную низину, с высотами до 160 м.

На рельеф Москвы в большей степени повлияла деятельность различных водных объектов, которые относятся к бассейну реки Волги. Долина реки Москвы с поймой занимает примерно 30% территории города. В пределах

города долина реки имеет скошенное строение, и ее длина составляет около 80 км. Самыми низкими являются восточная и юго-восточная части города, которые происходят от окраины Мещерской равнины.

Самым крупным притоком реки Москвы является река Яуза. В черте Москвы Яуза обновлена, и по ее руслу отводится часть вод реки Волги, которые приходятся по каналу им. Москвы из Химкинского водохранилища по Лихоборскому обводнительному каналу длиной 16 км. На территории Большой Москвы протекает свыше 200 рек, и множества прочих более мелких водных объектов.

3.2 Общая экологическая обстановка атмосферного воздуха города Москвы

Загрязнение воздушного бассейна Москвы в первую очередь определяется выбросами стационарных источников, предприятия теплоэнергетики, автотранспорта, различных источников промышленности. Очевидно, что при присутствии большой плотности технических предприятий можно дать оценку более высокого загрязнения атмосферного воздуха, чем на остальной территории. Поэтому, для выявления повышенной концентрации воздуха различными выбросами, данные наблюдений необходимо нормировать согласно средним по территории. Вместе с этим определяется степень распределения загрязнения, что, как правило, показывает, что максимум загрязнения приходится на центральную часть Москвы.

Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха Москвы осуществляют стационарные посты, которые расположены как вблизи крупных магистралей, так и в жилых массивах, а также крупных объектов промышленности. Отбор проб проводят каждый день 2-4 раза в сутки согласно ГОСТ 17.2.3.01 – 86. Порядок наблюдений сформирован с учетом структуры загрязнения основными типами источников, которые находятся в пределах наблюдаемой зоны. По этим районам наблюдения определена степень загрязненности атмосферного воздуха

- высокая фенолом и повышенная формальдегидом, при этом максимум формальдегида отмечается в летние месяцы из-за высокой интенсивности солнечной радиации.

В последние годы выбросы источников промышленности постепенно снижаются, что объясняется спадом промышленности производства в черте города, и, кроме того происходит плавный переход объектов теплоэнергетики и электроэнергии на природный газ как альтернативный вид топлива. Например, принятые ограничения на применение мазута дали возможность добиться понижения выбросов оксидов азота, соединений ванадия и серы. Но при этом делать вывод о значительном понижении вредного воздействия на атмосферный воздух в условиях стагнации производства проблематично, так как вместе с этим в то же время происходит процесс осложнения качества работы очистных сооружений и прочей природоохранной техники. Вместе с этим, давая оценку уровня загрязнения воздуха тяжелыми металлами, можно сказать, что этот показатель увеличился в последнее время по всей территории города, где наибольшее содержание отмечено по оксидам железа, цинка и меди.

Загрязнение воздуха выбросами выхлопными газами автотранспорта считается острой и основной проблемой окружающей среды. Доля автотранспорта в общем объеме всех выбросов составляет примерно 93 %. Для этого применяют меры очищения воздуха с целью понижения влияния автотранспорта на городскую атмосферу, применяя постепенный перевод транспорта на газ и электроэнергию.

Москва последние десятилетия является городом, имеющим наиболее высокие показатели загрязнения в России. Применяемые меры по очищению атмосферного воздуха за последние годы позволили добиться снижения уровня загрязнения городского воздуха концентрациями формальдегида, ксилола, диоксида азота, бензола. При этом концентрации загрязняющих веществ характеризуются следующими показателями: диоксид азота в среднем по городу (2019) – 0,8 ПДК_{сс}; формальдегид — 1,3 ПДК_{сс}; фенол — 0,3 ПДК_{сс}. Максимальные концентрации загрязнителей, преимущественно отмечаются

вблизи крупных магистралей в Центральном, Юго-Восточном и Южном административных округах. В центре города значительно загрязненными являются районы «Хамовники», «Пресненское», «Арбат» и «Таганское». По данным Росгидромета, в Москве значительно загрязнение воздушного бассейна занимает некоторые крупные районы. Давая оценку распределения уровня загрязнения по городу, зонами неблагоприятной экологической ситуации считаются крупные магистрали [19].

По мере роста автомобильного парка в городе будет наблюдаться устойчивый рост загрязнения атмосферы оксидом углерода, что можно предотвратить, создавая меры по ужесточению контроля за автомобильными выбросами. Однако, это очень сложно, так как загруженность автотранспорта увеличивает выбросы в период работы двигателей машин на «холостом режиме работы» (в автомобильных пробках). Эти причины повышают среднегодовые концентрации диоксида азота, что является причиной повышения уровня загрязнения атмосферы города этой примесью в значительной степени. Но при этом, уменьшение содержания в городской атмосфере оксида углерода может привести к повышению содержания диоксида азота, что связано со значительным возрастанием выброса этой примеси с выхлопными выбросами в виде результата регулирования карбюраторов двигателей автотранспорта с задачей достижения нормы выбросов по оксиду углерода, для чего контролируя стабильный уровень загрязнения воздуха Москвы оксидом углерода, можно уменьшить ее загрязненности диоксидом азота. Основной причиной поступления оксида азота в воздух Москвы считается процесс сжигания газового топлива. Максимум случаев повышенного загрязнения диоксидом азота наблюдается в Центральном административном округе, и это связано с значительной интенсивностью движения автотранспорта в данном округе, а также её загруженностью [19].

3.3 Исследование изменения загрязнения воздушного бассейна города Москвы формальдегидом.

Для исследования уровня загрязнения г. Москвы были взяты среднесуточные данные формальдегида и диоксида азота за период май 2018 – март 2019 гг., предоставленные ФГБУ «Центральное УГМС» по запросу ФГБУ «Гидрометцентр России» на запрос от 03.04.2019 г. № К-268 для Лаборатории метеорологических условий загрязнения. Таблицы исходных данных А3 и А4 (см. Приложение), по которым построены графики и было проведено исследование загрязнения городского воздуха, представлены в Приложении.

Исходя из информации по уровню загрязнения, был выбран летний период 2018 года (июнь-август), так как предоставленные данные показывают высокий уровень формальдегида, который представляет опасность для здоровья жителей исследуемого объекта. Для обработки информации в разработку взяты среднесуточные данные, построены графики среднесуточного хода уровня загрязнения для составления связи с метеорологическими параметрами и диоксидом азота, как возможным катализатором фотохимического образования формальдегида под действием солнечной радиации.

Прорабатывая анализ качества воздуха, прежде всего, необходимо учитывать данные выбросов от типа источников. Как было указано ранее, основным источником выбросов формальдегида в городе Москва главным образом считается автомобильный транспорт, из-за которого происходит выделение формальдегида в процессе сгорания топлива работы двигателей, а также за счет реакции фотоокисления различных соединений органической природы.

Диоксид азота – это бурый газ, имеющий характерный неприятный запах. Он способен сильно раздражать слизистые оболочки дыхательных путей и его вдыхание ядовитых паров способно привести к серьезному отравлению. При продолжительном воздействии на человека диоксида азота, превышающим

предельно допустимую норму, он оказывает влияние на легкие, слизистую желудочно-кишечного тракта, и нервную систему. Диоксид азота тяжелее воздуха, поэтому его повышенное содержание находится в низинах и особый риск он представляет при технических обслуживаниях транспорта. Пороговая концентрация, при которой человек способен его ощущать составляет 23 мкг/м³.

На рисунках 5-7 представлены графики хода динамики концентраций формальдегида по отношению к значениям диоксида азота с нанесенными линиями предельно допустимых среднесуточных концентраций: для формальдегида (10 мкг/м³), и диоксида азота (40 мкг/м³) за июнь, июль и август 2018 года. В течение всего периода исследования, концентрации формальдегида летом 2018 года находятся в пределах 12 – 61 мкг/м³, что превышает ПДК_{сс} (10 мкг/м³) на протяжении всего периода наблюдений, а в некоторые периоды наблюдается превышение нормы в 5-6 раз – 24 июня; 1, 15-18, 22 июля и 3 августа.

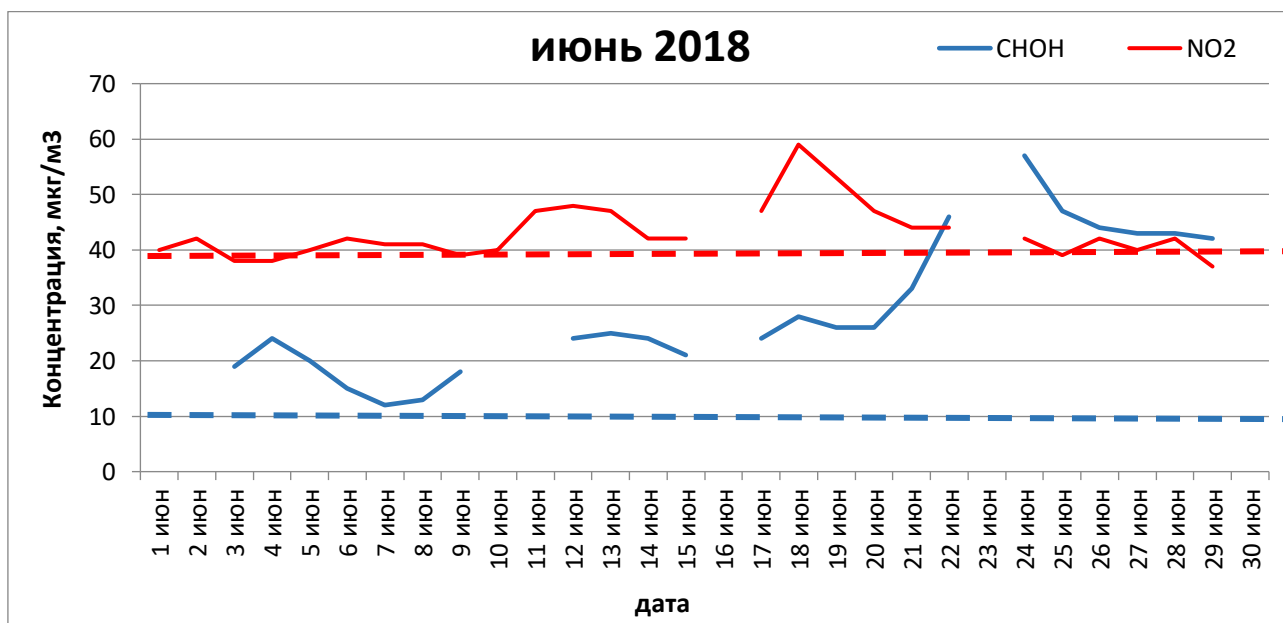


Рисунок 5. Динамика временных рядов формальдегида и диоксида азота г. Москвы в июне 2018 года

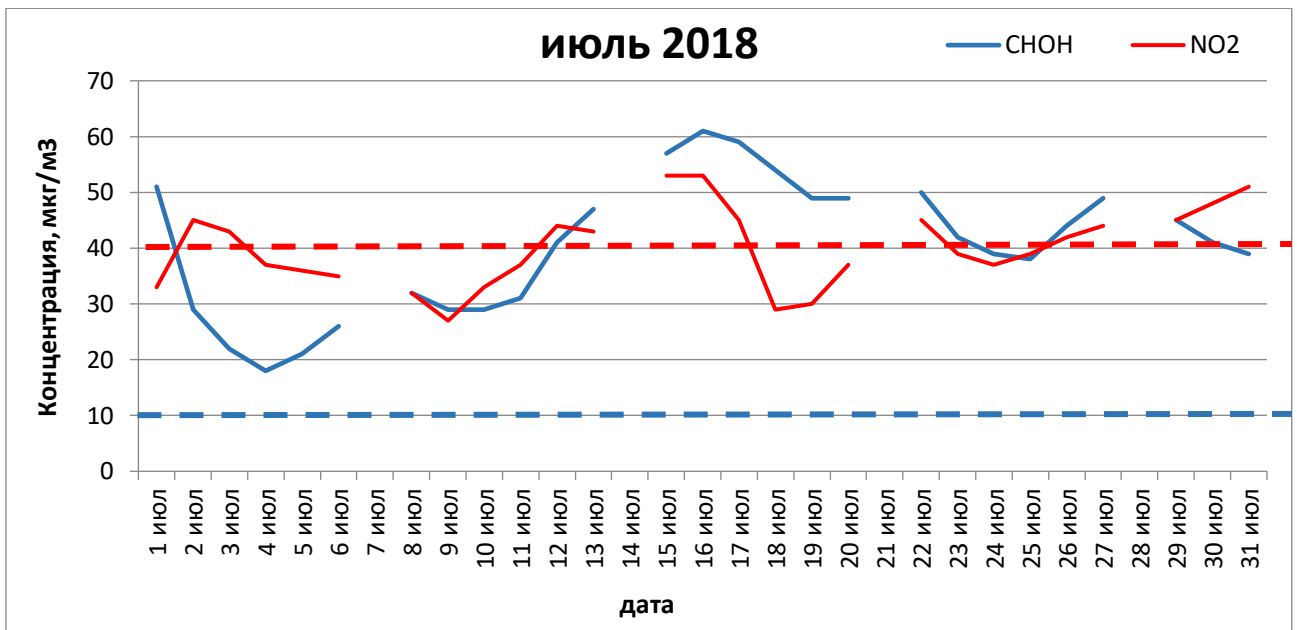


Рисунок 6. Динамика временных рядов формальдегида и диоксида азота г. Москвы в июле 2018 года

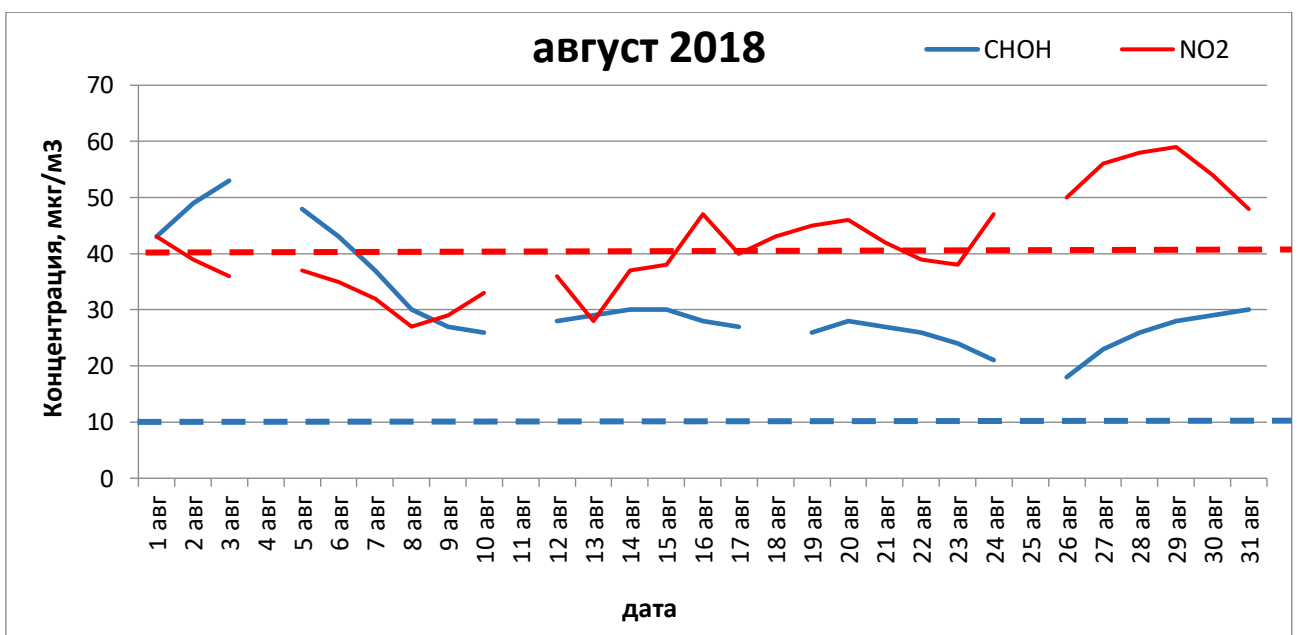


Рисунок 7. Динамика временных рядов формальдегида и диоксида азота г. Москвы в августе 2018 года

Исходя из построенных графиков по всем трем месяцам, видно, что формальдегид имеет слабую связь в атмосфере с уровнем концентрации диоксида азота. Поэтому, высокий уровень загрязнения формальдегида может зависеть от очень высокого общего загрязнения воздуха города и его

понижение возможно лишь при общем снижении загрязнения воздуха.

Проводя исследование синоптических ситуаций были использованы карты приземной прогностической информации, взятые с официального сайта ФГБУ "Гидрометеорологический Научно-исследовательский Центр Российской Федерации" [20]. Изучая синоптическую ситуацию в указанные дни можно сообщить следующее:

На рисунке 8 [20] представлена синоптическая ситуация в третьей декаде июня (22 и 23 июня). В эти дни в Москве стояла жаркая погода, температура воздуха превышала 30 градусов, что привело к повышению роста концентрации формальдегида за счет фотохимических реакций углеводородов. К 24 июня, когда наблюдалась повышенная концентрация формальдегида (57 мкг/м^3), с юго-запада прошел холодный атмосферный фронт, который начиная с западных районов, прошелся дождями, грозами, сильным ветром с порывами и соответственно, понижением температуры, из-за чего реакция образований формальдегида уменьшилась до 42 мкг/м^3 29 июня.

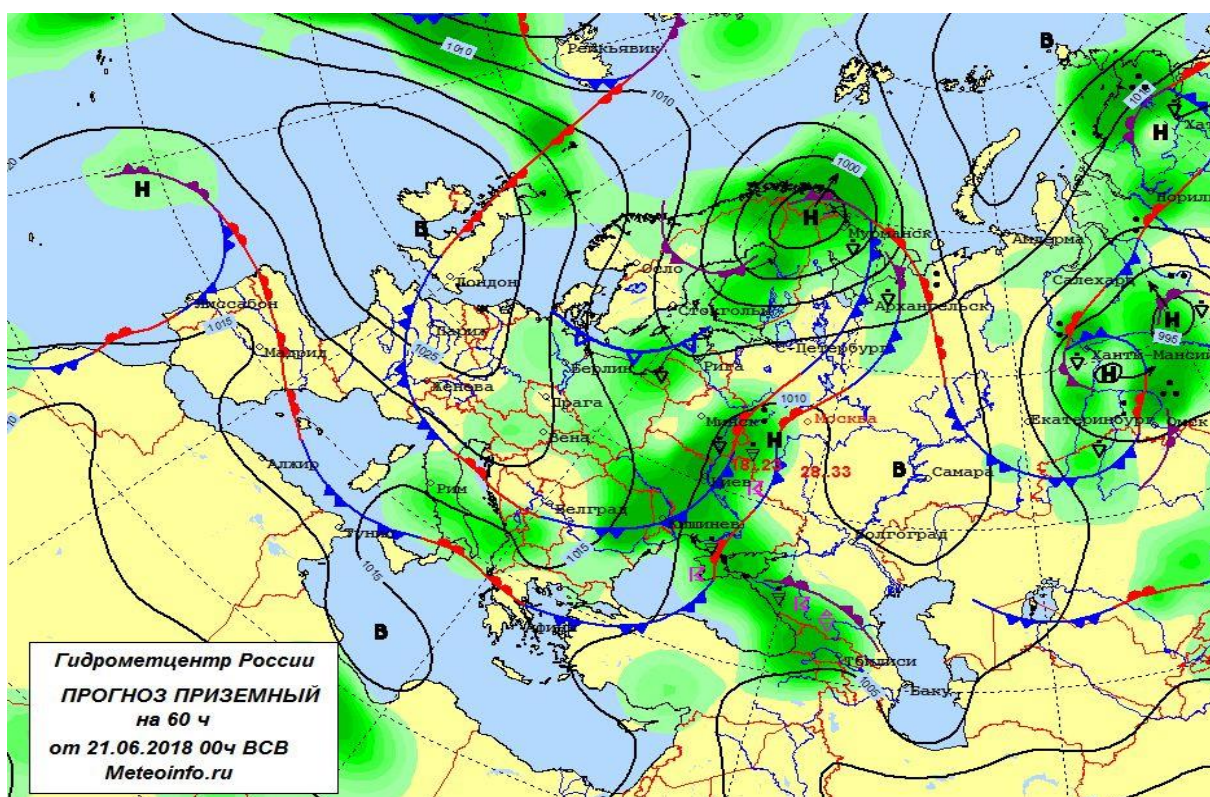


Рисунок 8. Приземная прогностическая карта Европы на 60 часов от 21 июня 2018 года

На рисунке 9 [20] представлена синоптическая ситуация, предшествующая повышению концентрации формальдегида (до 51 мкг/м³) 1 июля. Этому способствовала жаркая, малооблачная погода, с превышением температуры выше 30 градусов: 29 и 30 июня на регион оказывал свое влияние южный циклон и связанные с ним атмосферные фронты. В эти дни стояла переменная облачность, что указывало на влияние активности солнечной радиации, что инерционно повлияло на рост концентрации загрязнителя. Но, с прохождением фронта 1 июля, в Москве был дождь, местами сильный, с грозой. Ветер был юго-восточный, восточный 5-10 м/с, при грозе наблюдались порывы 15-20 м/с. Влияние значительной облачности и рассеивание диоксида азота способствовало резкому понижению содержания формальдегида в атмосферном воздухе до 29 мкг/м³ 2 июля.

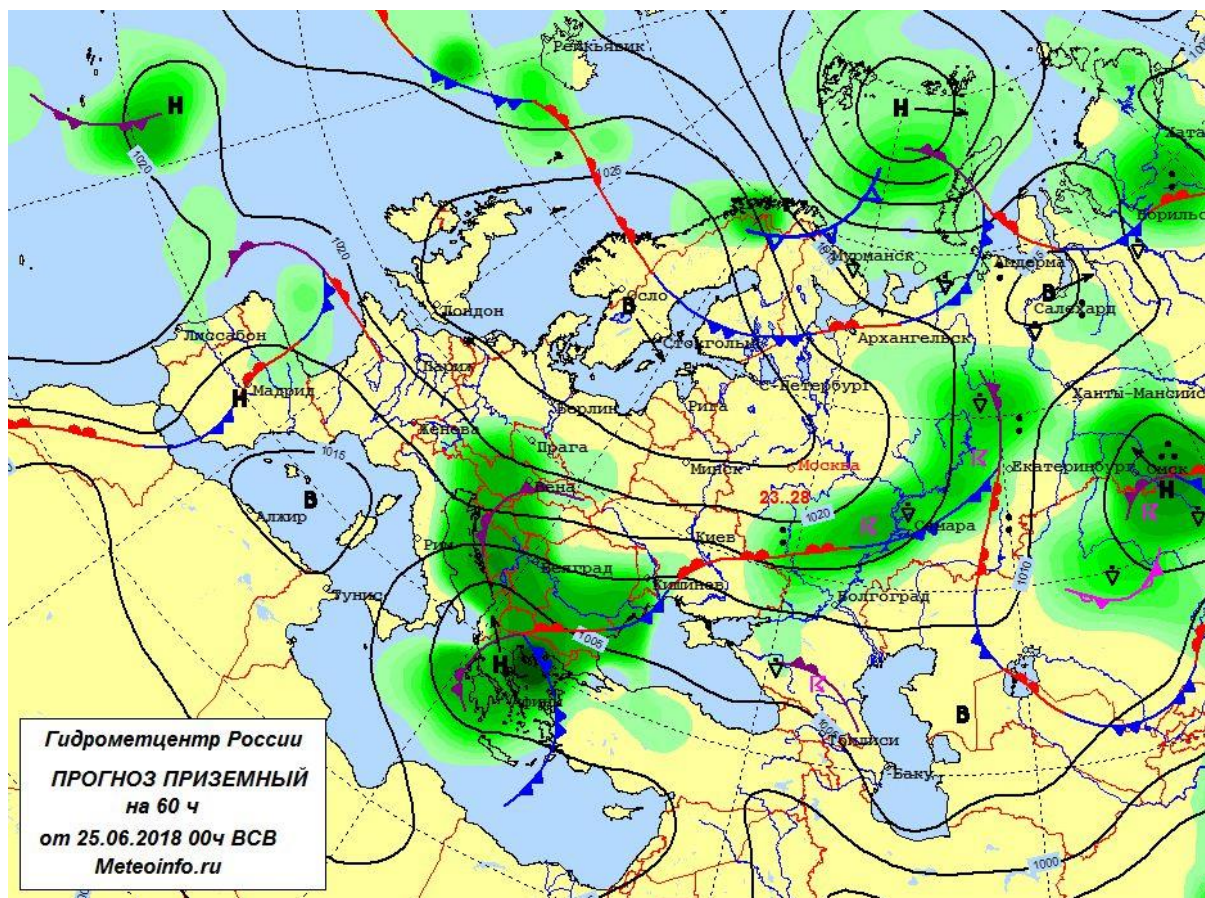


Рисунок 9. Приземная прогностическая карта Европы на 60 часов от 25 июня 2018 года

На рисунке 10 [20] представлена синоптическая ситуация, которая привела к наибольшему максимуму уровня формальдегида за весь период исследования. Это случилось по той причине, что, начиная с 11 числа Московский регион находился в тыловой части циклона, где в дальнейшем он находился в малоградиентном барическом поле, из-за чего стояла теплая погода, с переменной облачностью и кратковременными дождями. 15 июля уровень загрязнения атмосферы формальдегидом составлял 57 мкг/м^3 , в это время стояла малооблачная, очень теплая погода с температурой до 29 градусов, со скоростью ветра $3-8 \text{ м/с}$. В дальнейшем Московский регион оказался под влиянием южного циклона и городе стояла жаркая и влажная погода, с небольшими дождями. 16 июля концентрация формальдегида составляла наибольший максимум за весь период наблюдений - 61 мкг/м^3 , наблюдалась переменная облачность, температура достигала отметки $29 \text{ }^\circ\text{C}$, ветер восточный $3-8 \text{ м/с}$. 17 июля концентрация составляла 59 мкг/м^3 , была переменная облачность с кратковременными дождями, с температурами до $28 \text{ }^\circ\text{C}$, ветер северо-восточный, восточный $5-10 \text{ м/с}$. 18 июля характер погоды особо не менялся: была переменная облачность, с кратковременными дождями, днем кратковременный дождь, с температурой до 26°C , а ветер северо-восточный $5-10 \text{ м/с}$, а концентрация загрязнения атмосферы формальдегидом составляла 54 мкг/м^3 . В дальнейшем характер погоды оставался без сильных изменений, так как регион оставался под влиянием южного циклона, где очередной максимум наблюдался 22 числа, с температурой до $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и уровнем загрязнения 50 мкг/м^3 .

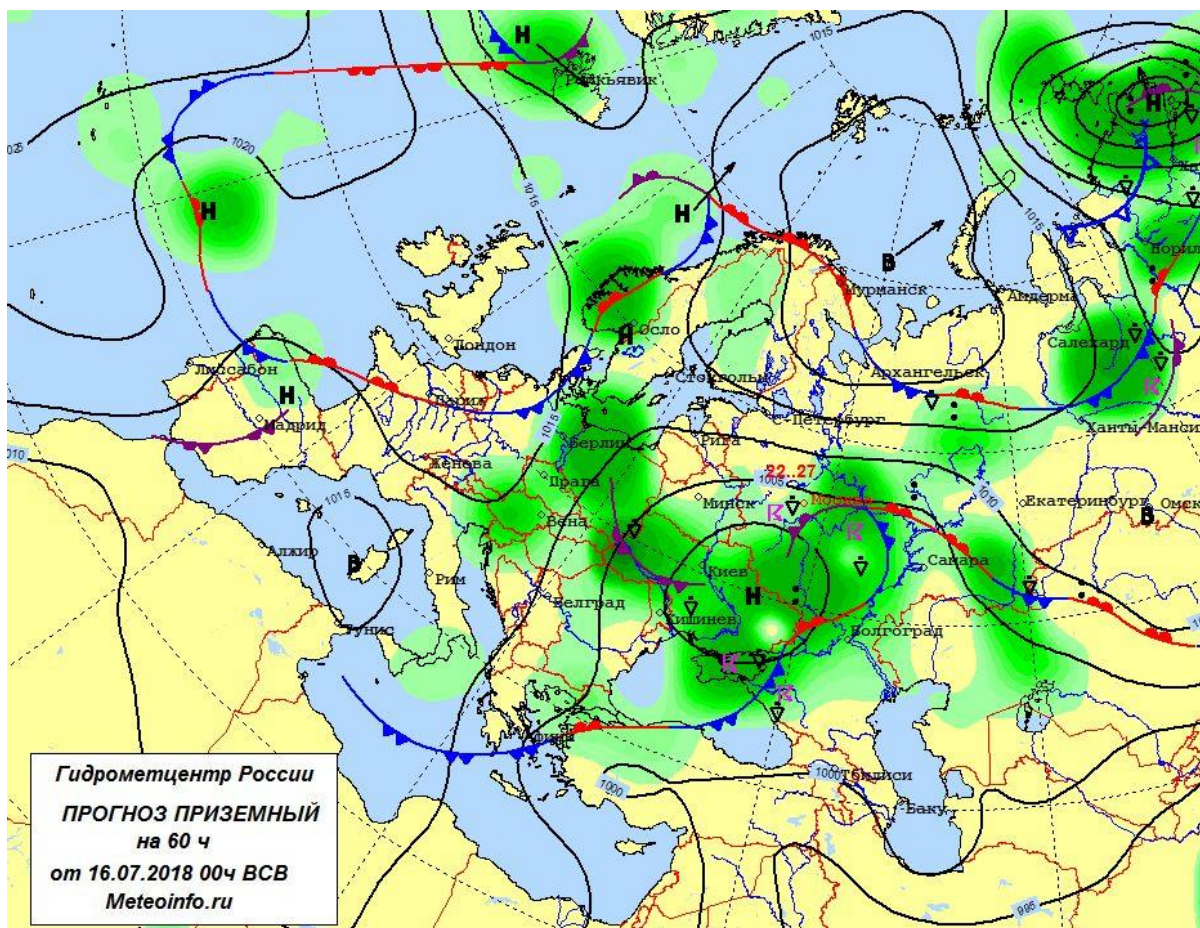


Рисунок 10. Приземная прогностическая карта Европы на 60 часов от 16 июля 2018 года

На рисунке 11 [20] представлена синоптическая ситуация, при которой наблюдался максимум концентрации формальдегида в августе (53 мкг/м^3) - 3 августа, вследствие длительной, теплой погоды, которая держала уровень концентрации формальдегида протяжении двух недель выше 4 ПДК_{сс}. В начале августа Москва находилась под влиянием скандинавского антициклона, который принес жаркую погоду, без осадков, в результате 3 августа стояла ясная погода, без осадков, с температурой до $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Ветер северный, северо-западный 3-8 м/с.

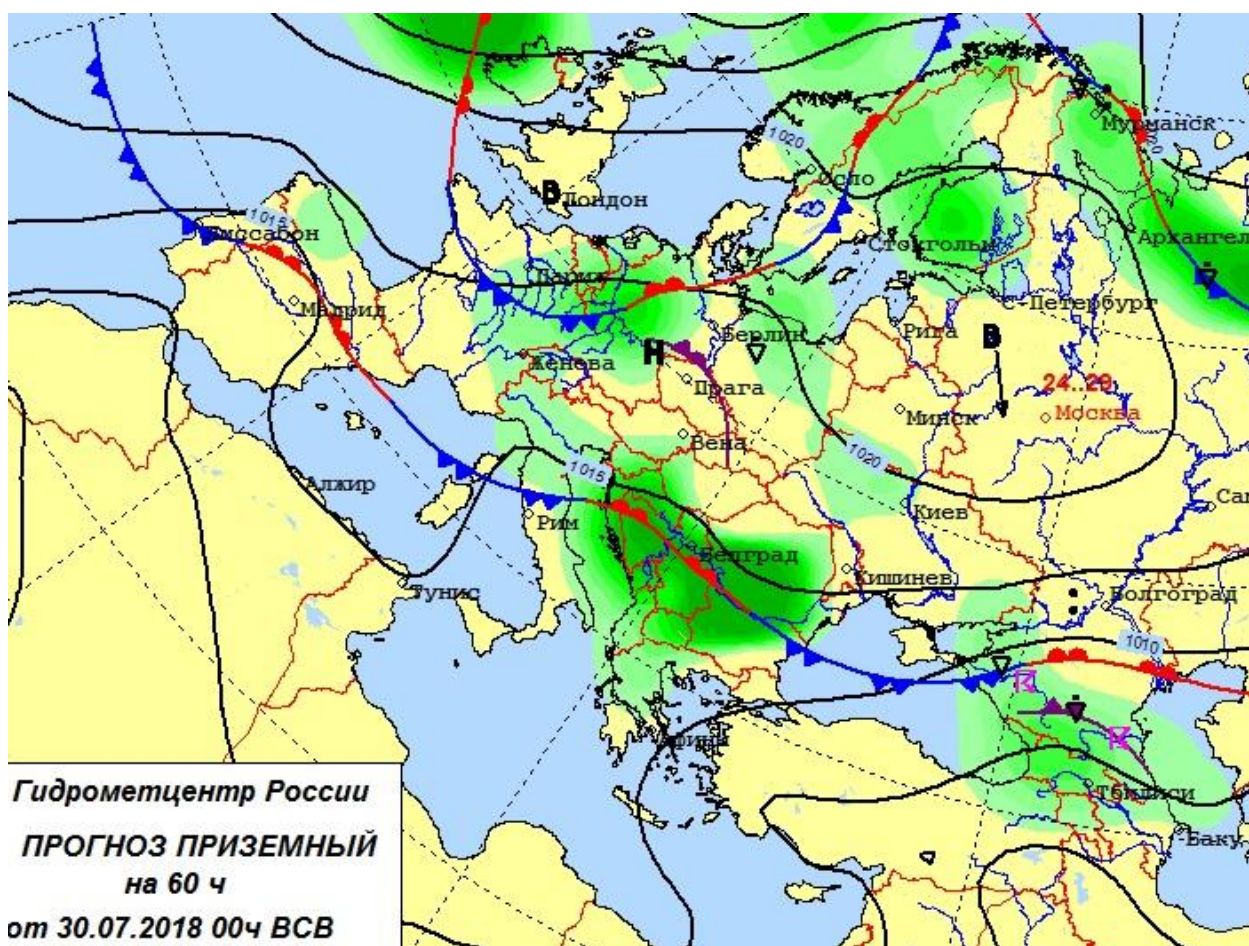


Рисунок 11. Приземная прогностическая карта Европы на 60 часов от 30 июля 2018 года

В дальнейшем уровень концентрации формальдегида не будет превышать 3 ПДК_{сс}, так как антициклон постепенно будет утрачивать свое влияние, в связи с чем, будет больше облачности, и до конца месяца погода в Московском регионе будет иметь переменчивый характер из-за циклонической циркуляцией Атлантики: прохождением циклонов и наличием переменной облачности, а также усилением ветра, который будет препятствовать повышению уровня диоксида азота и других углеводородов, которые при реакциях фотоокисления могут быть вторичным источников образования формальдегида.

В Приложении, в табл. А5 приведены результаты расчетов по нахождению корреляционной связи между концентрацией формальдегида и метеорологическими параметрами: значимые коэффициенты при уровне значимости 0,05 выделены красным цветом. При анализе выявлена

положительная высокая корреляция между концентрацией формальдегида и значениями температур воздуха за все три месяца исследования. Коэффициенты корреляции между концентрацией формальдегида и температурой воздуха показали для июня $r = 0,78$, для июля $r = 0,91$ и для августа $r = 0,56$. Анализ таблицы указывает, что наибольшее влияние оказывает температура, причем прямое. Другими словами, чем выше будет температура воздуха, тем выше уровень концентрации формальдегида. На рисунке 12 показан график зависимости среднесуточной температуры воздуха и концентрацией формальдегида за летний период 2018 года.

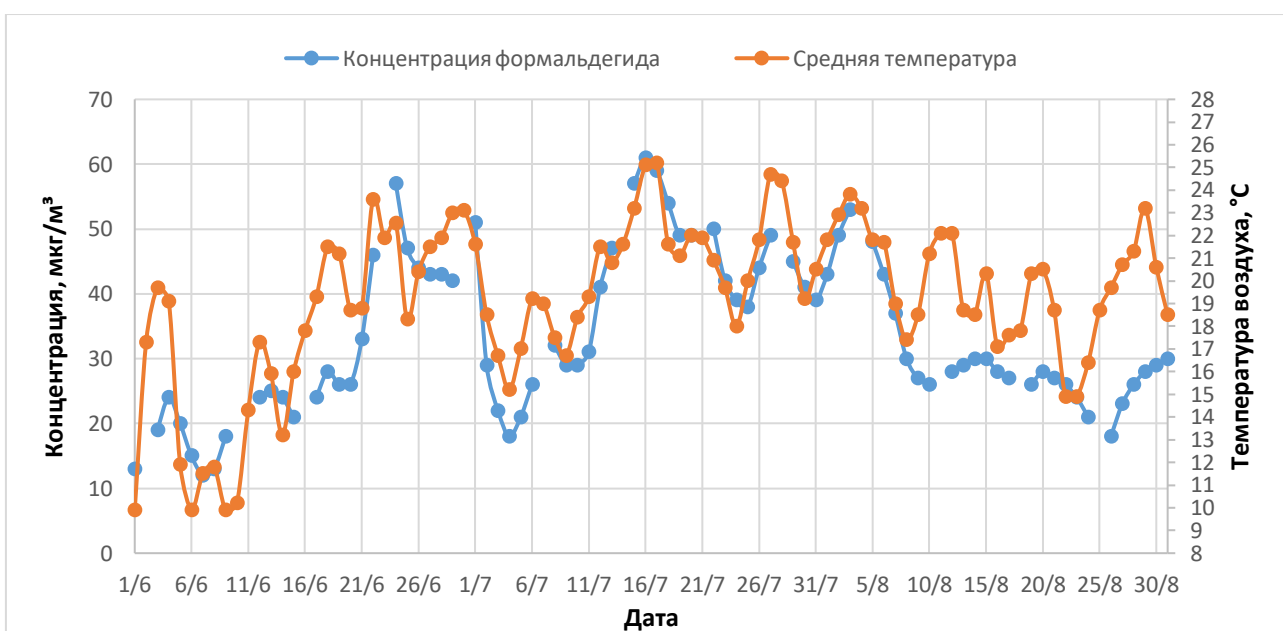


Рисунок 12. Сравнение концентрации формальдегида и среднесуточной температуры воздуха г. Москвы за летний период 2018 года

На рисунке 13 показан график зависимости значений скорости ветра и концентрации формальдегида за летний период 2018 года. Проведя анализ хода концентраций формальдегида по отношению к значениям скорости ветра, коэффициент корреляции составляет $-0,19$, что говорит об отсутствии связи.

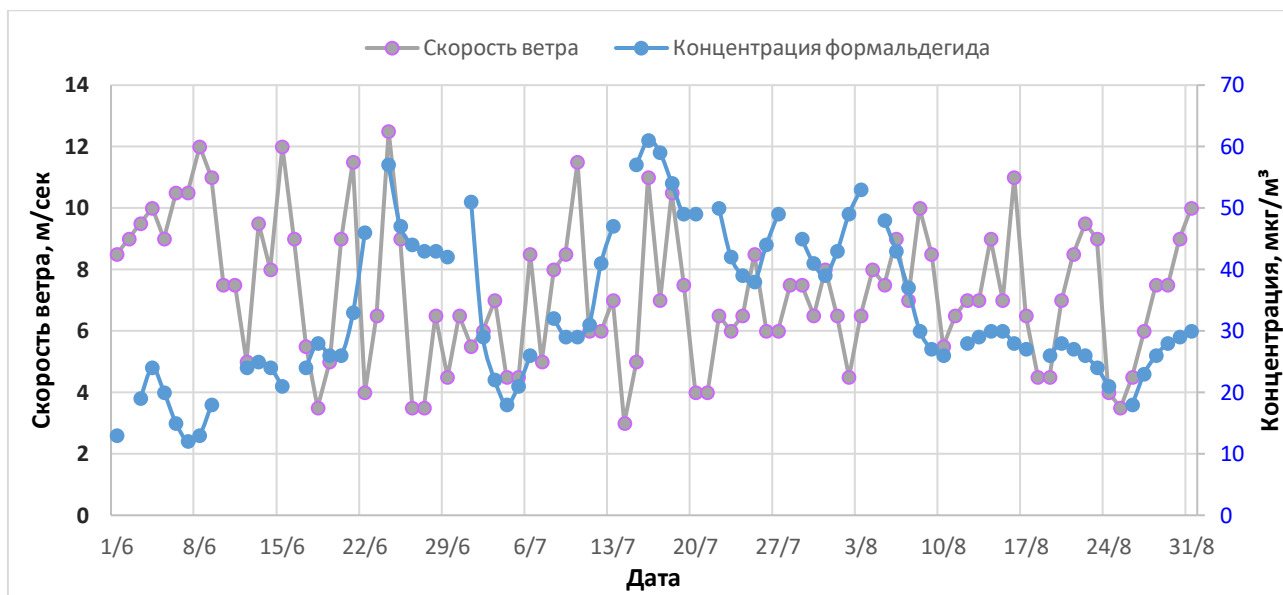


Рисунок 13. Сравнение концентрации формальдегида и среднесуточных значений скоростей ветра г. Москвы за летний период 2018 года 0

Проводя анализ данных (рис. 5-7) о динамике уровня концентраций формальдегида и диоксида азота можно сделать вывод, что формальдегид имеет слабую связь с диоксидом азота, что свидетельствует о том, что он является вторичной примесью, образованной в процессе фотохимической реакции в атмосфере. Лишь в некоторых рядах случаев его образованию способствует наличие в атмосфере высоких концентраций диоксида азота. В результате реакции с оксидами азота происходит более быстрая трансформация оксидов в диоксид азота.

Поэтому, высокие концентрации формальдегида не обязательно связаны с выбросами этого вещества, но могут создаваться вследствие общего очень высокого общего загрязнения воздуха города. Снижение его концентраций возможно лишь при снижении загрязнения воздуха оксидами азота и углеводородами.

Тем не менее, в летнее время происходит активизация фотохимических процессов, приводящих к образованию формальдегида в городской атмосфере. И вместе с этим важно обратить внимание на то, что в городах в атмосферу выбрасывается большое количество совершенно различных углеводородов,

которые способствуют протеканию реакций.

В Московском регионе, оценивая прогноз повышения уровня концентрации формальдегида фотохимическими реакциями в условиях уровня концентрации тропосферного озона, можно сказать, что вероятность его образования достаточно низкая. Это связано с тем, что генерирование озона из углеводородов, приводящее к повышению уровня формальдегида, происходит на значительном расстоянии (около 400 км) от Московского региона из-за переноса воздушных масс. Исследования мониторинга состояния атмосферного воздуха городов России показывают высокую окислительную деятельность компонентов атмосферы, что свидетельствует о повышении уровня концентрации вредных веществ и об образовании фотохимического смога.

3.4. Общая оценка уровня загрязнения атмосферы Москвы формальдегидом

Полученные данные по табл. А4 (см. Приложение) концентраций загрязнения городского воздуха формальдегидом получены на трех стационарных постах ФГБУ «Центральное УГМС»:

- Пост № 18 расположен по адресу г. Москва, ЦАО, р-н «Мещанский» (Садовое кольцо), Сухаревская пл., 10/31
- Пост № 20 расположен по адресу г. Москва, ЮАО, р-н «Нагорный» (промышленная зона «Верхние Котлы», промышленная зона «Нагатино»), Варшавское шоссе, 22
- Пост № 23 расположен по адресу г. Москва, ЮВАО, р-н «Печатники» (промышленная зона «Люблино-Перерва»), ул. Шоссейная, 29

Проводя анализ результатов исследования загрязнения атмосферного воздуха Москвы формальдегидом за указанный период, дается следующая оценка по трем месяцам летнего периода наблюдений:

- В июне средняя концентрация уровня формальдегида составила 22

мкг/м³ (2,2 ПДК_{сс}), максимально разовая концентрация составляла 86 мкг/м³ (1,7 ПДК_{мр}). Максимальная среднемесячная концентрация формальдегида 3,4 ПДК_{сс} фиксировалась в Юго-Восточном административном округе (район «Печатники»). Максимальные данные уровня загрязнения атмосферы формальдегидом (СИ = 2, НП = 21%) наблюдались Юго-Восточном административном округе г. Москвы (район «Печатники»). В Северо-Восточном (ВДНХ), Центральном (район «Мещанский»), Южном (район «Нагорный») и Восточном (район «Богородское») административных округах г. Москвы отмечались высокие уровни загрязнения воздуха формальдегидом (СИ = 1 и 2; НП = 2 и 10%) [21].

- В июле средняя концентрация уровня формальдегида составила 27 мкг/м³ (2,7 ПДК_{сс}), максимально разовая концентрация составляла 160 мкг/м³ (3,2 ПДК_{мр}). Максимальная среднемесячная концентрация формальдегида (4,4 ПДК_{сс}) наблюдалась в Южном административном округе г. Москвы (район «Нагорный»). Максимальные данные уровня загрязнения атмосферы формальдегидом (СИ = 3, НП = 28%; СИ = 2, НП = 29%) отмечались в Южном (район «Нагорный») и Юго-Восточном (район «Печатники») административных округах г. Москвы. В Центральном (район «Мещанский»), Восточном (район «Богородское»), и Северо-Восточном (ВДНХ) административных округах г. Москвы отмечались высокие уровни загрязнения воздуха формальдегидом (СИ = 1 и 2, НП = 4 и 12%) [21].
- В августе средняя концентрация уровня формальдегида составила 21 мкг/м³ (2,1 ПДК_{с.с.}), максимально разовая концентрация составляла 95 мкг/м³ (1,4 ПДК_{м.р.}). Максимальная среднемесячная концентрация формальдегида (4,1 ПДК_{с.с.}) наблюдалась в Южном административном округе г. Москвы (район «Нагорный»). Максимальные данные уровня загрязнения атмосферы формальдегидом (СИ=2, НП=18%) отмечались Южном административном округе г. Москвы (район «Нагорный»). [21] В

Центральном (район «Мещанский») и Юго-Восточном (район «Печатники») административных округах г. Москвы отмечались высокие уровни загрязнения воздуха формальдегидом (СИ = 1 и 2; НП = 5 и 11%).

Из этого можно сделать вывод, что большая часть формальдегида находится в промышленных районах г. Москвы так как на этих территориях в настоящий момент проводится активная стадия застройки различных сооружений, в чем возникает необходимость проводить приоритетный мониторинг за состоянием городского воздуха над этими территориями.

Заключение

В данной работе было проведено исследование влияния различных метеорологических параметров на уровень концентрации формальдегида в летний период 2018 года в городе Москва. Анализ показал, что существенное влияние на уровень загрязнения атмосферы данным загрязнителем оказывает температура воздуха и солнечная радиация.

Применение данных исследований за загрязнением атмосферы формальдегидом с учетом метеорологических процессов, в которых происходят реакции фотохимии, позволило изучить временной ряд наблюдений за концентрацией вещества и сделать следующие выводы:

- Проверка расчетов данных показала в атмосфере наибольшую взаимосвязь между формальдегидом и среднесуточной температурой воздуха, коэффициент корреляции которой составляет 0,75 для летнего периода.
- Формальдегид как результат окисления веществами органической природы является важной составляющей химии тропосферы. Анализ данных позволил оценить максимальную концентрацию этого вещества в городской атмосфере, которая достигает 61 мкг/м^3 при $\text{ПДК}_{\text{cc}} = 10 \text{ мкг/м}^3$. При таких ситуациях концентрация формальдегида достигает до 6 ПДК_{cc} .
- Результаты измерений концентрации формальдегида за летний период 2018 года показывают превышение ее нормы в течение всего периода наблюдений. Из этого можно предположить, что в атмосфере, увеличилось число различных радикалов, которые способны вовлекать в реакции различные инертные химические элементы, например, такие как метан, пропан, бутан, этан и другие углеводороды. Можно сказать, что, в летнее время происходит активизация фотохимических процессов, приводящих к образованию формальдегида в атмосфере. Поэтому, для минимизации уровня загрязнения атмосферы формальдегидом,

необходимо комплексно принимать меры по предотвращению промышленных выбросов, которые могут способствовать повышению уровня его концентрации в городском воздухе.

Данное исследование очень важно в связи с биологическим действием формальдегида, так как этот загрязнитель является сильнейшим мутагеном для различных живых организмов, при этом он влияет на конкретные стадии клеточных циклов.

При проведении исследования, следует обратить внимание на то, что при наличии значительных объемов материала по данному вопросу, наблюдался недостаток информации по исследованиям распределения вещества по временным рядам, а также оперативной информации по уровню формальдегида в воздухе.

Список используемой литературы

1. «Руководство по контролю загрязнения атмосферы с изменениями на 01.07.2015 г.». РД 52.04.186-89. - М. - 1991. - 683 с.
2. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. – Л.: Гидрометиздат. - 1986. – 200 с.
3. Розанов Л.Л. Геоэкология: учебно-методическое пособие для вузов. – М.: Дрофа. – 2010. – 269 с.
4. РД. 52.04.667-2005. «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию». - М. – 2006. – 276 с.
5. Бабаянц Р.А. Влияние загрязнения городского воздуха на здоровье населения // Вестник АН СССР. - 1959. - №12. - С. 3-12.
6. Безуглая Э.Ю. Влияние загрязнения воздуха на здоровье // Качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет (1988-1997). СПб.:Изд-во Росгидромет. - 1999. - С. 32-35.
7. Безуглая Э.Ю. Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.
8. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометиздат. - 1991. - 223 с.
9. Сонькин Л.Р. Статистические и синоптические методы прогноза загрязнения воздуха в городах. Прогнозирование загрязнения атмосферы: Сборник докладов на международном совещании ВМО РА VI, Ленинград, ноябрь 1980г, – Л.: Гидрометеиздат. - 1984. - С. 60-68.
10. Сонькин Л.Р., Николаев В.Д. Синоптический анализ и прогноз загрязнения атмосферы. – Л.: Метеорология и гидрология. – 1993. - №5. – С. - 224 с.

11. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие. /Ред. Э.Ю.Безуглая М.Е.Берлянд – Л.: Гидрометиздат. – 1983. – 548 с.
12. Безуглая Э.Ю., Чичерин С.С., Шарикова О.П. Состояние и перспективы сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в городах. В кн. Мониторинг загрязнения атмосферы в городах (Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова), С-Петербург, Гидрометиздат - 1998. - С. 3-10.
13. Дорогова В.Б. Тараненко Н.А., Рычагова О.А., Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм, Бюллетень ВСНЦ СО РАМН, — 201. - № 1(71) - С. 32-35.
14. Численное моделирование фотохимического окисления метана в атмосфере промышленных районов / А.Е.Алоян, Н.М.Бажин, В.В.Пененко, Г.И.Скубневская – Новосибирск, 1987. – 38 с.
15. Скубневская Г.И., Дульцева Г.Г. Загрязнение атмосферы формальдегидом / Ред. Н.М. Бажин. – Новосибирск. - 1994. - 70 с.
16. Балакин В.М., Глухих В.В., Коршунова Н.И. Определение формальдегида, выделяющегося из древесностружечных плит /Уральск, лесотехн. ин-т.- Свердловск, 1985.- деп. в ВНИПИ-ЭИЛеспром, 1965, N 1508-лб.- 38 с.
17. РД 52.04.824-2015 «Массовая концентрация формальдегида в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений фотометрическим методом с фенилгидразином». - СПб.: – 2016. – 50с.
18. ГОСТ ISO 16000-4-2016 Воздух замкнутых помещений. Часть 4. Определение формальдегида. Метод диффузионного отбора проб. М.: Стандартиформ. - 2017. - 12 с.
19. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году» / Под ред. А.О.Кульбачевского. - М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП. - 2017. – 363 с.

20. Официальный сайт Федеральное государственное бюджетное учреждение "Гидрометеорологический Научно--исследовательский Центр Российской Федерации" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения: 01.03.2020).

21. Официальный сайт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.meteorf.ru/special/product/infomaterials/99/> (дата обращения: 24.05.2020).

Приложение

Таблица А1. Рассчитанные стандартные для атмосферных условий концентрации радикалов ОН, НО₂, и NO₃ и озона, константы скоростей реакций с формальдегидом и время жизни формальдегида, исходя из реакций

Рассчитанные времена жизни СНОН по реакции СНОН + М			
Реагент	[М], см ⁻³	k, см ³ /с	Период
О ₃	5·10 ¹²	≤ 2·10 ⁻²⁴	≥ 3000 лет
ОН	10 ⁷	9·10 ⁻¹²	3 часа
НО ₂	2 · 10 ⁹	8·10 ⁻¹⁴	2 часа
О(³ P)	8 · 10 ⁴	2·10 ⁻¹³	2,5 лет
NO ₃	10 ¹⁰	6·10 ⁻¹⁶	2 дня

Таблица А2. Градуированная характеристика выражения зависимости объема пробы поглотительного раствора (150 грамм уксуснокислого аммония в 800 см³ дистиллированной воды, 2 см³ ацетилацетона и 3 см³ уксусной кислоты) от массы формальдегида для установления характеристики при определении концентрации формальдегида лабораторным химическим способом

№ раствора для градуировки	1	2	3	4	5	6	7
Объем раствора 10 мкг/см ³	0,05	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
Масса СНОН в 5 см ³ раствора	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00

Таблица А3. Среднесуточные концентрации диоксида азота (мг/м^3) по данным наблюдений на стационарных постах 2, 18, 20, 23 и 38 г. Москвы за период май 2018 – март 2019 гг.

Таблица 3 – Среднесуточные концентрации диоксида азота (мг/м^3) по данным наблюдений на стационарных постах 2, 18, 20, 23 и 38 г. Москвы за период май 2018 – март 2019 гг.											
Дата	май.18	июн.18	июл.18	авг.18	сен.18	окт.18	ноя.18	дек.18	янв.19	фев.19	мар.19
1	-	0,040	0,033	0,043	-	0,048	0,057	0,070	-	0,099	0,083
2	0,071	0,042	0,045	0,039	0,034	0,045	0,057	0,064	-	-	-
3	0,068	0,038	0,043	0,036	0,050	0,043	-	0,065	-	0,086	0,078
4	0,065	0,038	0,037	-	0,056	0,042	0,053	0,065	-	0,079	0,079
5	-	0,040	0,036	0,037	0,056	0,041	0,054	0,058	-	0,075	0,076
6	0,064	0,042	0,035	0,035	0,059		0,053	0,054	-	0,074	0,075
7	0,068	0,041	-	0,032	0,065	0,04	0,053	0,053	-	0,071	0,071
8	0,068	0,041	0,032	0,027	-	0,039	0,043	-	0,047	0,073	-
9	0,068	0,039	0,027	0,029	0,057	0,043	0,042	0,064	0,060	0,063	-
10	0,062	0,040	0,033	0,033	0,047	0,046	0,039	0,061	0,077	0,055	0,071
11	0,070	0,047	0,037	-	0,040	0,057	0,052	0,056	0,082	0,053	0,074
12	-	0,048	0,044	0,036	0,035	0,06	0,056	0,053	0,082	0,057	0,066
13	0,079	0,047	0,043	0,028	0,049	0,078	0,063	0,060	0,107	0,058	0,060
14	0,081	0,042	-	0,037	0,048	0,072	0,067	0,073	0,116	0,061	0,056
15	0,066	0,042	0,053	0,038	0,064	0,079	0,075	-	0,129	0,059	0,056
16	0,055	-	0,053	0,047	0,047	0,08	0,072	0,087	0,127	-	-
17	0,056	0,047	0,045	0,04	0,042	0,093	-	0,095	0,111	0,061	0,066
18	0,059	0,059	0,029	0,043	0,035	0,098	0,076	0,090	0,097	0,067	0,073
19	-	0,053	0,030	0,045	0,035	0,101	0,073	0,086	-	0,068	0,076
20	0,057	0,047	0,037	0,046	0,039		0,079	0,080	0,084	0,071	0,072
21	0,054	0,044	-	0,042	0,043	0,083	0,078	0,080	0,092	0,071	0,062
22	0,059	0,044	0,045	0,039	-	0,075	0,073		0,114	0,070	0,064
23	0,060	-	0,039	0,038	0,044	0,065	0,069	0,077	0,143	-	-
24	0,063	0,042	0,037	0,047	0,040	0,062	-	0,076	0,143	0,069	0,064
25	0,057	0,039	0,039	-	0,036	0,056	0,064	0,071	0,129	0,067	0,065
26	-	0,042	0,042	0,050	0,034	0,06	0,067	0,063	-	0,062	0,065
27	0,057	0,040	0,044	0,056	0,033		0,067	0,073	0,089	0,062	0,065
28	0,060	0,042	-	0,058	0,039	0,062	0,065	0,076	0,076	0,058	0,069
29	0,060	0,037	0,045	0,059	0,042	0,06	0,060	-	0,073		0,066
30	0,061	-	0,048	0,054	0,046	0,059	0,057	-	0,077		-
31	0,051		0,051	0,048		0,056		-	0,080		0,070

Таблица А4. Среднесуточные концентрации формальдегида (мг/м³) по данным наблюдений на стационарных постах 18, 20 и 23 г. Москвы за период май 2018 – март 2019 гг.

Таблица 4 – Среднесуточные концентрации формальдегида (мг/м ³) по данным наблюдений на стационарных постах 18, 20 и 23 г. Москвы за период май 2018 – март 2019 гг.											
Дата	май.18	июн.18	июл.18	авг.18	сен.18	окт.18	ноя.18	дек.18	январ.19	фев.19	мар.19
1	-	0,013	0,051	0,043	-	0,019	0,011	0,005	-	0,006	0,011
2	0,025	-	0,029	0,049	0,033	0,016	0,009	0,006	-	-	-
3	0,027	0,019	0,022	0,053	0,022	0,018	-	0,006	-	0,006	0,009
4	0,028	0,024	0,018	-	0,021	0,019	-	0,007	-	0,004	0,008
5	-	0,020	0,021	0,048	0,023	0,020	0,008	0,007	-	0,002	0,008
6	0,027	0,015	0,026	0,043	0,025	-	0,009	0,008	-	0,001	0,008
7	0,030	0,012	-	0,037	0,025	0,017	0,010	0,007	-	0,002	0,006
8	0,029	0,013	0,032	0,030	-	0,018	0,010	-	0,002	0,004	-
9	0,026	0,018	0,029	0,027	0,025	0,018	0,011	0,005	0,004	-	-
10	0,022	-	0,029	0,026	0,024	0,018	0,011	0,005	0,006	0,006	0,005
11	0,021	-	0,031	-	0,022	0,014	0,008	0,005	0,008	0,008	0,005
12	-	0,024	0,041	0,028	0,023	0,015	0,006	0,006	0,011	0,007	0,004
13	0,023	0,025	0,047	0,029	0,025	-	0,007	0,005	0,009	0,006	0,004
14	0,024	0,024	-	0,030	0,027	0,016	0,008	0,005	0,008	0,005	0,005
15	0,025	0,021	0,057	0,030	0,028	0,017	0,007	-	0,006	0,005	0,005
16	0,029	-	0,061	0,028	0,027	0,015	0,007	0,004	0,005	-	-
17	0,033	0,024	0,059	0,027	0,027	0,015	-	0,003	0,004	0,007	0,006
18	0,034	0,028	0,054	-	0,026	0,017	0,006	0,003	0,005	0,007	0,008
19	-	0,026	0,049	0,026	0,028	0,016	0,007	0,002	-	0,007	0,009
20	0,027	0,026	0,049	0,028	0,029	-	0,007	0,003	0,005	0,008	0,010
21	0,020	0,033	-	0,027	0,030	0,015	0,005	0,003	0,003	0,008	0,010
22	0,021	0,046	0,050	0,026	-	0,013	0,006	-	0,003	0,007	0,011
23	0,024	-	0,042	0,024	0,023	0,013	0,006	0,004	0,002	-	-
24	0,025	0,057	0,039	0,021	0,021	0,012	-	0,005	0,002	0,005	0,010
25	0,025	0,047	0,038	-	0,022	0,010	0,007	0,004	0,002	0,008	0,009
26	-	0,044	0,044	0,018	0,023	0,010	0,006	0,004	-	0,008	0,007
27	0,022	0,043	0,049	0,023	0,026	-	0,006	0,003	0,002	0,008	0,006
28	0,021	0,043	-	0,026	0,027	0,009	0,004	0,004	0,004	0,006	0,006
29	0,023	0,042	0,045	0,028	0,031	0,008	0,003	-	0,004		0,007
30	0,022	-	0,041	0,029	0,031	0,008	0,003	-	0,004		-
31	0,023		0,039	0,030		0,007		-	0,003		0,008

Таблица А5. Корреляционная связь формальдегида с различными метеорологическими параметрами, где СНОН – формальдегид, Т – среднесуточная температура воздуха, RH – влажность воздуха, WS – скорость ветра, WD – направление ветра

корреляция между СНОН и метеопараметрами				
	T	RH	WS	WD
ИЮНЬ	0,78	-0,25	-0,29	-0,39
ИЮЛЬ	0,91	-0,09	0,46	-0,66
АВГУСТ	0,56	0,09	0,01	0,11