



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

Кафедра ЭФА

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему «Временная изменчивость содержания взвешенных частиц в воздухе Санкт-Петербурга»

**Исполнитель** Непогодина Оксана Вячеславовна  
(фамилия, имя, отчество)

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

Крюкова Светлана Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

Доктор физико-математических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич  
(фамилия, имя, отчество)

«07» июня 2018 г.

Санкт-Петербург

2018\_\_



## Содержание

	Стр.
Введение.....	3
1 Загрязнение атмосферы.....	5
1.1 Классификация источников загрязнения.....	6
1.2 Основные загрязняющие вещества.....	8
1.3 Нормативы качества атмосферного воздуха.....	13
1.4 Загрязнение атмосферы $PM_{2,5}$ .....	15
1.4.1 $PM_{2,5}$ в атмосфере.....	15
1.4.2 Воздействие $PM_{2,5}$ на человека.....	18
2 Анализаторы пыли.....	24
2.1 Общие сведения.....	24
2.2 Принцип действия пылемеров.....	25
2.3 Применение пылемеров.....	31
2.4 Автоматические станции контроля качества воздуха.....	32
3 Исследование временных рядов концентрации $PM_{2,5}$ .....	33
3.1 Характеристика исследуемого района в г. Санкт-Петербург.....	33
3.2 Анализ временных рядов концентрации $PM_{2,5}$ .....	34
Заключение.....	41
Список литературных источников.....	42
Приложение.....	45

## Введение

$PM_{2,5}$  является воздушным загрязнителем, в его состав входят твердые микрочастицы и мельчайшие капельки жидкостей. Все эти частицы размером примерно от 10 нм до 2,5 мкм. Эти частицы находятся во взвешенном состоянии и обнаруживаются повсеместно, как на море, в лесу, так и в городской среде, но в городе они представляют наибольшую угрозу и их концентрация значительно выше.

В настоящее время в городах проживает примерно три четверти населения России, 90% населения Европы и половина населения мира. Экологические условия являются важнейшим фактором комфортности проживания в городской среде.

Воздушная среда – самая изменчивая по сравнению с другими средами, в ней быстрее всего происходит диффузия веществ, и загрязнители незамедлительно распространяются на большие области.

Из анализа литературных источников можно сделать вывод, что высокая техногенная нагрузка на урбанизированные территории, сказывающаяся на качестве воздуха в городском пространстве влияет на здоровье и экологически обусловленные заболевания.

Стоит отметить, что  $PM_{2,5}$  представляет большую опасность, так как эти частицы могут попадать в более низкие части легких, достигая альвеол.

Поэтому следует проводить наблюдения за содержанием состава атмосферы, тем самым прогнозируя метеорологические параметры и концентрации загрязняющих веществ, таким образом, избегая в будущем ситуации повышения уровня загрязнения.

Поскольку долгосрочная экспозиция к  $PM_{2,5}$  представляет особую опасность для здоровья человека и уменьшает ожидаемую продолжительность жизни, снижение концентраций  $PM_{2,5}$  и длительной экспозиции к ним

представляет приоритетную задачу, тем самым, подтверждая актуальность исследования.

Целью работы является оценка экологической обстановки Центрального р-на в г. Санкт-Петербург. Для достижения цели выстраивается ряд задач:

- 1) Проанализировать уровень загрязнения воздуха взвешенными частицами  $PM_{2,5}$ ;
- 2) Проанализировать временной ход – суточный, недельный и сезонный;
- 3) Сделать выводы по анализу полученных данных.

Объектом исследования являются данные, полученные со станций экологического мониторинга воздуха № 7 (Шпалерная, 56) и № 12 (Пестеля,1), расположенных в Центральном районе Санкт-Петербурга.

Предметом исследования является концентрация мелкодисперсных взвешенных частиц  $PM_{2,5}$ .

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

Первая глава посвящена раскрытию проблемы загрязнения атмосферы взвешенными частицами  $PM_{2,5}$ , влиянию этих частиц на человека. Вторая глава посвящена анализаторам пыли, их работе и применению. Третья глава посвящается характеристикам исследуемого района в г. Санкт-Петербург, а также исследованию и анализу временных рядов концентрации  $PM_{2,5}$ .

В заключение работы сделаны основные выводы по результатам исследования.

## 1 Загрязнение атмосферы

Загрязнение атмосферы Земли - принесение в атмосферный воздух новых, нехарактерных для него физических, химических и биологических веществ или изменение их естественной концентрации.

В последние десятилетия происходит интенсивное насыщение атмосферы газообразными и аэрозольными примесями от промышленных источников и автотранспорта.

Загрязняющими атмосферу примесями являются газы, пары, твердые частицы и радиоактивные вещества, которые ухудшают условия существования организмов и оказывают неблагоприятное действие на окружающую среду. Под загрязнением атмосферы обычно понимают изменение состава атмосферы в результате поступления в нее примесей, которые могут быть как антропогенного, так и естественного происхождения [1].

Загрязнение воздуха происходит, когда вредные или чрезмерные количества веществ, включая газы, частицы и биологические молекулы, вводятся в атмосферу Земли. Это может вызвать болезни, аллергии, а также смерть людей; также это может нанести вред другим живым организмам, таким как животные и пищевые культуры, и может повредить природную или антропогенную среду. Как человеческая активность, так и естественные процессы могут одновременно вызывать загрязнение воздуха.

Загрязнение воздуха внутри помещений и плохое качество воздуха в городах перечислены в качестве двух наиболее опасных в мире проблем токсического загрязнения в отчете «Худшие загрязненные места» в журнале «Blacksmith Institute» за 2008 год. Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения 2014 года, загрязнение воздуха в 2012 году привело к гибели

около 7 миллионов человек во всем мире, приблизительная оценка, полученная от Международного энергетического агентства [2].

### 1.1 Классификация источников загрязнения

Существуют различные местоположения, действия или факторы, которые отвечают за выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Эти источники можно разделить на две основные категории.

#### *Антропогенные (искусственные) источники*

Они в основном связаны со сжиганием нескольких видов топлива.

- Стационарные источники включают дымовые трубы электростанций на ископаемом топливе, производственные мощности (заводы) и мусоросжигательные заводы, а также печи и другие виды нагревательных устройств для сжигания топлива. В развивающихся и бедных странах традиционное сжигание биомассы является основным источником загрязнителей воздуха; традиционная биомасса включает древесину, отходы сельскохозяйственных культур и навоз [3].
- Мобильные источники включают автомобили, морские суда и самолеты.
- Контролируемые методы сжигания в сельском хозяйстве и лесопользовании. Контролируемое или предписанное сжигание - это техника, иногда используемая в лесопользовании, сельском хозяйстве, восстановлении прерий или борьбе с выбросами парниковых газов. Огонь является естественной частью экологии лесов и пастбищ, а контролируемый огонь может быть инструментом для лесников. Контролируемое горение

стимулирует прорастание некоторых желательных лесных деревьев, тем самым возобновляя лес.

- Пары из краски, спреи для волос, лак, аэрозоли и другие растворители. Они являются существенными загрязнителями; согласно оценкам ученых, выбросы из этих источников составляют почти половину загрязнения от летучих органических соединений в районе Лос-Анджелеса в 2010 году [4].

- Отложение отходов на полигонах, которые производят метан. Метан легко воспламеняется и может образовывать взрывоопасные смеси с воздухом. Метан может вытеснять кислород в замкнутом пространстве. Асфиксия или удушье могут возникать, если концентрация кислорода снижается до менее 19,5% путем смещения.

- Военные ресурсы, такие как ядерное оружие, токсичные газы, бактериальные войны и ракеты.

- Удобренные сельскохозяйственные угодья могут быть основным источником оксидов азота [5,6].

#### *Естественные источники*

- Пыль из природных источников, обычно больших участков земли с небольшой растительностью или без нее.

- Метан, получаемый при переваривании пищи животными, например, крупного рогатого скота.

- Радон из радиоактивного распада в земной коре. Радон - бесцветный, без запаха, естественный, радиоактивный благородный газ, который образуется из-за распада радия. Он считается опасным для здоровья. Радон из природных источников может накапливаться в зданиях,

особенно в закрытых помещениях, таких как подвал, и это вторая по частоте причина рака легких после курения сигарет.

- Дым и окись углерода от лесных пожаров
- Растительность в некоторых регионах выделяет экологически значимые количества летучих органических соединений (ЛОС) в более теплые дни. ЛОС реагируют с первичными антропогенными загрязнителями - в частности,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и антропогенными органическими соединениями углерода [5]. Тополь, дуб и ива - некоторые примеры растительности, которые могут производить обильные ЛОС. Производство ЛОС у этих видов приводит к тому, что уровни озона в этих районах в восемь раз превышено, чем у видов деревьев с низким воздействием [7].
- Вулканическая активность, которая производит серу, хлор и зольные частицы.

## 1.2 Основные загрязняющие вещества

Загрязнитель воздуха - это материал в воздухе, который может оказывать неблагоприятное воздействие на людей и экосистему. Таким веществом могут быть твердые частицы, капли жидкости или газы. Загрязнитель может быть природного происхождения или антропогенного. Загрязнители классифицируются как первичные или вторичные.

Первичные загрязняющие вещества обычно получают из процесса, такого как зола из извержения вулкана. Другие примеры включают газообразный монооксид углерода из выхлопных газов автотранспортных средств или диоксид серы, выпускаемый на заводах. Вторичные загрязнители не выделяются напрямую. Скорее, они

образуются в воздухе, когда первичные загрязнители реагируют или взаимодействуют. Озон на уровне земли является ярким примером вторичного загрязнителя. Некоторые загрязняющие вещества могут быть как первичными, так и вторичными: они оба выбрасываются непосредственно и образуются из других первичных загрязнителей.

Вещества, выделяемые в атмосферу деятельностью человека, включают:

- Двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ). Из-за своей роли в качестве парникового газа он был описан как «ведущий загрязнитель» и «наихудший загрязнитель климата» [8]. Углекислый газ является естественным компонентом атмосферы, необходимый для жизни растений и также он выделяется дыхательной системой человека.  $\text{CO}_2$  в настоящее время составляет около 410 частей на миллион (ppm) земной атмосферы по сравнению с примерно 280 ppm в доиндустриальные времена, и миллиарды метрических тонн  $\text{CO}_2$  ежегодно выделяются путем сжигания ископаемого топлива. Увеличение  $\text{CO}_2$  в атмосфере Земли только ускоряется [9].

- Оксиды серы ( $\text{SO}_x$ ) - особенно диоксид серы, химическое соединение с формулой  $\text{SO}_2$ .  $\text{SO}_2$  производится вулканами и в различных промышленных процессах. Уголь и нефть часто содержат соединения серы, и их сжигание образует диоксид серы. Дальнейшее окисление  $\text{SO}_2$ , обычно в присутствии катализатора, такого как  $\text{NO}_2$ , образует  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и, следовательно, кислотные дожди [10]. Это одна из причин беспокойства по поводу воздействия на окружающую среду использования этих видов топлива как источников энергии.

- Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) - оксиды азота, в частности, диоксид азота, выделяются при высокой температуре горения, а также во время гроз путем электрического разряда. Их можно рассматривать как коричневый купол дымки над городами. Диоксид азота представляет собой химическое соединение с формулой  $\text{NO}_2$ . Это один из нескольких оксидов

азота. Один из самых известных загрязнителей воздуха, этот красновато-коричневый токсичный газ имеет характерный острый, уксусный запах.

- Окись углерода (СО) - СО представляет собой бесцветный, без запаха, токсичный, но не раздражающий газ. Это продукт сжигания топлива, такого как природный газ, уголь или древесина. Автомобильные выхлопы вносят вклад в подавляющую часть угарного газа, попадаемого в нашу атмосферу. Он создает в воздухе образование типа смога, которое связано со многими заболеваниями легких и нарушениями окружающей среды. В 2013 году более половины угарного газа, выбрасываемого в нашу атмосферу, происходило от движения транспорта, и сжигание одного галлона газа часто выделяло более 20 фунтов окиси углерода в воздух [10].

- Летучие органические соединения (ЛОС) - ЛОС являются хорошо известным загрязнителем наружного воздуха. Они классифицируются как метан ( $\text{CH}_4$ ) или неметановый (НМЛОС). Метан - чрезвычайно эффективный парниковый газ, который способствует усилению глобального потепления. Другие углеводородные ЛОС также являются значительными парниковыми газами из-за их роли в создании озона и продления срока службы метана в атмосфере. Этот эффект зависит от местного качества воздуха. Ароматические НМЛОС, бензол, толуол и ксилол, являются канцерогенами и могут приводить к лейкемии с длительным воздействием. 1,3-бутадиен - еще одно опасное соединение, часто связанное с промышленным использованием.

- Частицами, альтернативно называемыми твердыми частицами (ТЧ), атмосферными частицами или мелкодисперсными частицами, являются крошечные частицы твердого вещества или жидкости, взвешенными в газе. Напротив, аэрозоль относится к комбинированным частицам и газу. Некоторые частицы встречаются естественным образом, исходя из вулканов, пыльных бурь, лесных и пастбищных пожаров, живой растительности. Деятельность человека, такая как сжигание ископаемого

топлива в транспортных средствах, электростанциях и различных промышленных процессах, также приводит к образованию значительного количества аэрозолей. Усредненные во всем мире антропогенные аэрозоли, созданные человеком, в настоящее время составляют примерно 10 процентов нашей атмосферы. Увеличение уровня мелких частиц в воздухе связано с опасностями для здоровья, такими как сердечные заболевания, измененной функции легких и рака легких. Частицы связаны с респираторными инфекциями и могут быть особенно вредны для тех, кто уже страдает от таких состояний, как астма [11].

- Стойкие свободные радикалы, связанные с воздушными мелкодисперсными частицами, связаны с сердечно-легочной болезнью [11].

- Токсичные металлы, такие как свинец и ртуть, особенно их соединения.

- Хлорфторуглероды (ХФУ) - вредные для озонового слоя; выделяемые из продуктов, в настоящее время запрещены к использованию. Это газы, которые выделяются из кондиционеров, холодильников, аэрозолей и т. д. При выпуске в воздух ХФУ поднимаются в стратосферу. Здесь они контактируют с другими газами и повреждают озоновый слой. Это позволяет вредным ультрафиолетовым лучам достигать поверхности земли. Это может привести к раку кожи, заболеваниям глаз и может нанести ущерб растениям [12].

- Аммиак ( $\text{NH}_3$ ) - представляет собой соединение формулы  $\text{NH}_3$ . Обычно он встречается как газ с характерным острым запахом. Аммиак вносит существенный вклад в пищевые потребности наземных организмов, выступая в качестве предшественника пищевых продуктов и удобрений. Аммиак, прямо или косвенно, также является строительным блоком для синтеза многих фармацевтических препаратов. Хотя в широком использовании аммиак является как едким, так и опасным. В атмосфере аммиак реагирует с оксидами азота и серы с образованием вторичных частиц [13].

- Запахи - например, от мусора, сточных вод и промышленных процессов

- Радиоактивные загрязнители - продуцируемые ядерными взрывами, военными взрывчатыми веществами, а также естественные процессы, такие как радиоактивный распад от радона.

Вторичные загрязнители включают:

- Частицы, образующиеся из газообразных первичных загрязнителей и соединений в фотохимическом смоге. Смог - это вид загрязнения воздуха. Классический смог - это большие количества сжигания угля в зоне, вызванной смесью дыма и двуокиси серы. Современный смог обычно не из угля, а из автомобильных и промышленных выбросов, которые воздействуют в атмосфере ультрафиолетовым светом от солнца, чтобы образовать вторичные загрязнители, которые также сочетаются с первичными выбросами с образованием фотохимического смога.

- Озон озонового слоя ( $O_3$ ), образованный из  $NO_x$  и ЛОС. Озон ( $O_3$ ) является ключевым компонентом тропосферы. Это также важная составляющая некоторых областей стратосферы, широко известная как озоновый слой. Фотохимические и химические реакции, связанные с этим, приводят ко многим химическим процессам, которые происходят в атмосфере днем и ночью. При аномально высоких концентрациях, вызванных деятельностью человека (в основном сжиганием ископаемого топлива), это загрязнитель и составляющая смога.

- Пероксиацетилнитрат ( $C_2H_3NO_5$ ) - аналогично образуется из  $NO_x$  и ЛОС.

Незначительные загрязнители воздуха включают:

- Большое количество мелких опасных загрязнителей воздуха. Некоторые из них регулируются в США в соответствии с «Законом о чистом воздухе» и в Европе.

- Различные стойкие органические загрязнители, которые могут присоединяться к частицам.

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) представляют собой органические соединения, которые устойчивы к деградации окружающей среды с помощью химических, биологических и фотолитических процессов. Из-за этого они, как было обнаружено, сохраняются в окружающей среде, способны переносить на большие расстояния, биоаккумулировать в тканях человека и животных, биоагенизировать в пищевых цепях и оказывать потенциально значительное воздействие на здоровье человека и окружающую среду [13].

### 1.3 Нормативы качества атмосферного воздуха

Особенностью нормирования качества атмосферного воздуха является зависимость воздействия загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе, на здоровье населения не только от значения их концентраций, но и от продолжительности временного интервала, в течение которого человек дышит данным воздухом. Поэтому в Российской Федерации, как и во всем мире, для загрязняющих веществ, как правило, установлены 2 норматива:

- норматив, рассчитанный на короткий период воздействия загрязняющих веществ. Данный норматив называется «предельно допустимые максимально-разовые концентрации»;

- норматив, рассчитанный на более продолжительный период воздействия (8 часов, сутки, по некоторым веществам год). В Российской Федерации данный норматив устанавливается для 24 часов и называется «предельно допустимые среднесуточные концентрации».

ПДК – предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущее поколение, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно - бытовых условий жизни. Величины ПДК приведены в мг/м<sup>3</sup> (ГН 2.1.6.695-98).

ПДК<sub>МР</sub> – предельно допустимая максимальная разовая концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация при вдыхании в течение 20–30 мин не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека.

ПДК<sub>СС</sub> – предельно допустимая среднесуточная концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании.

В табл. 1 представлены предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в РФ.

Таблица 1.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в РФ

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в РФ				
N	Вещество	Класс опасности	ПДК <sub>МР</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>СС</sub> , мг/м <sup>3</sup>
1.	Оксид углерода	4	5	3
2.	Диоксид азота	2	0,2	0,04
3.	Оксид азота	3	0,4	0,06
4.	Диоксид серы	3	0,5	0,05
5.	Аммиак	4	0,2	0,04
6.	Озон	1	0,16	0,03
7.	Взвешенные вещества	3	0,5	0,15

Класс опасности – показатель, характеризующий степень опасности для человека веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Вещества делятся на следующие классы опасности [14]:

- 1 класс – чрезвычайно опасные;
- 2 класс – высоко опасные;
- 3 класс – опасные;
- 4 класс – умеренно опасные.

#### 1.4 Загрязнение атмосферы РМ<sub>2,5</sub>

##### 1.4.1 РМ<sub>2,5</sub> в атмосфере

«Руководящие принципы ВОЗ по качеству воздуха» 2005 г. [15] являются глобальным руководством в отношении пороговых значений и максимально допустимых уровней основных загрязнителей воздуха, представляющих риск

для здоровья. Применяемые во всем мире, они основаны на экспертной оценке имеющихся научных данных в отношении: твердых частиц (ТЧ, англоязычный термин – Particulate Matter, PM); озона ( $O_3$ ); двуокиси азота ( $NO_2$ ) и двуокиси серы ( $SO_2$ ). Кратко охарактеризуем основные вещества и факторы, ухудшающие качество воздуха. Наиболее разрушительны для здоровья взвешенные частицы диаметром 10 микрон и менее ( $PM_{10}$ ), поскольку такие частицы проникают глубоко в легкие и осаждаются там. Они состоят из сложной смеси крупных и мелких твердых и жидких частиц как неорганических, так органических веществ, присутствующих во взвешенном состоянии в воздухе. Границей между двумя фракциями обычно служат частицы с диаметром в 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ) [16].

Твердые взвешенные частицы (ТВЧ) являются загрязнителем воздуха, состоящим из смеси взвешенных в воздухе частиц, которые могут быть как твердыми, так и жидкими, и представлять собой сложную смесь органических и неорганических веществ. Основными компонентами ТВЧ являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлористый натрий, углерод, минеральная пыль и вода. Их свойства определяются аэродинамическим диаметром, называемым размером частиц.

Частицы крупной фракции, называемые ТВЧ-10, имеют аэродинамический диаметр менее 10 мкм, более мелкие или тонкие частицы называются ТВЧ-2,5, имеют аэродинамический диаметр менее 2,5 мкм. От размера частиц зависит, как долго они сохраняются в атмосфере. В результате седиментации и преципитации ТВЧ-10 удаляются из атмосферы в течение нескольких часов после их выброса, ТВЧ-2,5 могут оставаться в ней на протяжении нескольких дней или даже недель. Таким образом, эти частицы могут переноситься на большие расстояния. Поэтому в связи с трансграничным переносом ТВЧ значительная доля концентрации этих частиц в той или иной стране может быть соотнесена с первичными их выбросами в других странах. Так, например, было подсчитано, что в среднем только 41% концентрации

ТВЧ-2,5 в Германии обусловлен выбросами из источников, находящихся в самой Германии. Причиной оставшихся 59% ТВЧ-2,5 в этой стране является трансграничное загрязнение воздуха. В частности, 14 % из этих частиц были впервые выброшены в атмосферу во Франции. С другой стороны, выбросы ТВЧ-2,5, имевшие место в Германии, вносят вклад в данный вид загрязнения в других странах. Например, на них приходится 21 % общей величины этого вида загрязнения в Дании и 20 % — в Чешской Республике. Европейское региональное бюро ВОЗ обнародовало результаты недавно проведенной оценки того ущерба, который связан с воздействием загрязнения воздуха на здоровье людей. При вдыхании крупные фракции (ТВЧ-10) могут попадать в верхнюю часть дыхательных путей и легких. Мелкая фракция (ТВЧ-2,5) представляет большую опасность, так как эти частицы могут попадать в более низкие части легких, достигая альвеол. В проведенных на сегодняшний день исследованиях не удалось определить пороговый уровень загрязнения воздуха, ниже которого ТВЧ не оказывают воздействия на здоровье, однако, после тщательного изучения новейших научных данных рабочая группа ВОЗ пришла к выводу, что если пороговая концентрация ТВЧ существует, то она располагается в нижней части диапазона наблюдаемых в настоящее время концентраций ТВЧ на территории Европы.

Антропогенные источники  $ТЧ_{2,5}$  являются более важными, чем природные источники, которые делают лишь небольшой вклад в общую концентрацию. В городах Великобритании выбросы  $ТЧ_{2,5}$  от дорожных транспортных средств являются важным источником. Следовательно, уровни  $ТЧ_{2,5}$  (и подверженности населения), близкие к обочинам дорог, часто намного выше, чем уровни в фоновых местах. В некоторых местах также могут иметь значение промышленные выбросы, а также использование бездымного топлива для отопления и других внутренних источников дыма, таких как костры. В некоторых метеорологических условиях воздух, загрязненный  $ТЧ_{2,5}$  от континента может распространяться по соседним континентам и островам -

состояние, известное как дальний перенос загрязнения воздуха. Транспортировка на большие расстояния вместе с загрязнением из местных источников может привести к кратковременным эпизодам высокого загрязнения, которые могут повлиять на здоровье людей, чувствительных к высокому загрязнению.

Помимо этих прямых (т.е. первичных) выбросов частиц,  $ТЧ_{2,5}$  также может быть образован из химических реакций газов, таких как диоксид серы ( $SO_2$ ) и оксиды азота ( $NO_x$ : оксид азота,  $NO$  плюс диоксид азота,  $NO_2$ ); они называются вторичными частицами. Поэтому меры по сокращению выбросов этих газов-предшественников часто полезны для снижения общих уровней  $ТЧ_{2,5}$ .

Распределение загрязнения воздуха: за исключением озона, концентрации загрязнителей воздуха, как правило, выше в городах, чем в сельских районах. Для  $ТЧ_{2,5}$  существует градиент концентрации по всей стране с более высокими концентрациями, обнаруженными на юго-востоке, чем в других районах. В городах качество воздуха (особенно в отношении концентраций  $PM_{10}$  и  $NO_2$ ), как правило, хуже, чем оживленные дороги, где часто живут более бедные общины [17].

#### 1.4.2 Воздействие $PM_{2,5}$ на человека

##### Размер, форма и растворимость

Размер частицы является основным детерминантом того, где в дыхательных путях частица остановится при вдыхании. Большие частицы, как правило, фильтруются в носу и горле через реснички и слизь, но мелкие частицы размером менее 10 микрон могут оседать в бронхах и легких и

вызывать проблемы со здоровьем. Размер 10 микрон не представляет собой строгую границу между вдыхаемыми и невосстанавливаемыми частицами, но был согласован для мониторинга твердых частиц большинством регулирующих органов. Из-за их небольшого размера частицы размером порядка 10 микрон или меньше ( $PM_{10}$ ) могут проникать в самую глубокую часть легких, таких как бронхиолы или альвеолы, когда астматики подвергаются подобным условиям, он может вызвать бронхоспазм [10].

Аналогично, так называемые мелкие ТЧ (часто называемый  $ТЧ_{2,5}$ ), как правило, проникают в области газообмена легкого (альвеолы), а очень маленькие частицы (<100 нанометров) могут проходить через легкие, чтобы воздействовать на другие органы. Проникновение частиц не полностью зависит от их размера; форма и химический состав также играют определенную роль. Чтобы избежать этого осложнения, простая номенклатура используется для обозначения различных степеней относительного проникновения частицы  $PM$  в сердечно - сосудистую систему. Ингаляционные частицы проникают не дальше, чем бронхи, поскольку они отфильтровываются ресничками. Торакальные частицы могут проникать прямо в терминальные бронхиолы, тогда как ТЧ, которые могут проникать в альвеолы, область газообмена и, следовательно, систему кровообращения, называются вдыхаемыми частицами. По аналогии, ингаляционная пылевая фракция представляет собой долю пыли, поступающей в нос и рот, которые могут быть осаждены в любом месте дыхательных путей. Грудная фракция представляет собой фракцию, которая поступает в грудную клетку и осажается в дыхательных путях легких. Вдыхаемая фракция представляет собой то, что осажается в областях газообмена (альвеолы).

Наименьшие частицы, менее 100 нанометров (наночастицы), могут быть еще более разрушительными для сердечнососудистой системы. Наночастицы могут проходить через клеточные мембраны и мигрировать в другие органы, включая мозг. Частицы, испускаемые современными дизельными

двигателями (обычно называемыми Diesel Particulate Matter , или DPM), обычно находятся в диапазоне размеров 100 нанометров (0,1 микрометра). Эти частицы сажи также несут канцерогены, такие как бензопирены, адсорбированные на их поверхности. Масса твердых частиц не является надлежащей мерой опасности для здоровья, поскольку одна частица диаметром 10 мкм имеет примерно такую же массу, что и миллион частиц диаметром 100 нм, но гораздо менее опасна, поскольку она вряд ли попадает в альвеолы. Поэтому законодательные ограничения на выбросы двигателей на основе массы не являются защитными. В некоторых странах существуют предложения по новым правилам, с предложениями ограничить площадь поверхности частиц или количество частиц (числовое количество).

Место и степень абсорбции вдыхаемых газов и паров определяются их растворимостью в воде. Абсорбция также зависит от скорости потока воздуха и парциального давления газов во вдыхаемом воздухе. Судьба конкретного загрязняющего вещества зависит от формы, в которой он существует (аэрозоль или частицы). Вдыхание также зависит от скорости дыхания субъекта.

Другая сложность, не полностью документированная, заключается в том, как форма ПМ может влиять на здоровье, за исключением иглообразной формы асбеста, которая может лежать в легких. Геометрически угловые формы имеют большую площадь поверхности, чем круглые формы, что, в свою очередь, влияет на связывающую способность частицы на другие, возможно, более опасные вещества.

### Проблемы со здоровьем

Последствия вдыхания твердых частиц, которые широко изучались у людей и животных, включают астму, рак легких, респираторные заболевания, сердечно-сосудистые заболевания, преждевременное родоразрешение, врожденные дефекты, низкий вес при рождении и преждевременную смерть.

Ингаляция ТЧ<sub>2,5</sub> - ТЧ<sub>10</sub> связана с повышенным риском неблагоприятных исходов беременности, таких как низкий вес при рождении [18]. РМ<sub>2,5</sub> во время беременности также связано с высоким кровяным давлением у детей. Воздействие ТЧ<sub>2,5</sub> связано с большим уменьшением веса при рождении, чем воздействие ТЧ<sub>10</sub>. Воздействие ПМ может вызвать воспаление, окислительный стресс, нарушение эндокринной системы и нарушение доступа к переносу кислорода к плаценте, все из которых являются механизмами повышения риска низкого веса при рождении [18].

Общие эпидемиологические и токсикологические данные свидетельствуют о том, что существует причинно-следственная связь между долгосрочными воздействиями ТЧ<sub>2,5</sub> и результатами развития (т.е. низким весом при рождении). Однако исследования, изучающие значимость воздействия на каждом триместре, оказались неубедительными, а результаты международных исследований были несогласованными при составлении ассоциаций воздействия частиц и низкого веса при рождении. Поскольку перинатальные исходы были связаны с пожизненным здоровьем и воздействие твердых частиц широко распространено, этот вопрос имеет решающее значение для общественного здравоохранения, и дополнительные исследования будут иметь важное значение для информирования государственной политики по этому вопросу [18–21].

Увеличение уровня мелких частиц в воздухе в результате антропогенного загрязнения воздуха в виде частиц «постоянно и независимо связано с наиболее серьезными последствиями, включая рак легких и другие сердечнолегочные заболевания». Большое количество смертей и другие проблемы со здоровьем, связанные с загрязнением в виде частиц, были впервые продемонстрированы в начале 1970-х годов и неоднократно воспроизводились с тех пор. По оценкам, загрязнение микроорганизмами составляет 22 000-52 000 смертей в год в Соединенных

Штатах (с 2000 года)(67), что способствовало ~ 370 000 преждевременных смертей в Европе в 2005 году и 3,2 миллиона смертей в мире в 2010 году.

В исследовании 2002 года было показано, что ТЧ<sub>2,5</sub> приводит к высоким уровням образования налета в артериях, вызывая воспаление сосудов и атеросклероз - упрочнение артерий, которое снижает эластичность, что может привести к сердечным приступам и другим сердечно-сосудистым проблемам. Мета-анализ 2014 года сообщил, что долгосрочное воздействие твердых частиц связано с коронарными событиями. Исследование включало 11 когорт, участвующих в Европейском исследовании когорт по воздействию загрязнения воздуха (ESCAPE) с участием 100 166 участников, в среднем 11,5 лет. Увеличение предполагаемого годового воздействия ТЧ<sub>2,5</sub> всего лишь 5 мкг/м<sup>3</sup> было связано с риском сердечных приступов на 13%. В 2017 году исследование показало, что ПМ не только поражает клетки и ткани человека, но также воздействует на бактерии, которые вызывают заболевания у людей. Это исследование показало, что образование биопленки, устойчивость к антибиотикам и колонизация как *Staphylococcus aureus*, так и *Streptococcus pneumoniae* были изменены воздействием черного углерода [20, 22].

В 2005 году Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) оценила, что «... тонкодисперсное загрязнение воздуха (PM) (2,5)) вызывает около 3% смертности от сердечно-легочных заболеваний, около 5% смертности от рака трахеи, бронха и легких и около 1% смертности от острых респираторных инфекций у детей в возрасте до 5 лет во всем мире ». Исследование, проведенное в 2011 году, показало, что выхлопная труба является самой серьезной предотвратимой причиной сердечного приступа у широкой общественности, причиной которой является 7,4% всех атак [19].

Крупнейшее исследование США по острым последствиям воздействия крупнозернистых частиц на здоровье от 2,5 до 10 микрометров в диаметре было опубликовано в 2008 году и нашло связь с госпитализацией по поводу сердечнососудистых заболеваний, но не было доказательств ассоциации с

числом госпитализаций при респираторных заболеваниях [23]. После учета уровней мелких частиц (ТЧ 2,5 и менее) связь с крупными частицами оставалась, но больше не была статистически значимой, а это означает, что эффект обусловлен подразделением мелких частиц.

#### Исследования твердых частиц

В Бангкоке в Таиланде с 2008 года указывают на 1,9% повышенный риск смерти от сердечнососудистых заболеваний и 1,0% риск заболевания на каждые 10 микрограммов на кубический метр. Уровни в среднем составляли 65 в 1996 году, 68 в 2002 году и 52 в 2004 году. Уровни снижения могут быть связаны с конверсиями дизельного топлива в сжигание природного газа, а также с улучшенными правилами.

Правительство Монголии зарегистрировало 45%-ное увеличение частоты респираторных заболеваний за последние пять лет (сообщило в сентябре 2014 года). Бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких и интерстициальная пневмония были наиболее распространенными заболеваниями, которые лечились районными больницами. Уровни преждевременной смерти, хронического бронхита и сердечнососудистых заболеваний растут быстрыми темпами [23].

Исследование в 2000 году в США было проведено исследование того, как мелкие твердые частицы могут быть более вредными, чем твердые частицы. Исследование было основано на шести разных городах. Они обнаружили, что смертельные исходы и посещения больниц, которые были вызваны частицами в воздухе, в основном вызваны мелкодисперсными частицами.

PM<sub>2,5</sub> влияет даже на растения: твердые частицы могут забивать устьичные отверстия растений и мешать функциям фотосинтеза. Таким образом, высокие концентрации твердых частиц в атмосфере могут приводить к замедлению роста или смертности у некоторых видов растений.

Считается, что нет безопасного порога, ниже которого не ожидается никаких неблагоприятных эффектов. Полагают, что наибольшее влияние загрязнения воздуха на частицы на здоровье населения связано с долгосрочным воздействием ТЧ<sub>2,5</sub>, что увеличивает возрастной риск смертности, особенно от сердечнососудистых причин. Было предложено несколько правдоподобных механизмов такого влияния на смертность, хотя пока неясно, что является наиболее важным. Воздействие высоких концентраций ТЧ (например, во время кратковременных эпизодов загрязнения) может также усугубить состояние легких и сердца, существенно влияя на качество жизни, а также увеличить смертность и госпитализацию. Известно, что дети, пожилые люди и люди с предрасположенными респираторными и сердечнососудистыми заболеваниями более восприимчивы к последствиям загрязнения воздуха воздухом. Потенциальные механизмы, с помощью которых загрязнение воздуха может вызвать сердечнососудистые эффекты, описаны в докладе Комитета по медицинским последствиям загрязнения воздуха (КОМЭАП) «Сердечнососудистые заболевания и загрязнение воздуха» (2006 г.) [15].

## 2 Анализаторы пыли

### 2.1 Общие сведения

Пылемер - прибор, предназначенный для измерения массовой концентрации пыли в дымовых газах топливосжигающих установок, в рабочей и жилой зонах, в атмосферном воздухе. Для каждой задачи необходимо использовать определенный вид прибора.

Пылемеры используются для контроля атмосферного воздуха (воздуха жилой и санитарно-защитной зоны), воздуха рабочей зоны, дымовых газов.

Для атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны установлены нормативы в виде предельно допустимых концентраций. Измерения проводятся в единицах массовой концентрации (в  $\text{мг/м}^3$ ). Фракции взвешенных частиц различных размеров контролируются отдельно – 10 мкм и 2,5 мкм ( $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2,5}$  соответственно). Также сохраняется в силе прежний норматив по содержанию общей пыли.

В последнее время большое внимание уделяется проблеме контроля содержания нано аэрозолей в воздухе. Выработаны нормативы для контроля воздуха рабочей зоны производств, связанных с наноматериалами. Также в Европе приняты нормативы по количеству наночастиц, выбрасываемых автомобилями с дизельными двигателями на каждый 10 км пробега. Наночастицы контролируются в единицах счетной концентрации (количестве частиц на единицу объема), что связано с их ничтожной массой по сравнению с обычными частицами, но большой площадью поверхности.

Также пылемеры различаются по принципу действия. Принцип действия является важнейшим параметром для определения размеров наночастиц. При этом определяемый размер не является геометрическим диаметром частицы, а есть лишь определенная условная величина, зависящая от геометрического размера. Различают аэродинамический диаметр частиц, оптический диаметр, диаметр по методу электрической подвижности. В зависимости от задачи и области применения нормировано использование того или иного метода определения размера [24].

## 2.2 Принцип действия пылемеров

### Методы измерения пыли

На сегодняшний день существует несколько методов измерения пыли: оптический (фотометрический), гравиметрический, пьезобалансный, трибоэлектрический, радиоизотопный. Рассмотрим каждый из них:

Оптический метод измерения пыли (фотометрический и нефелометрический метод).

Оптический принцип действия заключается в измерении ослабления интенсивности светового излучения при его прохождении через запыленную среду. Концентрация частиц пыли пропорциональна значению оптической плотности, которая определяется автоматически и представляет собой отрицательный десятичный логарифм коэффициента пропускания.

Недостатки фотометрического абсорбционного метода:

- низкая чувствительность при измерении малых концентраций аэрозольных частиц (менее  $30 \text{ мг/м}^3$ ), а также невозможность контроля высоких концентраций (более  $10 \dots 12 \text{ г/м}^3$ ) вследствие практически полного поглощения светового излучения;

- высокое влияние физико-химических свойств аэрозолей на результат измерения (размерность, состав и цвет аэрозоля). Для уменьшения погрешности измерений необходимо делать калибровку прибора по конкретному типу аэрозоля или вводить поправочного коэффициента;

- необходимость периодической очистки оптических элементов (оптика, отражатели и т. д.).

При измерении малых концентраций аэрозольных частиц гораздо более эффективным оказывается нефелометрический метод, основанный на регистрации прямого, бокового и обратного рассеянного светового излучения. Такой метод реализован в приборах SICK, АЭРОКОН (ООО НПО «ЭКО-ИНТЕХ»), Cassela CEL 712, Kanomax 3443 и в моделях TM-data, TM-digital, TM-F и TM-M (HUND).

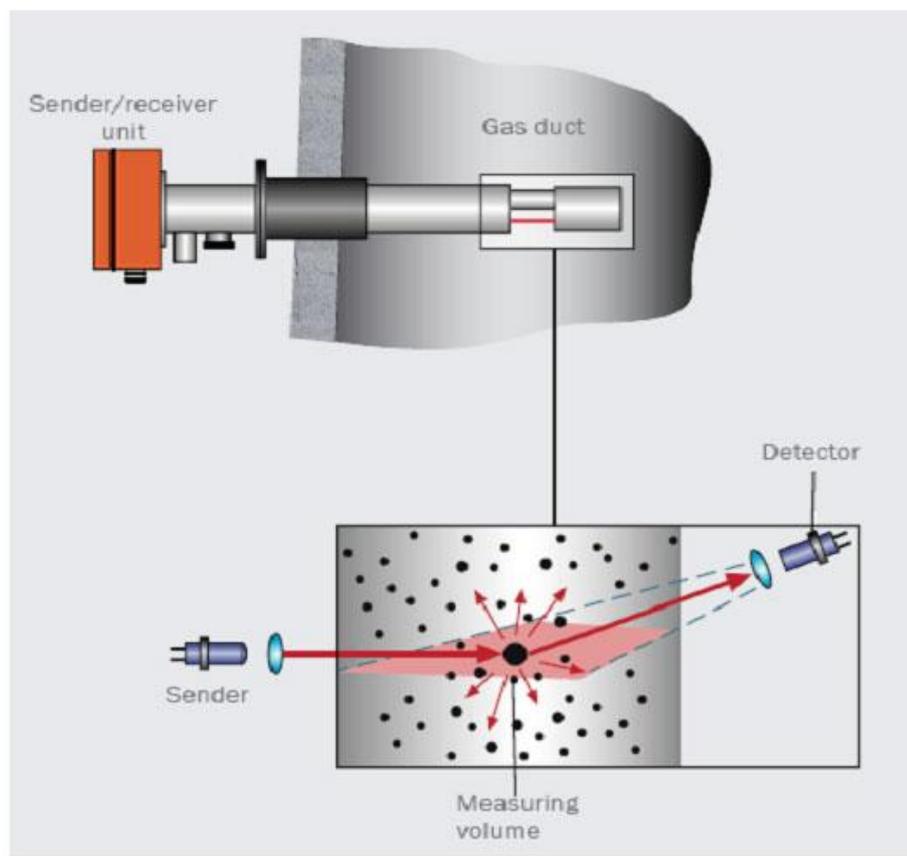


Рис.1 Схема нефелометрического метода

#### Недостаток нефелометрического метода

- недостатком нефелометрического метода прямого рассеяния при контроле весовой концентрации промышленных пылевых аэрозолей с широким дисперсным составом является резкая потеря чувствительности при измерении концентраций частиц диаметром более 8...10 мкм, что существенно снижает и даже исключает возможность их применения во многих отраслях. Поэтому эти

приборы применяют в основном там, где выбрасываются мелкодисперсные аэрозольные частицы и на выходе рукавных фильтров газоочистных установок для контроля их эффективности.

Гравиметрический метод измерения аэрозоля (ГОСТ 17.2.4.05-83) заключается в выделении частиц из пылегазового потока с последующим осаждением их на аналитическом фильтре и осушением. По величине привеса на фильтре с учетом объема пробы определяется массовая концентрация аэрозоля. Концентрацию пыли в этом случае рассчитывают по формуле.

Достоинства гравиметрического метода:

+ достоинствами данного метода является точность измерения, так как происходит прямое измерение аэрозоля и нет влияния физико-химических свойств на результаты.

Недостатки гравиметрического метода:

- трудоёмкость метода;
- длительность процесса;
- использование дополнительного оборудования.

На смену трудоёмкому гравиметрическому методу пришел новый метод пьезобалансного взвешивания осажденной пробы пыли. Данный метод был впервые реализован в пылемерах компании KANOMAX в моделях 3521 и 3522 (различия моделей 3521 и 3522 в том, что в серии 3521 в комплект поставки входит импактор РМ 2.5 и 10, а в 3522 - РМ 2.5, 4 и 10). Позже этот метод измерений начали осваивать и российские компании, такие как ООО «НТМ-ЗАЩИТА», и реализовали его в приборе Атмас. В комплект поставки так же как в KANOMAX 3521 входят два импактора с размерностью РМ 2.5 и 10 мкм.

Пьезобалансный метод измерения работы прибора заключается в периодическом отборе пробы аэрозольных частиц через импактор, который из общей массы частиц отделяет респираторные (до 10 мкм) фракции, в последующем их заряде на коронирующем электроде и затем осаждении на поверхности осадительного электрода. В качестве такого электрода используется пьезоэлемент (кварц). Отбор же пробы осуществляется внутренним насосом прибора. Кварцевый пьезоэлемент включен в цепь генератора электрических колебаний. При осаждении пыли на его поверхности изменяется вес пьезоэлемента и как следствие – частота его колебаний. Изменение частоты линейно зависит от массы осажденной на элемент пыли и является величиной измеряемой весовой концентрации аэрозоля.

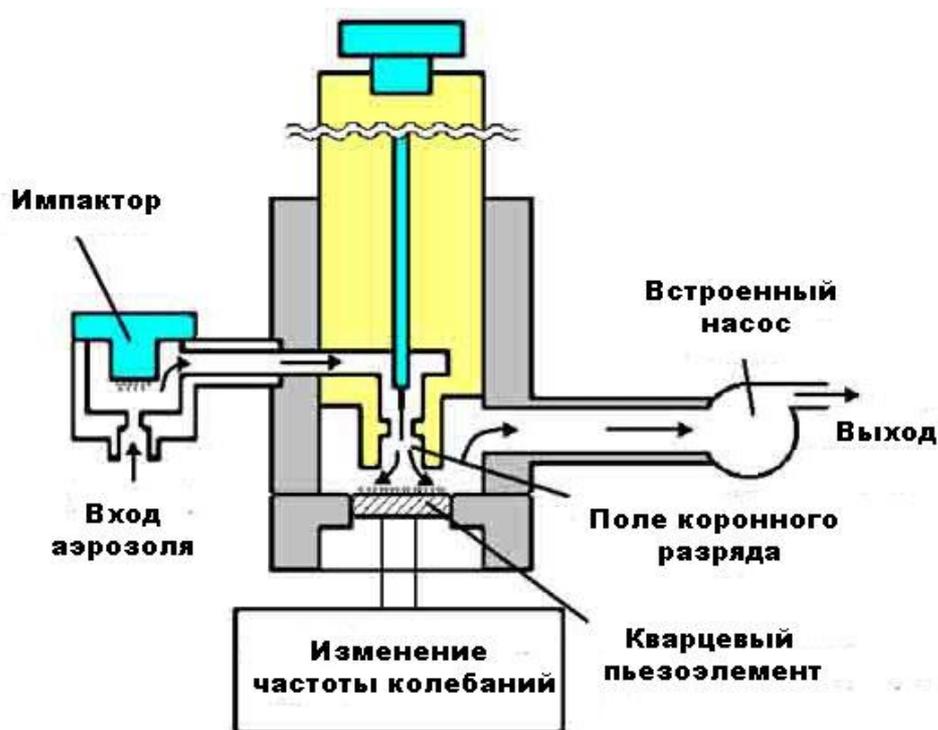


Рис.2 Пьезобалансный метод

Достоинства пьезобалансного метода измерения:

- быстрое выполнение измерений, нет необходимости использовать большой парк дополнительного оборудования;

- достоверность показаний прибора, физико-химические свойства не оказывают влияния на измерения;

- малые габариты измерительного инструмента (прибор, как правило, поставляется в переносном кейсе, общий вес прибора в кейсе не более 4 кг).

Недостатки пьезобалансного метода измерения:

- измерение производится только в рабочей и жилой зонах;

- дороговизна оборудования;

- необходима бережная эксплуатация (чувствительный элемент прибора очень хрупкий, не допускаются падения, а так же профилактика прибора должна осуществляться строго по инструкции).

Трибоэлектрический метод измерения основан на измерении индуцированного заряда на изолированном измерительном электроде, располагаемом в металлическом газоходе, по которому движется пылегазовый поток. Индуцированный заряд возникает при взаимодействии движущихся аэрозольных частиц с поверхностью электрода, при этом его величина пропорциональна массовой концентрации аэрозоля в широком диапазоне измерений.

Эти приборы называют трибоэлектрическими. Их можно разделить на приборы, измеряющие постоянную составляющую трибоэлектрического сигнала, и на приборы, измеряющие переменную составляющую трибоэлектрического сигнала (электродинамический наведенный заряд). К первым относятся приборы фирм Auburn, FilterSense, Babbit и Bindicator (США), Dr. Foedich, ко вторым – электродинамические приборы серии S300 (S301/S303/S304/S305), прибор контроля рукавных фильтров Snifter фирмы Sintrol Oy (Финляндия), а также модели приборов DT, DS и DA фирмы PCME (Англия). Приборы фирмы Sintrol Oy могут выпускаться во взрывобезопасном

исполнении, а также при использовании возле мощных электрических агрегатов с камерой фарадея, чтобы гасить помехи, создаваемые этими установками.

#### Достоинства трибоэлектрического метода измерения

+ вибрация в месте установки не оказывает влияния на показания

+ не имеет узлов, которые могут загрязниться, что позволяет применять приборы длительное время в жестких условиях, а так как узлы, обрабатывающие сигналы, находятся за пределами жестких условий, делает оборудование надежным

+ в приборе нет узлов, которые вырабатывают свой ресурс с истечением времени. Приборы долговечные, за счет чего становятся простыми и дешевыми в обслуживании.

Радиоизотопный метод измерения концентрации пыли основан на свойстве радиоактивного излучения (обычно  $\beta$ -излучения) поглощаться частицами пыли. Массу уловленной пыли определяют по степени ослабления радиоактивного излучения при прохождении его через слой накопленной пыли.

Результаты измерения концентрации пыли радиоизотопным методом зависят в некоторой степени от химического и дисперсного состава, что обусловлено особенностью взаимодействия радиоактивного излучения с веществом и нелинейностью зависимости степени поглощения от толщины слоя поглотителя.

## 2.3 Применение пылемеров

Как показывает практика, сферы применения пылемеров различные и они делятся на две группы: первая это аттестация рабочих мест, вторая это промышленные выбросы производств.

Для аттестации рабочих мест используют приборы с меньшим диапазоном измерения для получения более точных результатов. В данной сфере необходимо контролировать концентрацию пыли, так как большое количество пыли в рабочей зоне может негативно сказаться на здоровье сотрудников, работающих при таких условиях, и влечет за собой ряд дыхательных заболеваний.

В последнее время все чаще большие производства начали задумываться об отходящих газах, которые они производят. Помимо экологического мониторинга с помощью стационарных газоаналитических станций, начинают контролировать и пылевые выбросы.

Самым большим источником выбросов аэрозолей в атмосферу являются компании, использующие коксовые печи. Металлургические комбинаты, заводы по производству цемента и кирпича устанавливают электрофильтры, а для отслеживания загрязнения этих фильтров используют сигнализаторы запыленности Snifter производства фирмы Sintrol Oy. Данные сигнализаторы информируют оператора о необходимости очистки или о неисправности фильтров [25].

## 2.4 Автоматические станции контроля качества воздуха

Задача непрерывного контроля концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе стоит как перед государственными, региональными и муниципальными природоохранными предприятиями, так и перед промышленными компаниями, которым решением контролирующих органов вменено обязательство по контролю воздуха на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ).

Такой контроль должен дополняться системой сбора и передачи информации на контрольно-диспетчерский пульт и экстренного оповещения персонала при превышении значений предельно-допустимых концентраций (ПДК). Решением данной задачи являются станции контроля атмосферного воздуха [26].

Станции мониторинга загрязнения атмосферы – основное звено системы управления качеством воздуха, предоставляющее практическую информацию для принятия управленческих решений. Эффективность системы в целом зависит от уровня оснащения станций мониторинга, их аппаратного и программного обеспечения [27].

### 3 Исследование временных рядов концентрации $PM_{2,5}$

#### 3.1 Характеристика исследуемого района в г. Санкт-Петербург

Центральный район (рис.3) расположен в центральной исторической части Санкт-Петербурга. С севера и востока границей района является река Нева, южная граница проходит по Обводному каналу. Западная граница проходит от Дворцового моста, включает Дворцовую площадь, часть Адмиралтейского проспекта, всю Гороховую улицу, участок Загородного проспекта, Звенигородскую улицу и по ул. Константина Заслонова выходит на Набережную Обводного канала.



Рис.3 Центральный район г. Санкт-Петербург

Центральный район является восточной частью исторического центра города, здесь сосредоточены основные достопримечательности города, музеи, галереи, посольства и представительства разных стран и госструктур. Район

является туристическим центром города, на территории располагается большое количество отелей и ресторанов. Большинство зданий здесь являются памятниками регионального значения, поэтому строительство промышленных зданий строго запрещено. В районе проживает 215 тысяч человек, что причисляет его к самым густонаселённым районам в города.

Район имеет самую развитую социальную, торговую и транспортную инфраструктуру, также здесь действует 11 станций метро.

Экологическая ситуация в исследуемом районе страдает из-за фактического отсутствия зелёных насаждений и транспортной перегрузки в районе, абсолютное большинство домов лишены скверов в задней части двора в отличие от более новых построек на окраинах города. Водные каналы также достаточно загрязнены.

Наиболее загрязнен воздух над центральными магистралями района – Невским, Староневским, Лиговским и Литейным проспектами.

Свой вклад в экологическую обстановку Центрального района вносят промышленные предприятия: автобаза на Короленко, ТЭЦ на Синопской набережной и промзона вдоль набережной Обводного канала.

Частично спасают ситуацию зеленые насаждения (официальная статистика говорит, что «зелени» в районе – от 10 до 25 % территории). Крупные парки и скверы: Михайловский, Адмиралтейский и Таврический сады, Марсово поле, зелень вокруг Александро-Невской лавры, Летний сад, сад им. Чернышевского (он находится у Мытнинской улицы), парки вокруг Смольного, скверы на Казанской площади, площади Искусств, Манежной площади [26].

### 3.2 Анализ временных рядов концентрации $PM_{2,5}$

В ходе исследования был произведен анализ суточного, сезонного и недельного хода взвешенных частиц  $PM_{2,5}$ . Для этого были выбраны две станции экологического контроля качества воздуха в Центральном районе города Санкт-Петербург - №7 (Шпалерная,56), №12 (Пестеля,1). Данные для анализа концентрации  $PM_{2,5}$  в 2013 г. предоставлены Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечения экологической безопасности г. Санкт-Петербурга. При этом метеоданные были взяты в архиве погоды в интернете [28].

Таким образом, для определения суточного хода на станциях №7 и №12 были взяты два рабочих дня - самый теплый и самый холодный, то есть 21 февраля(-11°C) и 8 августа (+28 °C).

Для наглядности результаты представлены в виде графиков.

На рис.4 представлен суточный ход  $PM_{2,5}$  на станциях №7 и №12 в самый холодный день 21.02.2013(четверг).



Рис. 4 Суточный ход  $PM_{2,5}$  21.02.2013 на станциях №7 и №12

На рис.5 представлен суточный ход  $PM_{2,5}$  на станциях №7 и №12 в самый теплый день 8.08.2013(четверг).

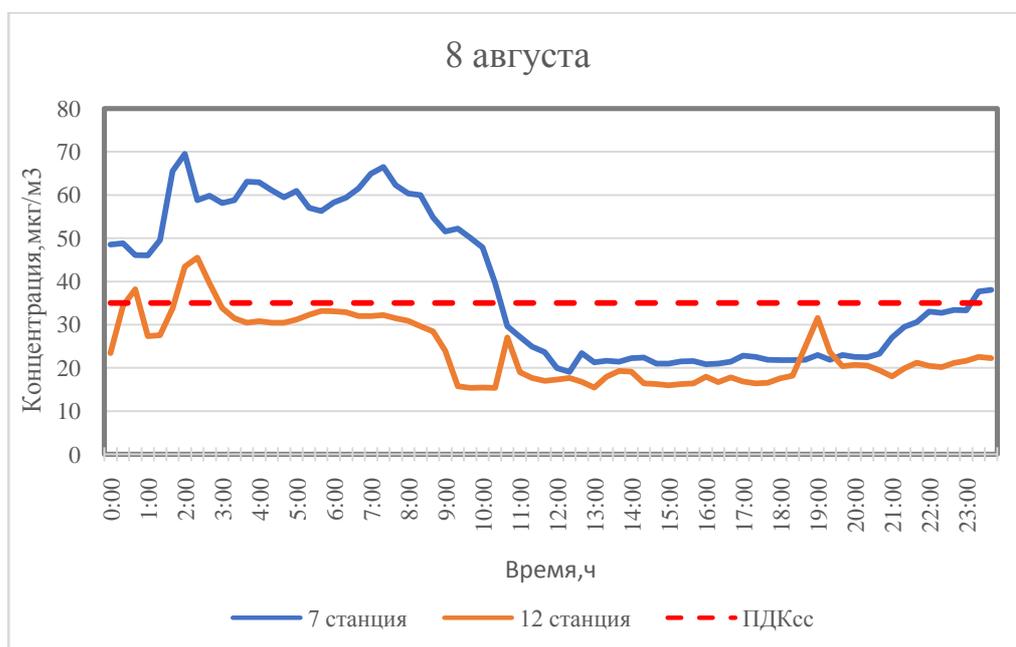


Рис. 5 Суточный ход  $PM_{2,5}$  08.08.2013 на станциях №7 и №12

Из полученных результатов видно, что концентрация  $PM_{2,5}$  выше в теплое время года, чем в холодное. При этом на рис.5 видно, что в теплое время, концентрация значительно повышается ночью, затем к утру начинает снижаться. Максимальное значение концентрации  $PM_{2,5}$  в теплое время наблюдается 8 августа (четверг) на станции №7 в 2.00 и достигает  $69,50 \text{ мкг/м}^3$ , а в холодное 21 февраля (четверг) в 12.00 и достигает  $227,20 \text{ мкг/м}^3$ .

Так, в феврале в течение суток концентрация  $PM_{2,5}$  на станции №7 значительно изменялась с 10.00 до 17.20., максимальное значение концентрации было достигнуто в 12.00, далее постепенно стало понижаться до 17.00. В целом, днем концентрация  $PM_{2,5}$  была выше, что может быть связано с активным потоком транспорта, вместе с тем, на данной станции на протяжении всего дня концентрация  $PM_{2,5}$  была близка к границе ПДК<sub>сс</sub>.

Что касается данных со станции №12, можно сказать, что ПДК<sub>сс</sub> не было превышено ни разу за сутки, но, тем не менее, днем концентрация PM<sub>2,5</sub> была выше, чем ночью, а максимальное значение было достигнуто в 14.20, что также может быть связано с дневной транспортной активностью, а, следовательно, высоким потоком автотранспорта. При этом, более низкую концентрацию PM<sub>2,5</sub> на станции №12 можно объяснить тем, что она находится в более озеленённом районе в окружении Марсового поля, Летнего и Михайловского садов.

Вместе с тем, для определения недельного хода на станциях №7 и №12 был взят рабочий период с понедельника по понедельник.

На рис.6 представлен недельный ход взвешенных частиц PM<sub>2,5</sub> на станции №7 и №12 в холодный период.

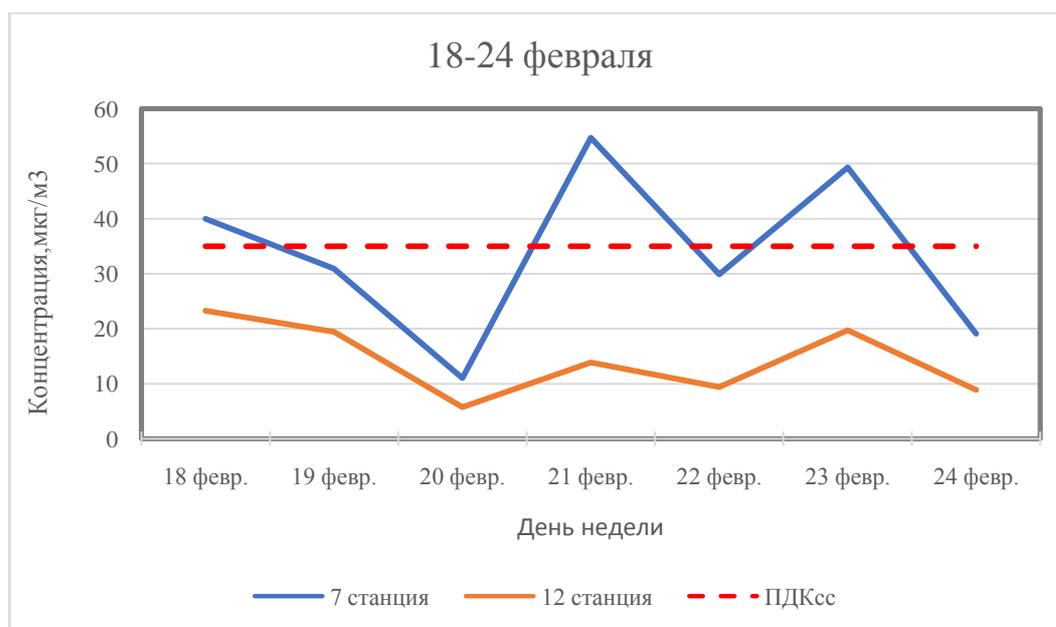


Рис.6 Недельный ход PM<sub>2,5</sub> в период 18-24 февраля на станциях №7 и №12

На рис.7 представлен недельный ход взвешенных частиц PM<sub>2,5</sub> на станциях №7 и №12 в теплый период.

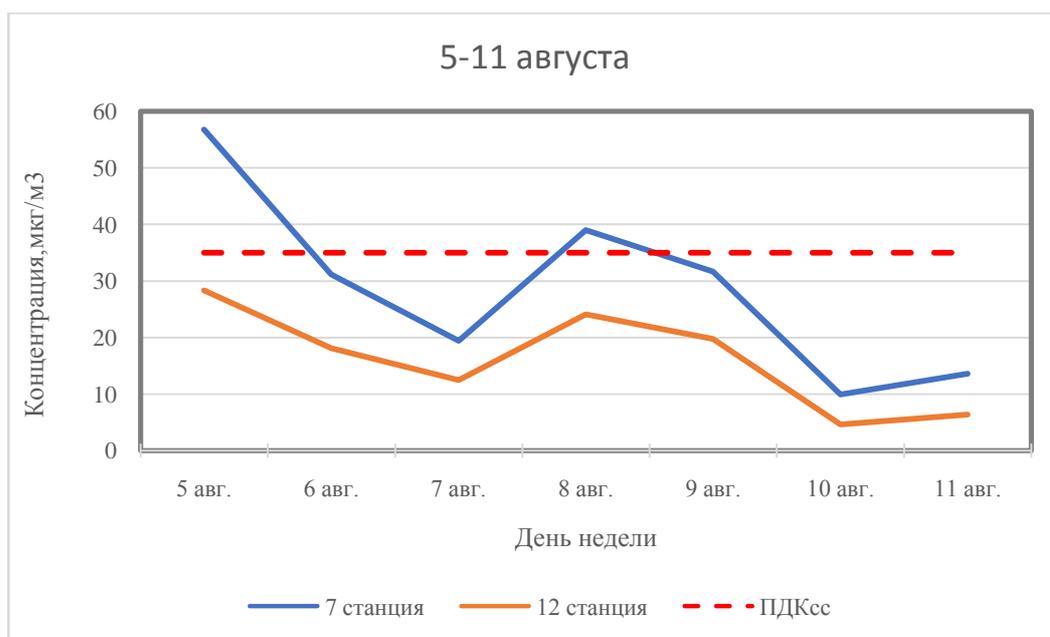


Рис.7 Недельный ход  $PM_{2,5}$  в период 5-11 августа на станциях №7 и №12

На представленных графиках видно, что с 18 по 24 февраля на станции №7 есть превышения ПДК<sub>сс</sub>, начиная со второй половины недели, а на станции №12 превышений ПДК<sub>сс</sub> не было выявлено. В августе, аналогично, на станции №7 присутствуют превышения ПДК<sub>сс</sub> в понедельник и среду, а на станции №12 превышений не было зарегистрировано.

Значения концентрации за неделю февраля колеблются в пределах от 5,75 до 54,70 мкг/м<sup>3</sup>, а за август от 4,63 до 56,78 мкг/м<sup>3</sup>. Максимум зимнего недельного хода приходится на 21 февраля, летнего – на 5 августа. Минимумы на 20 февраля и 10 августа. В целом, видно, что на станции №12 нет превышений ПДК<sub>сс</sub>, как в августе, так и в феврале. При этом, на станции №7 есть тенденция повышения концентрации к концу недели в феврале и к началу недели в августе.

Анализируя февральскую неделю на станции №7, видно, что с четверга по субботу значение концентрации выше, чем с воскресения по среду. В четверг и субботу видны резкие скачки концентрации – это говорит о том, что поток автомобилей был выше, чем в другие дни. На станции №12 концентрация повышалась в четверг и субботу, но не достигала пределов ПДК<sub>сс</sub>.

За августовскую неделю в понедельник и четверг концентрация  $PM_{2,5}$  скачкообразно вырастала и превышала ПДК<sub>сс</sub>, а в остальные дни концентрация была в пределах нормы. На станции №12 не было выявлено превышений уровня ПДК<sub>сс</sub>, что может объясняться тем, данная станция находится в окружении парков и садов.

Аналогично были проведены исследования сезонного хода в самый теплый и самый холодный месяц на станциях №7 и №12.

На рис.8 представлен сезонный ход в самый теплый месяц (июнь) на станции №7 и №12.

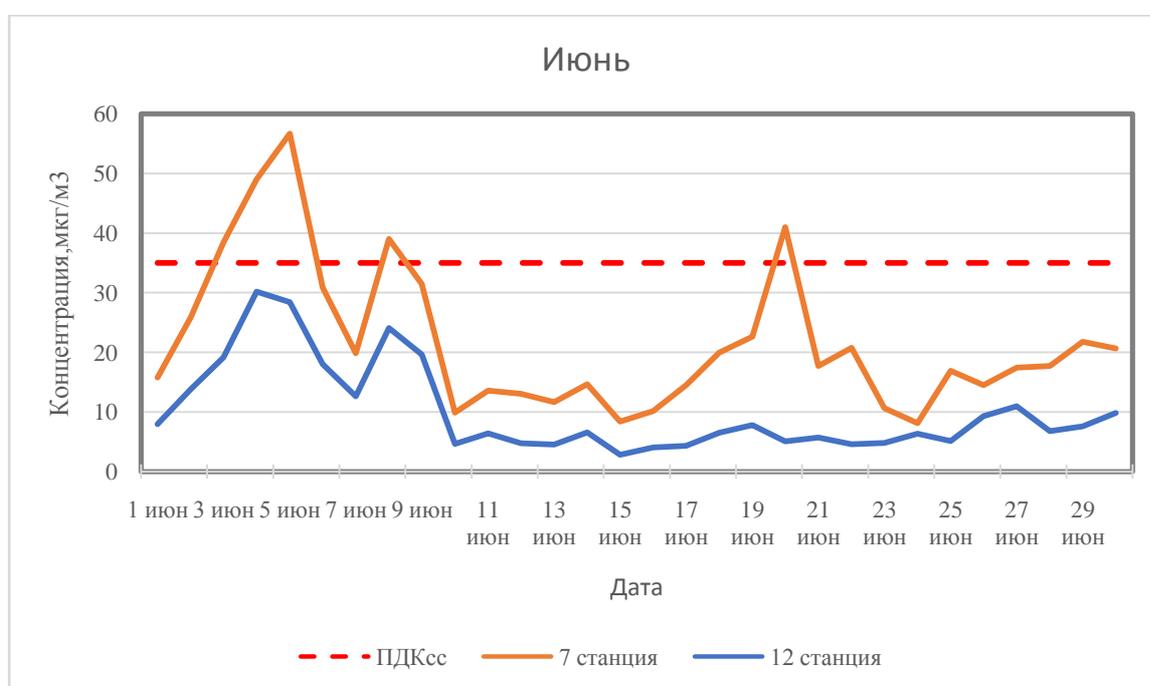


Рис.8 Сезонный ход  $PM_{2,5}$  в июне на станциях №7 и №12

На рис.9 представлен сезонный ход в самый холодный месяц (март) на станциях №7 и №12.

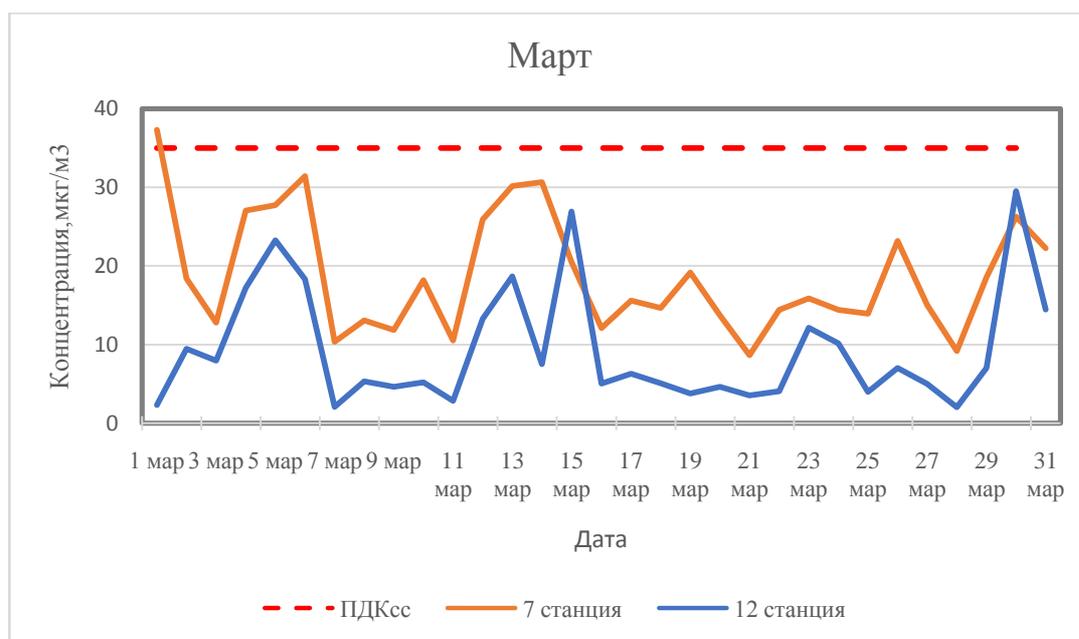


Рис.9 Сезонный ход  $PM_{2,5}$  в марте на станциях №7 и №12

На представленных графиках видно, что превышение ПДК<sub>сс</sub> наблюдается только в июне на станции №7 и одновременно в марте – 1.02 на той же станции. На станции № 12 как в марте, так и в июне нет превышений ПДК<sub>сс</sub>, но, при этом, концентрация возрастает в первой половине месяца.

Значения концентрации в июне колеблются в пределах от 2,796 до 56,70 мкг/м<sup>3</sup>, а в марте - от 2,01 до 37,30 мкг/м<sup>3</sup>. Максимальное значение летом приходится на 5 (среда) июня, зимнего – на 1 марта (пятница). Минимумы на 15 (суббота) июня и 28 марта (четверг).

В целом, значения концентрации  $PM_{2,5}$  на станции №12 как в летний, так и в зимний период значительно ниже, чем на станции №7 и не превышают значений ПДК<sub>сс</sub>. Данное явление можно объяснить территориальным положением станции №12, которая находится вблизи Марсового поля и Летнего и Михайловского садов, что может влиять на концентрацию взвешенных частиц в данном районе.

## Заключение

В ходе проделанной выпускной квалификационной работы можно сделать вывод, что концентрация взвешенных частиц  $PM_{2,5}$  возрастает в ночное время, с понижением температуры, как в холодное, так и в теплое время.

Также концентрация  $PM_{2,5}$  возрастает с увеличением транспортного потока, то есть ближе к выходным.

Вместе с тем, на станции №12 (ул. Пестеля,1) повсеместно наблюдалась значительно более низкая концентрация  $PM_{2,5}$  и зачастую не превышала значений ПДК<sub>сс</sub>, данное явление может объясняться территориальным положением данной станции контроля качества воздуха, она находится среди наиболее озелененной территории, ее окружает Марсово поле, Летний и Михайловский сады. Также на данной территории не такое оживленное транспортное сообщение и поток людей, как на станции №7 (ул. Шпалерная,56), поэтому такие легкие частицы, как  $PM_{2,5}$  могут осесть быстрее, чем на оживленной местности.

Стоит отметить, что станции, которые находятся не так далеко друг от друга (3,6 км), исследуя городской воздух, показывают такие разные результаты, поэтому целесообразно увеличить количество станций экологического контроля качества воздуха не только на территории г. Санкт-Петербург, но и во всех странах в целом и продолжить мониторинг качества атмосферного воздуха и влияние  $PM_{2,5}$  на организмы, что в дальнейшем позволит решить проблему загрязненности воздуха взвешенными частицами  $PM_{2,5}$ .

## Список литературных источников

1. Седунов Ю.С. Атмосфера. Справочник. Ленинград: Ленинград: ГидроМетеоИздат., 1991. 510 р.
2. Gehring U. et al. Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2010. Vol. 181, № 6. P. 596–603.
3. WHO | Indoor air pollution and household energy [Electronic resource] // WHO. World Health Organization, 2010. URL: <http://www.who.int/heli/risks/indoorair/indoorair/en/> (accessed: 06.06.2018).
4. Wall Paint, Perfumes and Cleaning Agents Are Polluting Our Air: The Two-Way: NPR [Electronic resource]. URL: <https://www.npr.org/sections/thetwo-way/2018/02/15/585886321/your-wall-paint-perfumes-and-cleaning-agents-are-polluting-our-air> (accessed: 06.06.2018).
5. Russell A.R. et al. Space-based Constraints on Spatial and Temporal Patterns of NO<sub>x</sub> Emissions in California, 2005–2008 [Electronic resource] // *Environmental Science & Technology.* 2010. Vol. 44, № 9. P. 3608–3615. URL: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es903451j> (accessed: 06.06.2018).
6. Gauderman W.J. et al. Association of Improved Air Quality with Lung Development in Children // *N. Engl. J. Med.* 2015. Vol. 372, № 10. P. 905–913.
7. Fischetti M. Trees That Pollute // *Sci. Am.* 2014. Vol. 310, № 6. P. 14–14.
8. The Worst Climate Pollution Is Carbon Dioxide - Scientific American [Electronic resource]. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/the-worst-climate-pollution-is-carbon-dioxide/> (accessed: 06.06.2018).
9. Dellinger B. Newly detected air pollutant mimics damaging effects of cigarette smoke. 2008. № August. P. 1–2.
10. WHO | 7 million premature deaths annually linked to air pollution [Electronic resource] // WHO. World Health Organization, 2014. URL: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>

(accessed: 06.06.2018).

11. WHO | Air pollution [Electronic resource] // WHO. World Health Organization, 2017. URL: <http://www.who.int/ceh/risks/cehair/en/> (accessed: 06.06.2018).
12. Кабаева И.В. О распространении и оседании пылевых частиц размером до 10 мкм в горизонтальном турбулентном потоке // Интернет-вестник ВолгГАСУ - Вып 2(3).71.- 2007. - С.57-63.
13. Int Panis L.L.R. The Effect of Changing Background Emissions on External Cost Estimates for Secondary Particulates // Open Environ. Sci. 2008. Vol. 2, № 1. P. 47–53.
14. Крюкова; С.В. Контроль загрязнения природной среды анализ данных загрязнения. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2014. 51 p.
15. WHO 2005. Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. – WHO, 2006. – 484 p.
16. Вильфанд Р.М. et al. Мониторинг и прогнозирование качества воздуха в московском регионе 1. 2014. P. 339–351.
17. Sources and Effects of PM2.5 [Electronic resource]. URL: <https://laqm.defra.gov.uk/public-health/pm25.html> (accessed: 06.06.2018).
18. Sapkota A. et al. Exposure to particulate matter and adverse birth outcomes: a comprehensive review and meta-analysis // Air Qual. Atmos. Heal. Springer Netherlands, 2012. Vol. 5, № 4. P. 369–381.
19. Byrne C.D., Phillips D.I. Fetal origins of adult disease: epidemiology and mechanisms. // J. Clin. Pathol. BMJ Publishing Group, 2000. Vol. 53, № 11. P. 822–828.
20. Barker D.J. The fetal and infant origins of adult disease. // BMJ. BMJ Publishing Group, 1990. Vol. 301, № 6761. P. 1111.
21. Erickson A.C., Arbour L. The shared pathoetiological effects of particulate air pollution and the social environment on fetal-placental development. // J. Environ. Public Health. Hindawi, 2014. Vol. 2014. P. 901017.
22. Pope III C.A. et al. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term

- Exposure to Fine Particulate Air Pollution // JAMA. American Medical Association, 2002. Vol. 287, № 9. P. 1132.
23. National Study Examines Health Risks of Coarse Particle Pollution [Electronic resource]. URL: <http://www.newswise.com/articles/view/540721/> (accessed: 06.06.2018).
  24. Пылемеры, анализаторы пыли [Electronic resource]. URL: [http://ecmoptec.ru/type/cat\\_type\\_id/2](http://ecmoptec.ru/type/cat_type_id/2) (accessed: 06.06.2018).
  25. Статья: Пылемеры - принцип работы, сфера применения, выбор прибора для конкретной задачи. [Electronic resource]. URL: [http://eco-intech.com/library/?ELEMENT\\_ID=2417](http://eco-intech.com/library/?ELEMENT_ID=2417) (accessed: 06.06.2018).
  26. Автоматические экологические лаборатории [Electronic resource]. URL: <http://horibalab.ru/sistemy/stantsii-monitoringa-atmosfernogo-vozdukha.html> (accessed: 06.06.2018).
  27. Исаев Л. Автоматические станции контроля качества атмосферы СКАТ. 2011. Vol. 2, № 00108. P. 2–5.
  28. PiterMeteo.ru: погода в Санкт-Петербурге [Electronic resource]. URL: <http://pitermeteo.ru/> (accessed: 06.06.2018).
  29. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М., - 2003. – 41с.

## Приложение

Таблица 1. Суточный ход изменения концентрации РМ<sub>2,5</sub>

Время, ч	21 февраля		8 августа	
	7 станция	12 станция	7 станция	12 станция
0:00	25,20	13,40	48,50	23,40
0:20	25,55	15,40	48,80	34,35
0:40	29,90	16,20	46,05	38,15
1:00	30,75	14,80	46,00	27,35
1:20	28,70	13,00	49,55	27,55
1:40	25,00	11,80	65,50	33,75
2:00	23,60	10,60	69,50	43,45
2:20	24,30	10,60	58,80	45,50
2:40	27,75	11,40	59,85	39,50
3:00	33,05	11,60	58,15	33,80
3:20	37,85	12,80	58,80	31,45
3:40	35,20	12,60	63,10	30,40
4:00	36,45	12,40	62,95	30,80
4:20	40,45	12,60	61,05	30,40
4:40	46,65	12,40	59,45	30,45
5:00	53,80	12,60	60,95	31,15
5:20	51,30	13,00	57,00	32,30
5:40	38,05	13,00	56,30	33,15
6:00	41,70	13,00	58,30	33,05
6:20	30,15	13,80	59,40	32,85
6:40	21,30	15,80	61,50	32,00
7:00	28,85	15,40	64,95	32,00
7:20	33,40	14,60	66,50	32,20
7:40	45,35	14,60	62,25	31,45
8:00	45,40	14,80	60,35	30,90
8:20	43,70	14,20	59,95	29,60
8:40	38,60	12,40	54,80	28,40
9:00	47,60	11,40	51,55	23,95
9:20	37,25	12,00	52,20	15,75
9:40	38,15	11,40	50,10	15,35
10:00	43,45	13,40	47,85	15,45
10:20	70,60	7,60	39,60	15,35
10:40	145,20	10,60	29,60	27,00
11:00	127,50	10,00	27,15	18,95
11:20	131,20	10,00	24,85	17,65

11:40	139,85	14,60	23,65	16,95
12:00	227,20	17,80	19,90	17,25
12:20	173,70	18,00	19,05	17,65
12:40	161,40	11,60	23,40	16,75
13:00	130,75	15,60	21,25	15,45
13:20	101,90	17,60	21,60	17,95
13:40	102,35	18,20	21,40	19,30
14:00	99,60	20,80	22,25	19,10
14:20	92,65	19,80	22,35	16,40
14:40	76,95	14,40	21,00	16,25
15:00	69,40	12,20	20,95	15,95
15:20	58,35	12,60	21,50	16,25
15:40	60,40	14,80	21,55	16,35
16:00	56,35	16,60	20,80	17,90
16:20	56,95	15,60	21,00	16,65
16:40	47,05	13,60	21,45	17,80
17:00	29,90	10,20	22,80	16,85
17:20	29,70	9,00	22,55	16,40
17:40	33,55	9,00	21,85	16,55
18:00	35,45	8,80	21,80	17,55
18:20	37,80	11,20	21,75	18,15
18:40	34,15	9,00	21,85	24,80
19:00	34,35	10,20	23,00	31,55
19:20	31,85	12,20	21,85	23,60
19:40	26,55	13,00	23,00	20,35
20:00	28,90	15,40	22,55	20,65
20:20	28,85	16,60	22,45	20,50
20:40	29,30	15,60	23,25	19,40
21:00	31,15	18,60	27,05	18,00
21:20	32,20	18,20	29,45	19,85
21:40	30,05	17,20	30,55	21,20
22:00	30,75	17,20	33,00	20,45
22:20	35,10	18,60	32,75	20,15
22:40	40,95	18,60	33,40	21,15
23:00	44,25	17,80	33,30	21,60
23:20	40,45	16,80	37,65	22,55
23:40	35,10	15,40	38,00	22,20

Таблица 2. Недельный ход изменения концентрации  $PM_{2,5}$ 

	5-11 августа			18-24 февраля	
Дата	7 станция	12 станция	Дата	7 станция	12 станция
5 авг.	56,78	28,35	18 февр.	39,99	23,27
6 авг.	31,15	18,15	19 февр.	30,91	19,43
7 авг.	19,43	12,48	20 февр.	11,03	5,75
8 авг.	39,02	24,11	21 февр.	54,70	13,86
9 авг.	31,67	19,77	22 февр.	29,85	9,39
10 авг.	9,93	4,63	23 февр.	49,30	19,72
11 авг.	13,60	6,37	24 февр.	19,09	8,89

Таблица 3. Сезонный ход изменения концентрации  $PM_{2,5}$ 

	Июнь			Март	
Дата	7 станция	12 станция	Дата	7 станция	12 станция
1 июн	15,77	7,95	1 мар	37,31	2,30
2 июн	25,85	13,81	2 мар	18,41	9,43
3 июн	38,42	19,13	3 мар	12,80	7,94
4 июн	49,02	30,19	4 мар	27,03	17,23
5 июн	56,70	28,44	5 мар	27,74	23,28
6 июн	30,89	18,00	6 мар	31,41	18,32
7 июн	19,83	12,63	7 мар	10,37	2,05
8 июн	39,00	24,10	8 мар	13,10	5,30
9 июн	31,47	19,65	9 мар	11,86	4,61
10 июн	9,88	4,59	10 мар	18,19	5,18
11 июн	13,58	6,37	11 мар	10,55	2,84
12 июн	13,04	4,71	12 мар	25,89	13,25
13 июн	11,64	4,48	13 мар	30,16	18,70
14 июн	14,65	6,57	14 мар	30,65	7,52
15 июн	8,36	2,80	15 мар	20,52	26,94
16 июн	10,12	4,00	16 мар	12,10	5,02
17 июн	14,47	4,28	17 мар	15,62	6,29
18 июн	19,96	6,50	18 мар	14,65	5,06
19 июн	22,65	7,80	19 мар	19,15	3,77

20 июн	40,98	5,06	20 мар	13,75	4,63
21 июн	17,69	5,70	21 мар	8,67	3,52
22 июн	20,76	4,55	22 мар	14,41	4,04
23 июн	10,66	4,80	23 мар	15,89	12,16
24 июн	8,11	6,34	24 мар	14,41	10,15
25 июн	16,90	5,10	25 мар	13,95	3,95
26 июн	14,47	9,30	26 мар	23,19	7,01
27 июн	17,41	10,96	27 мар	15,02	5,00
28 июн	17,69	6,78	28 мар	9,19	2,01
29 июн	21,77	7,55	29 мар	18,56	7,03
30 июн	20,63	9,82	30 мар	26,27	29,54
			31 мар	22,26	14,46