



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

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Использование данных спутниковой съемки при анализе смога в Пекине»

Исполнитель **Сергеева Наталья Олеговна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Федосеева Наталья Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«02» июня 2023г.

Санкт-Петербург
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СМОГ	6
1.1 Виды смога	7
1.2 Виды загрязнения и источники	12
1.3 Условия формирования	14
1.4 Влияние на здоровье человека и сельское хозяйство	15
1.5 Отличие смога от тумана	17
ГЛАВА 2. СМОГ В ПЕКИНЕ	19
2.1. Источники загрязнения в Пекине	19
2.2. Меры борьбы со смогом, принятые в Китае	21
2.3. AQI (Air quality index) – индекс качества воздуха	26
ГЛАВА 3	28
3.1 Формирование архива ежедневных данных по основным загрязнителям в Пекине	28
3.2 Статистический анализ данных	29
3.2.1 Анализ внутримесячной изменчивости показателей качества воздуха .	29
3.2.2 Анализ внутригодовой изменчивости средних многолетних значений шести основным характеристикам, определяющих смог	31
3.2.3 Анализ межгодовой изменчивости среднемесячных значений шести основных характеристик, определяющих смог	33
3.3. Анализ метеоусловий при формировании смога	34
3.3.1. Формирование архива данных	34

3.3.2. Статистический анализ метеопараметров в дни с неблагоприятными условиями качества воздуха	35
3.3.2.1. Температура	35
3.3.2.2 Давление.....	38
3.3.2.3 Скорость и направление ветра	40
3.3.2.4 Влажность	44
3.4 Обработка снимков с использованием модели AshRGB, для дешифрирования смога в Пекине на спутниковых изображениях.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	50
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	52
Приложение А	52
Приложение В	53
Приложение С	54
Приложение D	55
Приложение E.....	56
Приложение F.....	56
Приложение G	57
Приложение H	57
Приложение J	58
Приложение K.....	58
Приложение L.....	59
Приложение M	59

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая проблема – одна из глобальных проблем человечества. Ее можно назвать основной. В результате эко проблем происходит ряд нарушений в окружающей нас среде: сокращение озонового слоя, глобальное потепление и парниковый эффект, уменьшение многообразия биологических видов, загрязнение водоемов и загрязнение воздуха.

Самым опасным для человека на данный момент считается загрязнение воздуха. Практически каждый человек в мире дышит грязным воздухом. Повышается риск заболеваний, таких как инсульт, болезни сердца, рак легких и хронические или острые респираторные заболевания. Каждый год от заболеваний, связанных с ними, умирают миллионы людей, а именно, число смертей достигает 7 миллионов каждый год.

Загрязнения воздуха наблюдаются везде, не зависимо от места жительства. Мелкодисперсные и крупнодисперсные загрязняющие частицы, содержащиеся в воздухе, пробивают «защиту» нашего организма, проникают в дыхательную и кровеносную системы, повреждают жизненно важные органы - легкие, сердце и мозг.

Загрязненный воздух больше всего влияет на детей и людей пожилого возраста, способствует развитию многих смертельных заболеваний, именно поэтому чистый атмосферный воздух является самым важным для здоровой жизни человека, ведь он снабжает мозг кислородом, регулирует различные процессы в организме, способствует рождению здорового ребенка, придает сил и многое другое.

Целью данной работы является анализ смога в Пекине, его состав и условия формирования.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Формирование архива ежедневных данных по шести основным характеристикам, определяющим смог: AQI(PM2.5); AQI(PM10); O₃; NO₂; SO₂; CO.
2. Осреднение данных по годам и построение гистограмм по среднегодовому содержанию в воздухе шести основных характеристик, определяющих смог: AQI(PM2.5); AQI(PM10); O₃; NO₂; SO₂; CO.
3. Построение графиков ежедневного содержания в воздухе мелко и крупнодисперсных частиц за каждый месяц с целью выявления дней, в которые наблюдается превышение норм.
4. На основе выявленных данных о превышении норм создать таблицу с метеопараметрами для анализа погодных условий при смоге.
5. Создание архива снимков MODIS/Aqua, Terra исследуемого региона по выявленным случаям превышения нормативов.
6. Тематическая обработка снимков с использованием модели Ash RGB, для дешифрирования смога на спутниковых изображениях.

В первой главе работы рассматриваются разновидности и источники смога, виды загрязнений, метеоусловия благоприятные для его формирования, а также влияние на здоровье человека, сельское хозяйство и т.д.

Вторая глава посвящена рассмотрению смога в Пекине (Китай), источниках загрязнения, различных мерах борьбы.

В третьей главе выполняется статистический анализ шести основных показателей индекса качества воздуха (AQI) в Пекине, обрабатываются и анализируются спутниковые изображения, на которых присутствует смог.

ГЛАВА 1. СМОГ

Смог (smog, от smoke - дым и fog – туман) - это такое загрязнение воздуха, из-за которого ухудшается видимость. Термин "смог" начали использовать в начале 1900-х годов. Раньше им описывали просто смесь дыма и тумана, возникающие от сжигания угля.

Сейчас же промышленные и большие города часто подвергаются такому явлению, как смог - сильному загрязнению воздуха, которое представляет собой плотный, густой туман с примесями дыма, а также газовых отходов, едких газов и аэрозолей высокой концентрации.

В нормальной, чистой атмосфере видимость может достигать двухсот километров, в то время как в загрязненной атмосфере видимость значительно уменьшается от десяти до двух километров, а то и меньше. Пример смога можно увидеть на рис. 1.



Рисунок 1 - Видимость при смоге. Фотография за январь, 2017 год
[<https://cpictures.homes/beijing-smog-from-space>]

1.1 Виды смога

Смог можно разделить на 4 основных вида:

1. Серный смог (иногда его называют «Лондонским»).

Причина появления такого смога - высокий процент содержания в воздухе оксидов серы. Это происходит из-за использования угля и других видов топлива при обогревании жилья и работы ТЭЦ. В ходе переработки происходит выброс сажи и других вредных микрочастиц.

Самое известное проявление серного смога произошло в Лондоне (отсюда и название) в 1952 году. Декабрь 1952 года был крайне холодным из-за тумана, опустившегося на Лондон. Туман образовался из-за антициклона, который вызвал температурную инверсию. Именно поэтому люди начали активно использовать для отопления уголь. Количество используемого угля было огромным, кроме того этот уголь был некачественным и содержал серу, это увеличило содержание диоксида серы в дыму [1].



Рисунок 1.1.1 – Смог в Лондоне (1952г.) [<https://tion.ru/blog/smog/>]

2. Ледяной смог

Ледяной смог (рис.1.1.2) можно встретить очень редко, например, зимой на Аляске. Условия образования такого смога:

- температура воздуха ниже -30°C ,
- штиль,
- повышенная влажность.

В воздухе к кристалликам льда присоединяются разные «грязные» частицы, объединяются и остаются в виде взвеси (совокупность мельчайших частиц твёрдого вещества в жидкости или газе).



Рисунок 1.1.2 – Ледяной смог [<https://tion.ru/blog/smog/>]

3. Вулканический смог

Появляется, когда извергается вулкан (рис 1.1.3). При взаимодействии примесей с солнечным светом, кислородом и водяным паром появляются едкие и опасные химические вещества, такой смог вредит всему живому [2].



Рисунок 1.1.3 – Вулканический смог [<https://tion.ru/blog/smog/>]

4. Радиационный туман

Иногда очень сильный радиационный туман называют смогом. Он появляется в результате остывания поверхности земли и влажного приземного воздуха до точки росы. Такой туман возникает ночью в период антициклона при безоблачной погоде и легком бризе. Нередко смог возникает при температурной инверсии, которая препятствует подъему воздушной массы.



Рисунок 1.1.4 – Радиационный туман в Москве (1.11.2021г.)
[<https://www.mk.ru/photo/gallery/25954-497120.html>]

5. Фотохимический смог (иногда его называют «Лос-Анджелесский»)

Такой смог является самым распространенным на планете. Буроватая или сероватая дымка, сформированная из-за воздействий солнца на ЛОС (токсичные соединения, выделяемые красками, эмалями, бензином и тд). Благоприятные условия для образования фотохимического смога создаются в больших городах Европы и Азии, так как в них наибольшая концентрация автомобильного трафика.

Назван смог «Лос-Анджелесским» в честь почти столетней борьбы города с загрязнениями. Кроме очевидных причин возникновения смога таких как – автомобили и предприятия, были еще две: до конца пятидесятых годов многие люди сжигали мусор прямо у себя на заднем дворе – в специальных печах, а в годы Второй мировой войны из-за иммиграции очень сильно выросло городское

население. Кроме того, из-за своего географического положения, похожего на котел, Лос-Анджелес не мог избавиться от смога, так как загрязнению просто некуда было выйти [2].



Рисунок 1.1.5 – Фотохимический смог в Лос-Анджелесе

[<https://auto.ru/mag/article/lasmog/>]

Сегодня наибольшее количество случаев смога, который наблюдается, относится к фотохимическому. Он образуется, когда солнечный свет вступает в реакцию с оксидами азота и, хотя бы одним летучим органическим соединением (ЛОС) в атмосфере. Оксиды азота образуются из выхлопных газов автомобилей, угольных электростанций и заводских выбросов. ЛОС выделяются из бензина, красок и многих чистящих растворителей. Когда солнечный свет попадает на эти химические вещества, они образуют взвешенные в воздухе частицы и озон все больше и больше накапливается в атмосфере. Ночью данный процесс

прекращается. Тогда озон вступает в реакцию с олефинами. В атмосфере происходит концентрация различных перекисей, которые в сумме и образуют характерные для фотохимического тумана оксиданты – смог.

1.2 Виды загрязнения и источники

Различные примеси в воздухе (за исключением природных выбросов, например, вулканического пепла) появляются из-за самого человека. По данным, предоставленным ЮНЕП (программа ООН), загрязнения вызваны, в основном, пятью видами деятельности: сельским хозяйством, транспортом, промышленностью, отходами и домашним хозяйством.

К основным видам загрязнения воздуха относятся:

- Дисперсные частицы (ДЧ)

Концентрация ДЧ является часто используемым показателем уровня загрязнения воздуха. Основными компонентами являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлорид натрия, сажа, минеральная пыль и вода. Можно выделить тонкодисперсные частицы (PM_{2,5}) и крупнодисперсные, вдыхаемые частицы (PM₁₀).

Так, загрязняющим веществом, наиболее влияющим на человека, являются твердые частицы диаметром 10 микрон и меньше ($\leq$ PM₁₀). Они могут проникать в легкие и задерживаться там надолго. Тем не менее, более вредными для здоровья являются частицы диаметром 2,5 микрона и менее ($\leq$ PM_{2,5}). Эти частицы равны всего одной 60-ой части диаметра человеческого волоса.

- Окись углерода (CO) –

Окись углерода представляет собой бесцветный токсичный газ без запаха и вкуса, образуется при неполном сгорании углеродосодержащих видов топлива, таких как древесина, бензин, древесный уголь, природный газ и керосин.

Является загрязнителем воздуха, который в высокой концентрации очень опасен и смертелен. Он связывается с гемоглобином в крови, снижая его способность переносить кислород, тем самым лишая жизненно важные ткани кислорода.

- Озон (O₃)

Приземный озон (его не следует путать с озоном в верхних слоях атмосферы), является одной из основных составляющих фотохимического смога и образуется в результате реакции с газами на солнечном свете.

Озон может быть полезным или вредным. Озоновый слой, расположенный высоко в атмосфере, защищает нас от опасного ультрафиолетового излучения солнца. Но когда озон находится близко к земле, он вреден для здоровья человека. Озон может повреждать легочную ткань, и это особенно опасно для людей с респираторными заболеваниями, такими как астма. Озон также может вызывать зуд и жжение в глазах.

- Диоксид азота (NO₂)

NO₂ представляет собой газ, который обычно выделяется при сжигании топлива на транспорте и в промышленности.

- Диоксид серы (SO₂)

SO₂ представляет собой бесцветный газ с резким запахом. Он образуется при сжигании ископаемых видов топлива (угля и нефти) или плавке минеральных руд, содержащих серу.

Диоксид азота и диоксид серы тоже могут вызывать астму, бронхиальные симптомы, воспаление и снижение функции легких [3].

Атмосферные загрязнители или газы, образующие смог, выбрасываются в воздух при сжигании топлива. Когда солнечный свет и его тепло вступают в реакции с газами и мелкими частицами в атмосфере, образуется смог. Приземный озон и мелкие частицы выделяются в воздух в результате сложных

фотохимических реакций между летучими органическими соединениями (ЛОС), диоксидом серы (SO_2) и оксидами азота (NO).

Основными источниками являются загрязняющие вещества, выбрасываемые непосредственно в воздух автомобилями с бензиновым и дизельным двигателем, промышленными предприятиями и деятельностью, а также отоплением в результате деятельности человека.

Промышленные предприятия и автотранспорт выбрасывают чёрный дым и зеленовато-жёлтый диоксид, которые повышают риск ранней смерти.

1.3 Условия формирования

Наблюдается смог обычно в безветренную погоду и является очень большой проблемой крупных городов. Наибольшая концентрация вредных веществ в приземном воздухе наблюдается утром, в течение дня смог поднимается вверх под воздействием восходящих потоков воздуха.

Формируется смог под влиянием высоких температур, солнечного света и слабого ветра. Это одни из немногих факторов повышения уровня загрязнения воздуха в атмосфере. В зимний период скорость ветра небольшая, дым и туман имеют свойство оставаться в одном месте, образуя плотный смог. Тогда повышается уровень загрязнения у земли, к местам, где дышат люди, ухудшается видимость и происходят нарушения окружающей среды.

Время формирования смога зависит от температуры. Иногда бывают так называемые температурные инверсии — ситуации, когда тёплый воздух не поднимается вверх, а остается у земли. Во время температурных инверсий, если ветра нет, смог может скапливаться и оставаться над местом в течение нескольких дней [5].

Основным направлением ветра в Пекине считается северное (25%). Преобладающими же ветрами можно назвать южный (18%) и северо-западный (14%). Самым редким ветром в Пекине является западный (5%) [5].

Также смог опасен, когда возникает дальше от источника выбросов загрязняющих веществ, так как фотохимические реакции, образующие смог, происходят в воздухе, когда выбрасываемые вещества от сильного движения сносятся ветром. Таким образом, смог может быть опасным для пригородов и сельскохозяйственных районах.

1.4 Влияние на здоровье человека и сельское хозяйство

Смог не только выглядит некрасиво, «окрашивая» небо в коричневый, желтый или серый цвет, но и вредит здоровью людей, животных, способен погубить и растения.

Смог опасен, что очень хорошо видно по шести компонентам, которые его образуют, и последствиям, которые он вызывает.

Зафиксировано много смертей от болезней бронхов, вызванных смогом. Он значительно уменьшает ультрафиолетовое излучение, что приводит к низкой выработке важнейшего природного элемента витамина D, что ведет к заболеваниям таким, как рахит.

Смог также может привести к воспалению в тканях легких; вызывая боль в груди. Он может вызывать как незначительные боли, так и смертельные болезни легких. Кроме того, некоторые заболевания, такие как простуда и пневмония, а также сильнейшее раздражение глаз тоже могут связаны со смогом. Человеческому организму очень тяжело бороться с сильным воздействием загрязнений.

Даже самое минимальное воздействие смога на организм может привести к приступам астмы. Люди с данным заболеванием должны максимально избегать смога.

Больше всего риску подвергаются пожилые люди, дети и люди с сердечными и респираторными осложнениями. Например, более 90% детей ежедневно подвергают свое здоровье огромному риску, просто вдыхая воздух. В 2016 году 600 000 детей по всему миру умерли от тяжелых инфекций нижних дыхательных путей. Дети дышат чаще, чем взрослые, поэтому количество вдыхаемых «ядов» выше. Кроме того, дети еще развиваются и из-за своего роста находятся ближе к земле, где определённые загрязняющие вещества имеют самую высокую концентрацию. Все это может повлиять на нейроразвитие и когнитивные способности детей, стать причиной развития астмы и рака. С возрастом, дети, которые находятся под влиянием грязного воздуха, могут иметь более высокий риск развития хронических заболеваний сердца.

Приземный озон, который наблюдается при смоге мешает росту растений и наносит большой вред посевам и лесам. Страдают овощи, фрукты, посевы вроде сои, пшеницы, арахиса, хлопок, все подвергается заражению под влиянием смога.

Смог отравляет окружающую среду, убивая огромное количество животных и зеленых насаждений, поскольку им требуется время, чтобы адаптироваться к дыханию и выживанию в такой токсичной среде.

Смог является разрушительной проблемой, особенно из-за быстрой модернизации или индустриализации, поскольку опасные химические вещества, участвующие в образовании смога, обладают высокой реакционной способностью и распространяются в атмосфере.

1.5 Отличие смога от тумана

Основное различие между туманом и смогом заключается в том, что туман — это естественное явление. Тогда как смог представляет собой смесь дыма и тумана.

Туман — одно из основных сложных метеорологических явлений, снижающих видимость до менее 1 км. В воздухе всегда есть небольшое количество водяного пара, но, если маленькие капли аэрозоля видно, и они уменьшают видимость, тогда явление называется туманом.

Туман можно назвать очень низким облаком, близким к поверхности Земли. Он, как и облака, состоит из миллионов маленьких капелек аэрозоля или кристалликов льда. Образуется, когда холодный воздух у поверхности Земли конденсирует водяной пар внутри себя. Эти капли достаточно легкие, чтобы висеть в воздухе.

Смог же является смертоносной смесью дыма и тумана. Туман содержит маленькие капельки и эти капельки способны часами оставаться в воздухе во взвешенном состоянии. Смог — это интенсивная форма загрязнения воздуха, состоящая из различных вредных токсичных газов, таких как диоксид серы, сажа и бензол. Дым, который в противном случае висел бы выше в небе, и частицы пыли, которые упали бы на землю, остаются взвешенными в воздухе, поскольку они смешиваются с туманом и вызывают фотохимическую реакцию.

Частицы пыли и дыма прилипают к каплям воды, делая туман более мутным, а вдыхание смога в течение длительного периода времени может вызвать различные трудности, в том числе проблемы с легкими. Из-за отсутствия видимости на расстоянии менее 500 метров многие дорожно-транспортные происшествия могут происходить в толстом слое смога.

При вдыхании тумана не чувствуется дискомфорт, а при вдыхании смога, можно почувствовать запах гари и различные неудобства. Люди могут испытывать раздражение глаз, горла и дыхательных путей. Смог,

представляющий собой смесь нескольких вредных газов, висящих в воздухе, при вдыхании может иметь серьезные долгосрочные последствия. Это включает легочную инфекцию, астму, бронхит, пневмонию и многое другое. Если у вас уже есть проблемы со здоровьем, длительное воздействие смога может усугубить их [6].

ГЛАВА 2. СМОГ В ПЕКИНЕ

Китайская Народная Республика очень хорошо известна не только своей численностью населения, но и высоким уровнем загрязнения воздуха. Экономический рост КНР за последние три десятилетия был самым быстрым среди больших стран, что является основным фактором, объясняющим сильное загрязнение воздуха. Из двадцати городов с самым грязным воздухом в мире шестнадцать расположены в Китае, одним из них является столица - Пекин.

2.1. Источники загрязнения в Пекине

Сильнейшие загрязнения воздуха в Пекине можно объяснить рядом причин: огромным экономическим скачком, увеличением количества моторизованных транспортных средств, численностью населения, выпуском продукции. Кроме того, есть и естественные причины, такие как топография города и сезонная погода.

За достаточно короткий срок, Китай также пережил значительный экономический рост с резким увеличением валового внутреннего продукта (ВВП). Это повлияло на материальную жизнь населения, поэтому люди смогли позволить себе автомобили. Количество автомобилей на дорогах Пекина увеличилось во много раз, каждый день добавлялось почти 1200 машин. Что привело к выбросам вредных веществ от автотранспорта и составило почти 70% загрязнения воздуха в городе. Кроме того, население самого Пекина увеличилось с 11 миллионов до 16 миллионов всего за 7 лет и удвоилось за последнее столетие.

Огромный вклад в формирование смога вносят угольные предприятия, присутствующие в Пекине. Они используют устаревшие и неэффективные технологии. Китай лидер в мире по потреблению электричества, получаемого в

процессе сжигания угля. Сами заводы расположены на окраине Пекина и близлежащих городов Харбин и Хэбэй.

Кроме того, Пекин страдает от своей топографии, потому что окружен горами Сишань и Яншань (рисунок 2.1.1), поэтому, когда давление поднимается, в городе не происходит движение воздушных масс, так как они не способны преодолеть горные хребты. Воздух в Пекине застаивается и с каждым днем становится все более грязным и опасным для здоровья. Как правило, качество воздуха ухудшается весной и летом, когда повышается температура и уровень влажности, а ветры, способствующие образованию смога, переносят загрязняющие вещества из промышленных южных регионов.

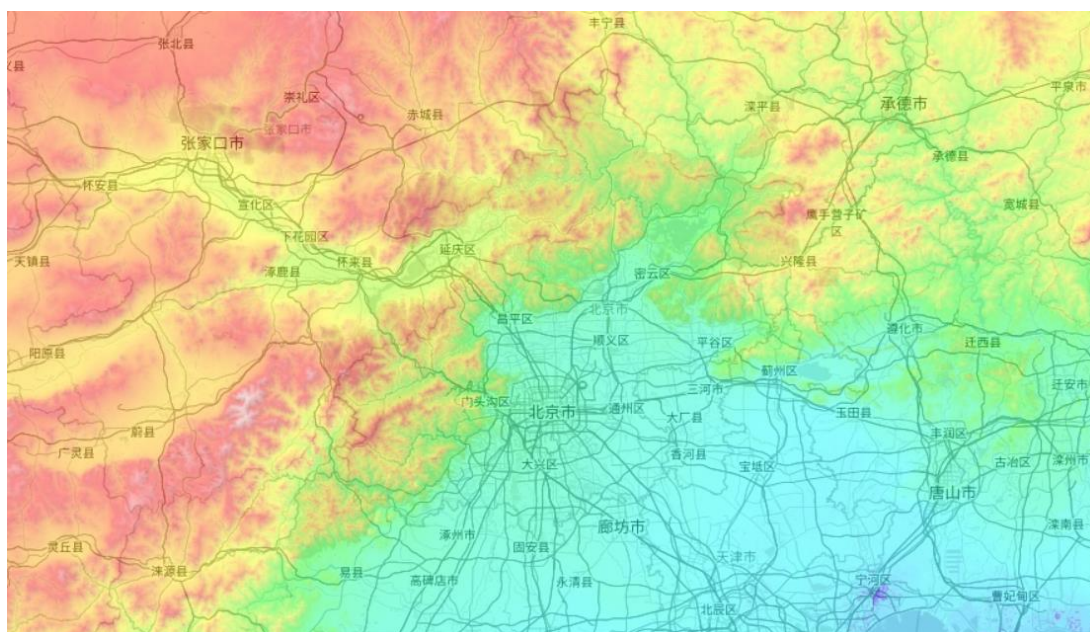


Рисунок 2.1.1 – Горы Сишань и Яншань, окружающие Пекин [<https://ru-ru.topographic-map.com/map-4xxf1h/%D0%9A%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%B9/>]

Существуют различные последствия загрязнения воздуха в Пекине. Кроме очевидных последствий для здоровья, высокие уровни вредных выбросов привели к сотням отмен рейсов и регулярному закрытию дорог из-за плохой видимости, желтому небу и запрету на прогулки для граждан. Загрязнение

воздуха настолько возросло, что привело к образованию густого смога, который регулярно покрывает весь город (рисунок 2.1.2)



Рисунок 2.1.2 – Пекин. Видимость с разницей в несколько часов [Photo by Bill Bishop, The Washington Post]

Загрязнение воздуха в Пекине привело к тому, что продолжительность жизни людей, проживающих в нем стала короче на пять-шесть лет по сравнению с гражданами, проживающими на юге Китая.

Смог в Пекине вызывает низкую рождаемость и высокую смертность взрослого населения от респираторных заболеваний. Уровень жителей, больных раком легких вырос более чем на 60% за последнее годы, хотя уровень курения остался тем же.

2.2. Меры борьбы со смогом, принятые в Китае

За последние 15 лет Китай постоянно улучшал качество воздуха. За десять лет, в период с 2005 по 2015 год удалось снизить уровень PM_{2.5} на 47%.

Основная и главная причина снижения уровня загрязнения воздуха в Китае - переход с угля на природный газ на электростанциях, остановка некоторого угольного производства, большое количество электромобилей, используемых населением, и усилия китайского правительства по прекращению вырубки лесов в стране.

Летние Олимпийские игры 2008 года в Пекине стали основной точкой отсчета многих новых мер по борьбе с загрязнением воздуха. Чрезвычайные меры принимались в зависимости от уровня угрозы, но самым важным фактором в сдерживании загрязнения воздуха является введение новых законов и реформирование старых законов.

Олимпийские игры сыграли решающую роль в повышении осведомленности о реформе природоохранного законодательства. Очень много фабрик и различных производственных предприятий были закрыты на время игр, а на миллионы транспортных средств были наложены ограничения на вождение. Пускай это была всего лишь временная мера для Олимпиады, но власти потратили более 12 миллиардов долларов на улучшение состояния окружающей среды. Произошел перевод угольных печей на природный газ, а также произвели перенос заводов в другие провинции Китая.

Местные власти Пекина осознали успех снижения интенсивности дорожного движения во время Олимпийских игр 2008 года. Самым популярным и известным способом снижения дорожного движения является запрет на въезд определенных транспортных средств в определенные районы в определенные дни недели. Например, автомобили в пределах пятой кольцевой дороги не должны допускаться на дороги общего пользования в течение одного дня каждую неделю в соответствии с конечным номером на их номерном знаке: с понедельника по пятницу автомобили с конечными номерами 1 или 6, 2 или 7, 3 или 8, 4 или 9, 5 или 0 соответственно не будут выезжать на дороги общего пользования. Данные правила ограничивались временем, запрещенным был период с 07:00 до 20:00.

В 2013 году был принят план действий в чрезвычайных ситуациях, связанных с тяжелым загрязнением воздуха. Этот план состоял из четырех уровней предупреждения, основанных на разных уровнях загрязнения воздуха. В зависимости от уровня предупреждения выполнялись различные действия, в том числе закрытие школ, удаление 80% государственных транспортных средств с дорог, разрешение на движение по дорогам определенных частных автомобилей в зависимости от номерных знаков и дня недели, запрет на движение грузовых и строительных транспортных средств дороги, используя тележки для полива и дождевальные машины, закрытие заводов, остановку строительных площадок и даже запрет на барбекю и фейерверки. Для наиболее эффективной борьбы с загрязнением воздуха потребовалась реформа государственных законов и поведения.

Активный ввод электромобилей. Эти автомобили не выделяют токсичных отходов, поэтому поощряются к использованию. Правительство Китая даже стимулировало тех, кто покупает и использует электромобили. Мнение пользователей на счет таких автомобилей разделилось, популярным было мнение, что электромобили идеальны для использования в городе, но непригодными для длительных поездок за город. Опасения были вызваны отсутствием центров подзарядки или незнанием того, где они расположены. Существует приложение для телефона, оно могло бы помочь, но уверенности в том, что их можно использовать для длительных поездок не было.

В 2017 году окончательно Китай запретил строительство всех новых электростанций, работающих на угле, и начнет заменять существующие электростанции природным газом в качестве источника энергии. В некоторых районах Китая сократилось производство стали.

В настоящее время в Пекине на дорожный транспорт приходится около 86% угарного газа (CO), 25% общего углеводорода (THC), 57% оксида азота (NO) и 31% мелких твердых частиц (PM_{2,5}). Эти загрязняющие вещества угрожают здоровью населения, ухудшают качество воздуха и вносят значительный вклад в изменение климата. Одним из климатического

загрязнителя, имеющий ключевое значение, - это черный углерод фракция PM2.5, которая в основном образуется в результате неполного сгорания углеродного топлива.

Загрязнение воздуха в городах Китая будет существовать в течение длительного времени из-за постоянного быстрого роста городов и трудностей контроля. Правительственные учреждения разрабатывают все новые и новые стратегии, заимствуя идеи у городов, которые преуспели в этой сфере.

Однако Китай сталкивается со многими проблемами при реализации некоторых стратегий.

Во-первых, Китай все еще является активно развивающейся страной, и экономическое развитие является первоочередной задачей. Баланс между развитием и охраной окружающей среды для обеспечения устойчивого развития является крайне сложной задачей.

Во-вторых, доминирование угля в энергоснабжении не может быть полностью изменено. Кроме того, в целом эффективность производства очень низкая, поэтому для ее повышения необходимы большие инвестиции и достаточно длительное время. Поскольку меры по защите воздуха в городах были введены в Китае совсем недавно, существует много проблем в области надзора, управления, и контроля источников загрязнения, что препятствует осуществлению мер по борьбе с загрязнением.

В Китае с 1998 года поэтапно реализуются комплексные программы по борьбе с загрязнением воздуха. Благодаря постоянным усилиям по борьбе с загрязнением воздуха, интенсивность выбросов снижается год от года, а качество воздуха постепенно улучшается.

Возьмем в качестве примера угольные электростанции. Пекин с 2005 года проводит политику "перехода от угля к газу" и сократил сжигание угля почти на 11 миллионов тонн к 2017 году. Высокоэффективные терминальные очистные сооружения постоянно обновлялись, и в этот период были введены сверхнизкие стандарты выбросов.

В Китае уголь используется как главный энергоноситель. При сжигании угля в атмосферу выбрасывается 70 процентов копоти и 90 процентов двуокиси серы. В городах с высокой плотностью населения и большим количеством промышленных предприятий загрязнение атмосферы весьма серьезно, кое-где имели место случаи «кислотных дождей», причем наметилась тенденция их учащения. Меры, предпринятые китайским правительством против загрязнения атмосферы, включают внедрение технологии промывки угля и экологически чистых технологий сжигания угля, взимание сбора за выброс в атмосферу двуокиси серы и других вредных веществ. Как установили специалисты, выбрасываемые в атмосферу примеси, являющиеся причиной выпадения «кислых дождей», распространяются лишь на территории Китая, не выходя за его пределы. Ареал «кислых дождей» расположен главным образом в районах к югу от Янцзы и к востоку от Цинхай-Тибетского плато, а также в Сычуаньской низменности.

Как и в других развивающихся странах, в Китае среднедушевое потребление энергоносителей и среднедушевой показатель выброса в атмосферу двуокиси серы значительно ниже среднемирового уровня. Такое положение сохранится вплоть до конца текущего века. Китай, учитывая положения «Конвенции о климатических изменениях», не несет конкретного обязательства по уменьшению выброса в атмосферу двуокиси серы, тем не менее китайское правительство отнюдь не уходит от ответственности за поддержание нормального климата на Земном шаре. Оно предпринимает действенные меры для уменьшения выброса в атмосферу газов, рост концентрации которых приводит к «тепличному эффекту». Эти меры включают: проведение курса на экономию энергоносителей наряду с развитием энергетической промышленности, повышение коэффициента полезного использования топлива, активное урегулирование структуры энергобаланса, форсированное развитие гидроэнергетики, развитие в разумных пределах атомной энергетики, интенсификацию научных исследований в области использования новых

источников энергии — геотермальных, солнечных, ветровых, морских приливов и других.

2.3. AQI (Air quality index) – индекс качества воздуха

Индекс качества воздуха (AQI) используется государственными учреждениями для информирования населения о том, насколько загрязнен и опасен воздух в настоящее время или насколько загрязненным он, по прогнозам, станет.

Информация об AQI получается путем усреднения показаний датчиков качества воздуха, которые могут увеличиваться по разным причинам, например, транспорта, лесных пожаров. Проверяемые загрязняющие вещества включают твердые частицы, озон, диоксид азота, угарный газ, диоксид серы и другие.

В разных странах существуют свои собственные индексы качества воздуха, соответствующие различным национальным стандартам качества воздуха.

Для расчета AQI требуется концентрация загрязнителя воздуха за определенный период усреднения, полученная с помощью монитора воздуха или модели. Вместе взятые, концентрация и время представляют собой дозу загрязнителя воздуха. Последствия для здоровья, соответствующие данной дозе, устанавливаются эпидемиологическими исследованиями. Загрязнители воздуха различаются по силе воздействия, и функция, используемая для преобразования концентрации загрязнителя воздуха в AQI, зависит от загрязнителя. Значения индекса качества воздуха обычно группируются в диапазоны. Каждому диапазону присваивается дескриптор, цветовой код и стандартизированный совет по охране здоровья населения.

Как сказано ранее, AQI может повышаться из-за увеличения количества выбросов в атмосферу. Например, во время движения транспорта в час пик или

во время лесного пожара с подветренной стороны, или из-за недостаточного разбавления загрязнителей воздуха. Застойный воздух, часто вызванный антициклоном, температурной инверсией или низкой скоростью ветра, позволяет загрязнителям воздуха оставаться в локальной зоне, что приводит к высокой концентрации загрязнителей, химическим реакциям между загрязнителями воздуха и туманным условиям.

Большинство загрязнителей воздуха не имеют соответствующего AQI. Многие страны проводят мониторинг приземного озона, твердых частиц, диоксида серы, угарного газа и диоксида азота и рассчитывают индексы качества воздуха для этих загрязнителей

Загрязнение воздуха измеряется индексом качества воздуха (AQI), его пределы загрязнения от 0 до 500 и присваивает цвет различным числовым уровням, чтобы измерить, насколько опасно качество воздуха в любой день. Уровни 100 или ниже известны как «дни голубого неба», когда смог не так легко виден. Однако в настоящее время уровни достигают 755, по данным посольства США в Пекине, которое использует собственное устройство для считывания загрязнения. Это самый высокий уровень загрязнения воздуха с момента начала регистрации в 2008 году, и он был справедливо признан «вне индекса». Всемирная организация здравоохранения предполагает, что баллы, близкие к 500, содержат более чем в двадцать раз безопасный уровень твердых частиц в воздухе [7].

ГЛАВА 3

3.1 Формирование архива ежедневных данных по основным загрязнителям в Пекине.

В ходе выполнения работы был сформирован архив ежедневных данных по шести основным характеристикам, определяющим смог: AQI(PM2.5); AQI(PM10); O3; NO2; SO2; CO за 2015 - 2019 гг. А также посчитаны их средние значения за все месяцы. В качестве примера на рис.3.1.1 приведены фрагменты сформированных таблиц за май и декабрь 2017 г.

MAY	AQI(PM2.5)	AQI(PM10)	O3	NO2	SO2	CO	DEC	AQI(PM2.5)	AQI(PM10)	O3	NO2	SO2	CO
1	152	86	60	19	4	5	1	77	81	8	37	7	11
2	115	97	108	23	7	7	2	158	130	2	59	10	22
3	136	85	59	19	7	6	3	219	56	24	22	2	9
4	131	638	46	11	3	2	4	93	23	22	8	1	2
5	382	466	42	10	4	2	5	26	38	15	21	2	4
6	275	78	58	16	4	2	6	62	49	22	23	4	6
7	101	65	74	26	5	3	7	83	26	20	10	1	2
8	101	93	94	24	8	5	8	35	43	9	23	2	6
9	146	82	93	12	6	4	9	74	50	16	31	3	8
10	112	60	74	13	3	4	10	93	41	26	8	1	1
11	108	107	47	18	4	3	11	35	20	24	9	1	2
12	103	131	78	14	5	3	12	31	26	13	15	2	4
13	106	63	43	9	3	1	13	48	47	6	26	3	7
14	75	41	70	10	2	3	14	95	67	4	34	11	18
15	46	62	74	14	5	5	15	157	45	23	19	3	8
16	74	76	106	14	7	5	16	84	46	22	5	1	1
17	103	86	141	16	7	6	17	38	50	18	24	2	6
18	128	116	159	27	9	9	18	84	45	25	9	2	1
19	160	103	134	16	5	5	19	46	54	13	24	4	5
20	146	79	137	11	4	6	20	90	38	24	21	2	5
21	133	71	90	14	6	9	21	60	63	7	39	6	11
22	141	44	29	21	5	11	22	116	60	21	33	5	12
23	109	38	69	18	1	2	23	104	51	4	34	7	10
24	52	46	84	25	1	2	24	103	47	27	9	2	3
25	58	67	102	21	4	5	25	54	42	15	21	4	5
26	74	69	-	24	5	4	26	90	38	16	22	3	4
27	112	83	-	23	11	12	27	68	67	5	32	6	11
28	143	97	-	18	12	15	28	156	86	23	34	6	16
29	172	72	-	12	5	7	29	180	119	19	45	3	28
30	89	61	-	20	1	7	30	232	84	17	31	2	18
31	106	78	86	26	2	8	31	169	52	12	23	2	6
	125,45	107,74	82,96	17,55	5,00	5,42		95,48	54,32	16,19	24,23	3,55	8,13

Рисунок 3.1.1 – Фрагмент архива ежедневных данных AQI в Пекине

3.2 Статистический анализ данных

3.2.1 Анализ внутримесячной изменчивости показателей качества воздуха

В целях выявления дат с превышением норм качества воздуха (рис.3.2.1) в ходе выполнения работы были построены и проанализированы графики ежедневной изменчивости характеристик качества воздуха, по которым наблюдаются превышения норм в Пекине (PM 2,5; PM10).

Нормы (микрограммы на кубический метр)	
Хорошо	0-50
Удовлетворительно	51-100
Нездоровый для чувствительных групп	101-150
Нездоровый	151-200
Очень нездоровый	201-300
Опасный	300+

Рисунок 3.2.1.1 – Нормы качества воздуха

На рис. 3.2.1.2 в качестве примера приведены графики изменчивости показателей за 2017 г. Графики за оставшиеся годы приведены в приложениях А,В,С,Д.



Рисунок 3.2.1.2 – Внутримесячная изменчивость PM_{2,5} и PM₁₀ за 2017 год

Анализ рисунка показал, что ежедневно содержание мелких частиц (PM_{2,5}) в воздухе больше, чем крупных (PM₁₀). По графикам видно, что ход тонко и крупнодисперсных частиц практически совпадает. И те, и другие значения варьируются в пределах 100 микрограмм на кубический метр, что по таблице норм уже является «удовлетворительным», но все еще привычным для Китая.

Концентрация крупных частиц очень часто находятся в пределах от 50 до 150 микрограмм на кубический метр, но встречаются дни, когда их значение превышает нормы для «чувствительных групп населения», то есть 150 микрограмм на кубический метр. Самым заметным таким днем является 4 мая 2017 года, в этот день содержание PM₁₀ в воздухе достигало 638 микрограмм на кубический метр, что является критическим и крайне опасным уровнем для всего живого.

По графикам среднемесячной изменчивости 2017 года можно сделать вывод, что самые высокие значения как мелких, так и крупных частиц наблюдаются с конца декабря по середину февраля, то есть в зимний период. Это обуславливается географическим положением Пекина, небольшой скоростью ветра и отоплением углем, которое возрастает в зимний период.

3.2.2 Анализ внутригодовой изменчивости средних многолетних значений шести основным характеристикам, определяющих смог

В ходе выполнения работы были построены гистограммы средних многолетних значений по основным характеристикам, определяющих смог (рис.3.2.2.1). Гистограммы остальных лет приведены в приложениях Е, F,G,H.



Рисунок 3.2.2.1 – Гистограммы внутригодовой изменчивости средних многолетних значений по шести основным характеристикам, определяющим смог за 2017 год

Анализ рисунка показал, что концентрации пяти из шести характеристик, а именно - AQI(PM_{2.5}); AQI(PM₁₀); NO₂; SO₂; CO близки друг другу. Дни с самыми высокими загрязнениями наблюдались в январе и феврале, то есть в зимний отопительный период. Средние значения NO₂; SO₂; CO являются допустимыми для Пекина.

График средних значений озона (O₃) выбивается из общей картины, так как концентрации очень возрастают в летнее время, это объясняется слабым ветром, свойственным для антициклона, высокими температурами и ясной погодой на территории Китая.

Из рис. 3.2.1.2 и 3.2.2.1 можно сделать вывод, что самыми «грязными» сезонами являются зима и лето. Зима за счет минимальных скоростей ветра и интенсивного отопительного сезона, а лето за счет таких же незначительных скоростей ветра и высоких температур воздуха.

3.2.3 Анализ межгодовой изменчивости среднемесячных значений шести основных характеристик, определяющих смог

В ходе работы были построены гистограммы межгодовой изменчивости среднемесячных значений шести основных характеристик (рис.3.2.3.1), определяющих смог, чтобы отследить влияние мер борьбы с загрязнениями, принятых в Пекине.



Рисунок 3.2.3.1 - Межгодовая изменчивость среднемесячных значений шести основных характеристик, определяющих смог

Проанализировав данные гистограммы, можно сделать вывод, что среднее содержание AQI(PM2.5); AQI(PM10); NO₂; SO₂; CO в воздухе с каждым годом действительно становится меньше. Исключением является озон, содержание которого то уменьшается, то увеличивается. Природу такого явления можно предположительно объяснить тем, что концентрация озона зависит от интенсивной фотохимической генерации под действием солнечного облучения и наличия AQI(PM2.5); AQI(PM10); NO₂; SO₂; CO в воздухе.

3.3. Анализ метеоусловий при формировании смога

3.3.1. Формирование архива данных

В целях выявления метеоусловий, благоприятных для образования смога, был сформирован архив данных (рис.3.3.1.1). Архив сформирован на основе графиков внутримесячной изменчивости показателей PM_{2,5} и PM₁₀. Показатели загрязнителей, приведенные в таблице, превышают 150 микрограмм на

кубический метр, что является «нездоровым» уровнем. Кроме того, значения загрязнителей, указанные в архиве, являются максимальными за тот или иной месяц.

За выбранные дни в архив были внесены шесть метеовеличин и их значения: температура, давление, скорость и направление ветра, видимость, влажность. Архивы за оставшиеся годы приведены в приложениях J,K,L,M.

2017 год								
Дата	AQI(PM2.5)	AQI(PM10)	Температура	Давление (гПа)	Ветер (м/с)	Видимость (м)	Направление	Влажность
01.01		425	-2	1025	1	997	ЮВ	94
02.01	486		8	1026	2	9994	С	93
04.02		204	6	1017	2	2993	З	46
05.02	341		7	1022	3	3701	З	18
20.03	258		12,2	1022	2	3202	СВ	67
04.04	198		17,7	1014	3	3701	ЮВ	54
17.04		150	22,7	1000	6	6002	ЮЗ	27
04.05		638	22,7	1014	5	2993	З	23
05.05	382		20	1016	6	9994	СЗ	14
18.06	155		33	1002	3	9994	Ю	55
21.07	214		23	1009	2	9994	В	82
22.08	151		30	1008	1	4506	ЮВ	81
03.09	158		28	1012	3	9994	Ю	70
28.10	218		13,8	1026	6	9994	СЗ	23
07.11	196		18,8	1018	3	9994	З	37
30.12	232		5	1028	2	4506	СЗ	36

Рисунок 3.3.1.1 – Архив метеоусловий при смоге за 2017 год

3.3.2. Статистический анализ метеопараметров в дни с неблагоприятными условиями качества воздуха

В ходе выполнения работы были рассчитаны среднесезонные значения метеопараметров для дней с неблагоприятными условиями качества воздуха.

3.3.2.1. Температура

В ходе выполнения работы были рассчитаны среднесезонные значения температуры для дней с неблагоприятными условиями качества воздуха. На рис. 3.3.2.1.1 представлены гистограммы средних значений температуры по сезонам.

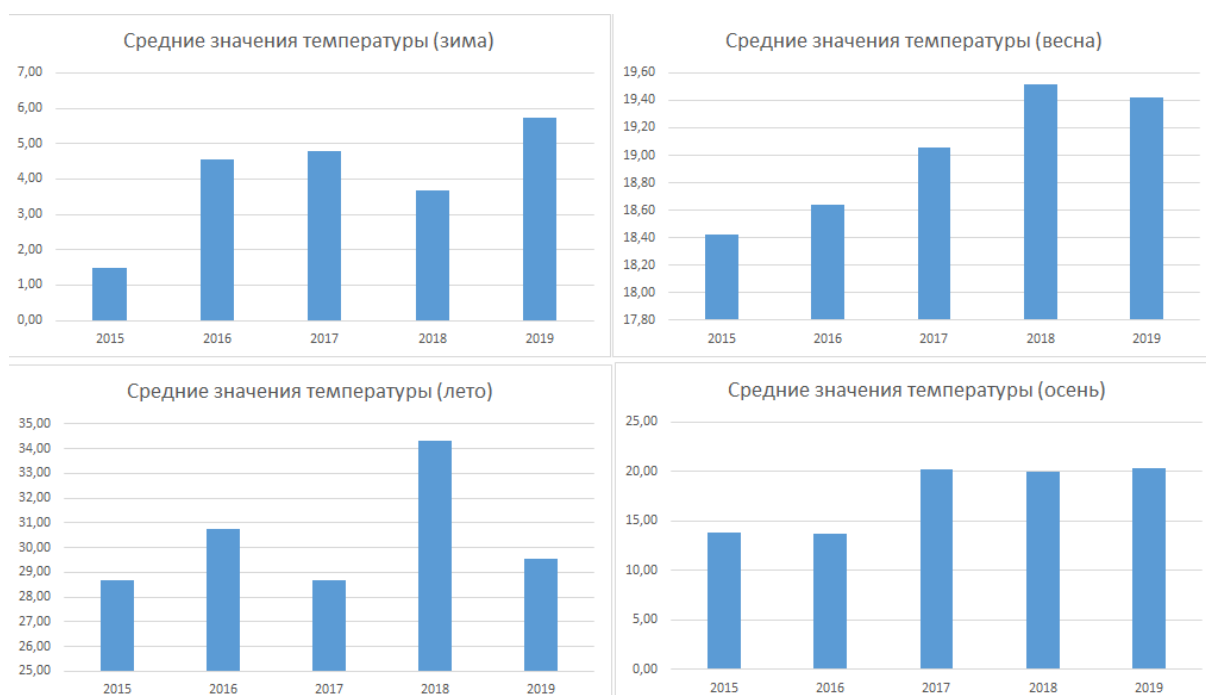


Рисунок 3.3.2.1.1 - Средние значения температуры по сезонам

Зима: по графику видно, что средние значения температуры в 2015 году были самыми маленькими, а значит температура была низкой. Самая теплая зима из рассматриваемых пяти лет была в 2019 году.

Весна: по графику средних значений температуры весной, можно сделать вывод, что с каждым годом температура воздуха увеличивалась. В 2018 и 2019 году среднее значение отличалось всего лишь на 0,1 градуса. Минимальная температура наблюдалась в 2015 году, максимальная в 2018.

Лето: средние летние показатели температуры воздуха чередовались: то уменьшались, то увеличивались каждый год. Минимальные средние значения были зафиксированы в 2017 году, а максимальные в 2018 году.

Осень: по графику за осенний период можно увидеть, что к 2017 году средняя температура увеличилась и сохранялась до 2019 года включительно.

Анализируя картину в целом, можно сделать вывод, что средняя годовая температура воздуха с 2015 года к 2019 увеличилась.

Кроме того, с помощью среднего квадратичного отклонения (СКО), можно посмотреть и проанализировать разброс средних значений температуры по сезонам (рис.3.3.2.1.2).



Рисунок 3.3.2.1.2 - СКО температуры по сезонам

Зима: в зимний период наибольший разброс температуры был в 2016 году, самый маленький разброс наблюдался в 2018 год.

Весна: наибольший разброс также наблюдался в 2016 году, наименьший в 2017.

Лето: летом (в отличии от зимы и весны) 2016 года наблюдался самый маленький разброс температур, большой – в 2019 году.

Осень: минимальный разброс температур наблюдался в 2017 году, максимальный – 2015 году.

3.3.2.2 Давление

В ходе выполнения работы были рассчитаны средние значения давления по сезонам. Графики межгодовой изменчивости этих показателей представлены на рис. 3.3.2.2.1.

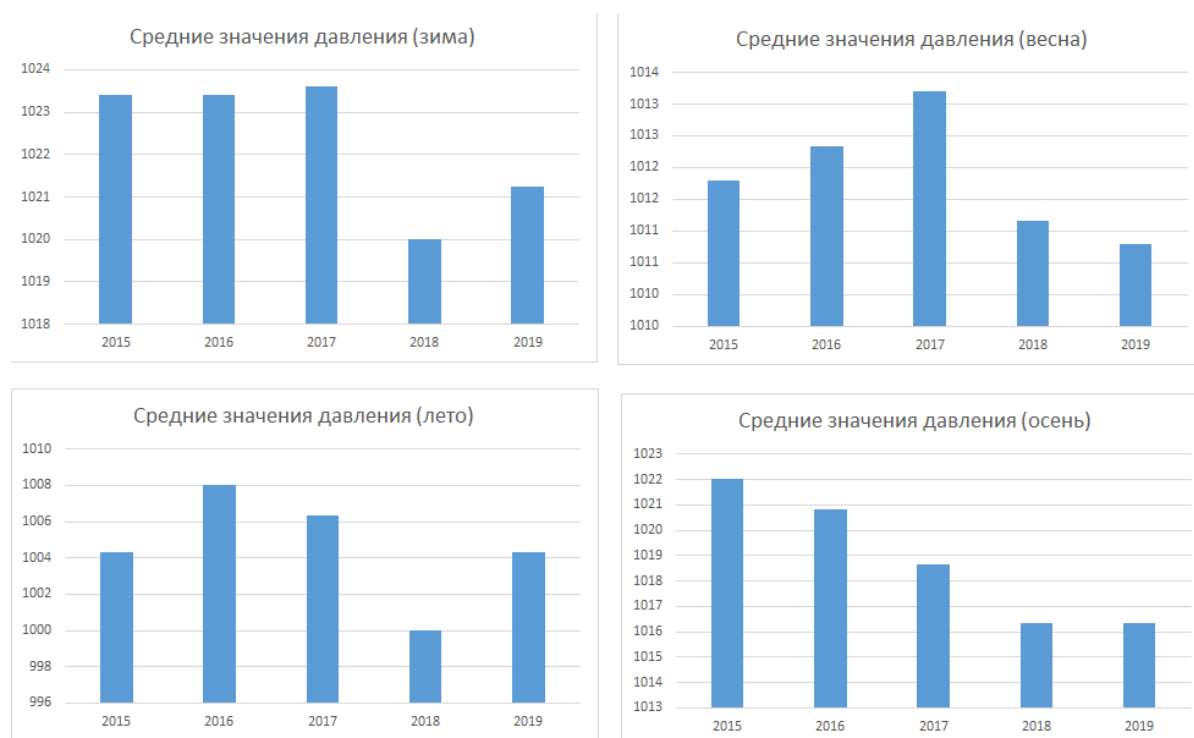


Рисунок 3.3.2.2.1 - Средние значения давления по сезонам

Зима: по графику видно, что средние значения 2018 года были самыми маленькими, а значит было низкое давление. Самое высокое давление было в 2017 году.

Весна: по графику средних значений давления весной, можно сказать, что с 2015 по 2017 год среднее давление увеличивалось, достигло своего максимума в 2017 году и пошло на спад в 2018 и в 2019 году наблюдался минимум.

Лето: средние летние показатели давления достигли минимума зафиксированы в 2018 году, а максимума в 2016 году.

Осень: по гистограмме за осень можно увидеть, как средние показатели давления уменьшались с 2015 по 2018 год, достигая минимума, а в 2019 году давление было почти на одном уровне с 2018 годом.

Анализируя картину в целом, можно сделать вывод, что наибольшее значение давления наблюдалось с 2015 по 2017 год, в 2018 и 2019 году среднее давление уменьшилось.

С помощью среднего квадратичного отклонения (СКО), можно посмотреть и проанализировать разброс средних значений давления по сезонам (рис.3.3.2.2.2).



Рисунок 3.3.2.2.2 - СКО давления по сезонам

Зима: минимальный разброс в 2017 году, максимальный в 2018 году.

Весна: минимальный разброс в 2019 году, максимальный в 2015 году.

Лето: минимальный разброс в 2015 году, максимальный в 2019 году.

Осень: минимальный разброс в 2019 году, максимальный в 2018 году.

Минимальный разброс давления наблюдался в весенний и осенний периоды 2017 года, а максимальный зимой и осенью 2018 года.

3.3.2.3 Скорость и направление ветра

В ходе выполнения работы были рассчитаны среднесезонные значения скорости ветра для дней с неблагоприятными условиями качества воздуха. На рис. 3.3.2.3.1 представлены гистограммы средних значений скорости ветра по сезонам.

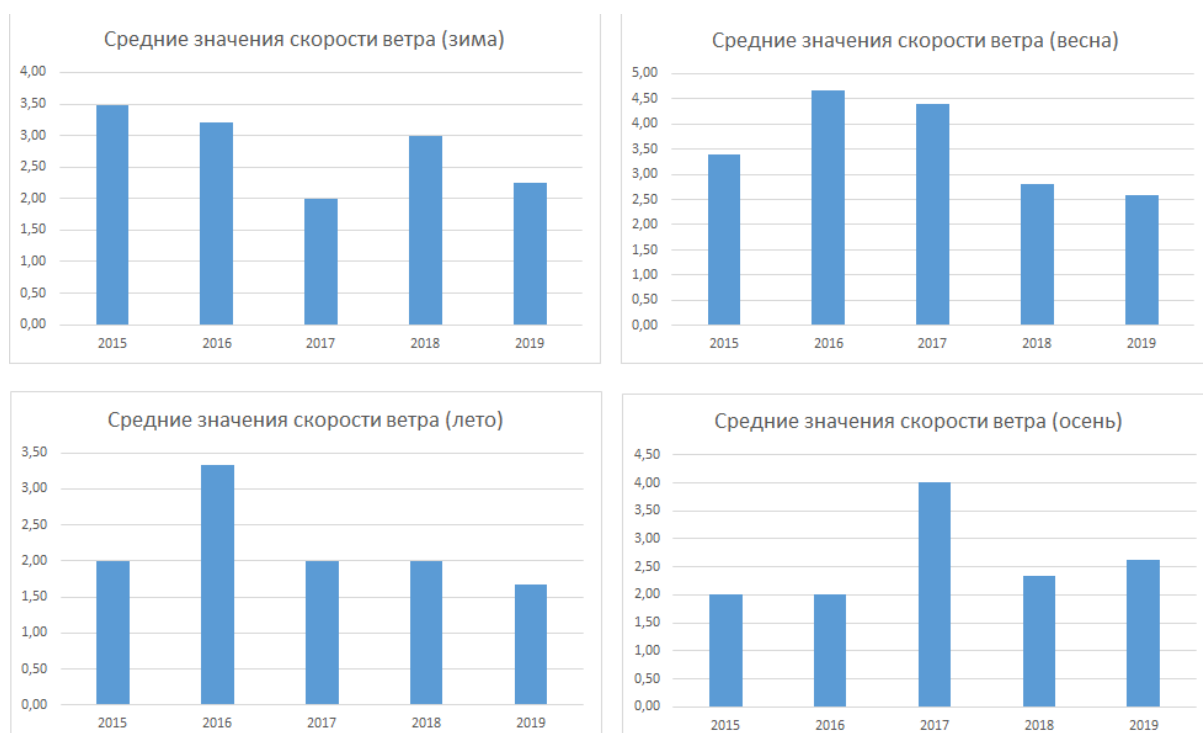


Рисунок 3.3.2.3.1 - Средние значения скорости ветра по сезонам

Зима: минимальные средние значения скорости ветра наблюдались в 2017 году, а максимальные в 2015 году.

Весна: минимальные в 2019 году, максимальные в 2016 году.

Лето: минимальные в 2019 году, максимальные в 2016 году.

Осень: минимальные в 2015 и 2016, максимальные в 2017 году.

Максимальные средние значения скорости ветра в летний и осенний периоды 2016 и 2017 годах очень выделяются на фоне остальных лет своего сезона.

С помощью среднего квадратичного отклонения (СКО), можно посмотреть и проанализировать разброс средних значений скорости ветра по сезонам (рис.3.3.2.3.2).



Рисунок 3.3.2.3.2 - Средние значения скорости ветра по сезонам

Зима: минимальный разброс в 2018 году, максимальный в 2015 году.

Весна: минимальный разброс в 2018 году, максимальный в 2017 году.

Лето: минимальный разброс в 2019 году, максимальный в 2016 году.

Осень: минимальный разброс в 2015 году, максимальный в 2017 году.

Минимальный разброс скорости ветра наблюдался в зимний и весенний периоды 2018 года, а максимальный весной и осенью 2017 года.

Разброс средних значений скорости ветра в Пекине чередуется посезонно в 2017 году.

В ходе работы также были построены розы ветров, чтобы определить преобладающие направления ветра в дни с высокой концентрацией загрязняющих веществ в Пекине.

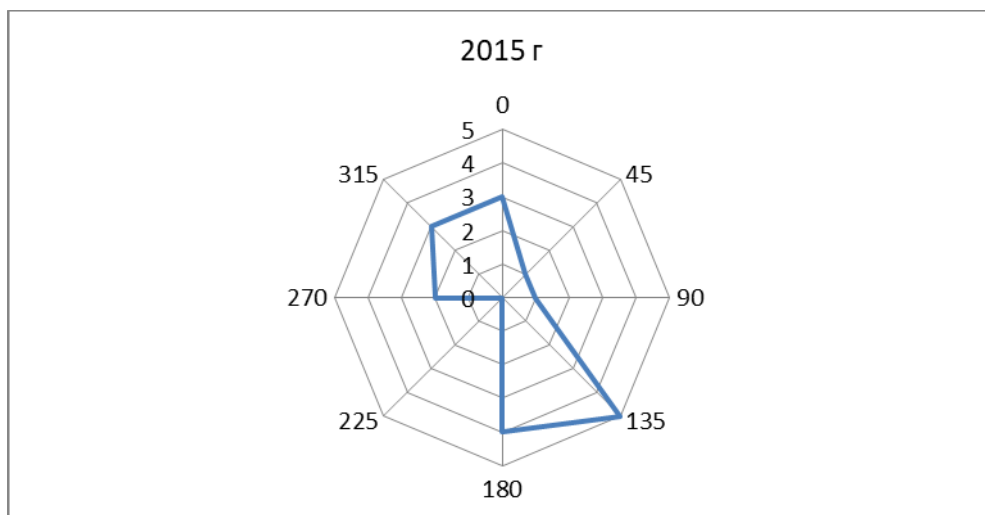


Рисунок 3.3.2.3.3 – Роза ветров в Пекине за 2015 год

На графике розы ветров за 2015 год, можно выделить два преобладающих направления ветра: Южное и Юго-Восточное.

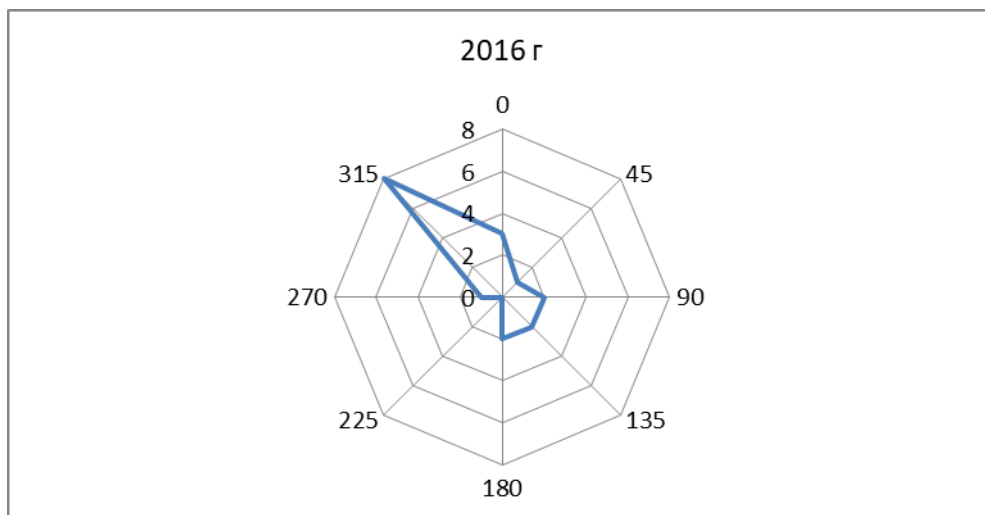


Рисунок 3.3.2.3.4 – Роза ветров в Пекине за 2016 год

На графике розы ветров за 2016 год, можно четко увидеть, что преобладает Северо-Западное направление ветра.

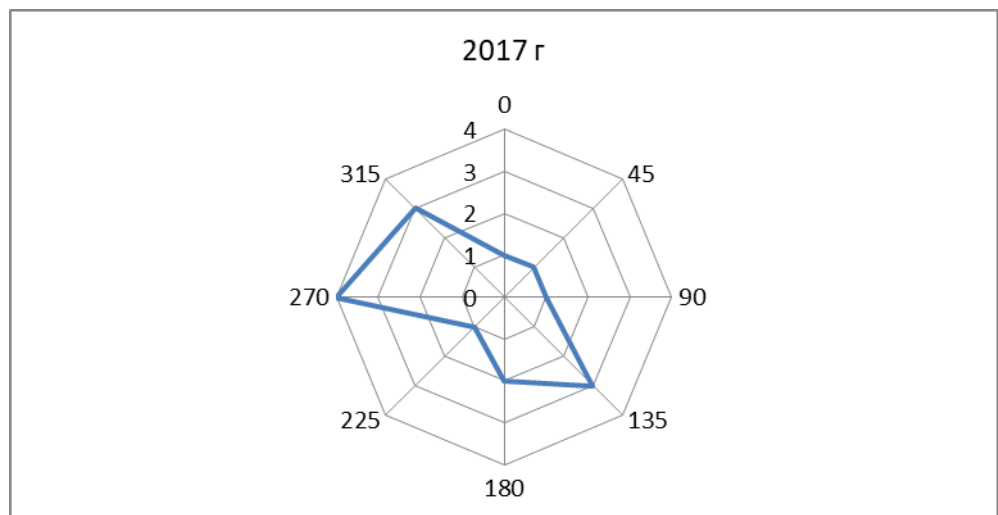


Рисунок 3.3.2.3.5 – Роза ветров в Пекине за 2017 год

На графике розы ветров за 2017 год, можно увидеть Юго-Восточное, Северо-Западное и Западное направления. Кроме того, достаточно и Южных ветров.

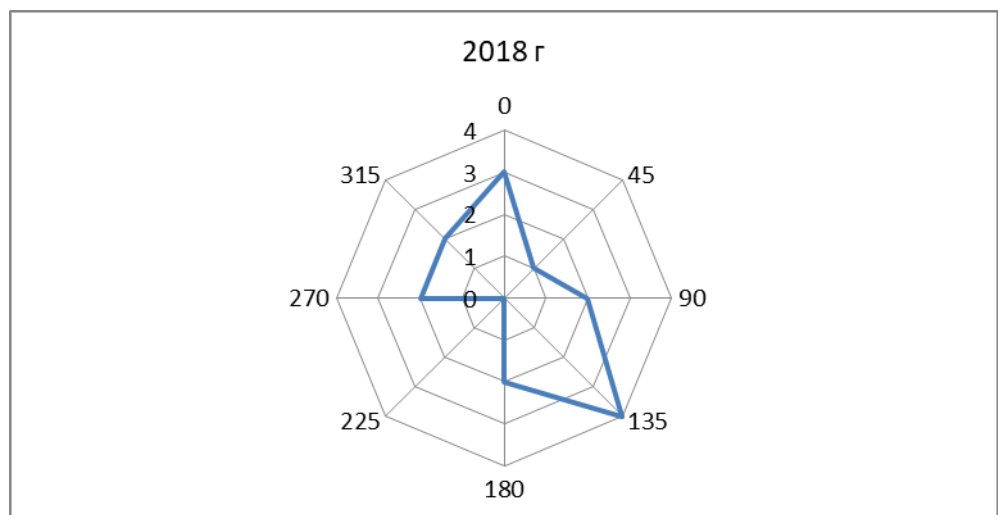


Рисунок 3.3.2.3.6 – Роза ветров в Пекине за 2018 год

На графике розы ветров за 2018 год, можно увидеть Юго-Восточное, Северное направления.

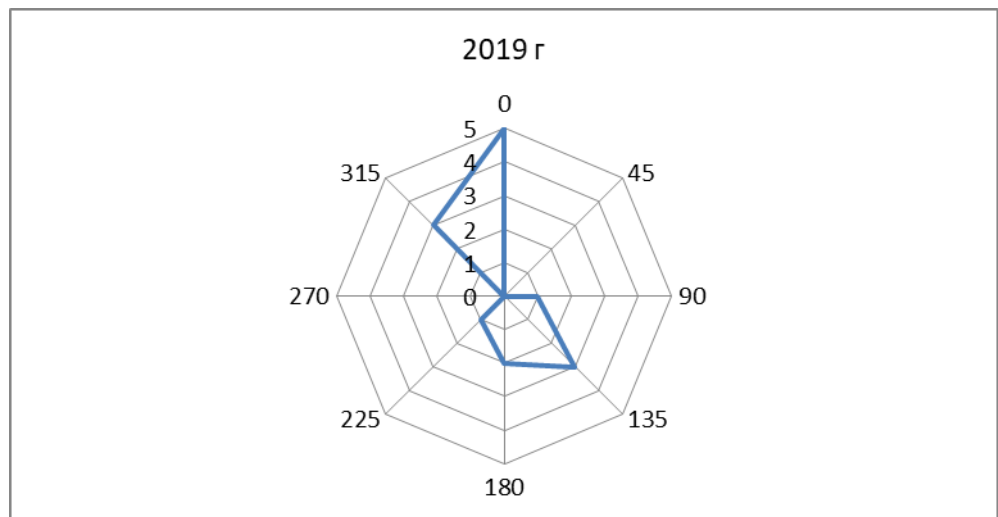


Рисунок 3.3.2.3.7 – Роза ветров в Пекине за 2019 год

На графике розы ветров за 2019 год, можно увидеть Северное и Северо-Западное направления, также есть и Юго-Восточные ветры.

Таким образом, после анализа графиков можно сказать, что в Пекине во времена смога преобладают Северные, Северо-Западные, Южные и Юго-Восточные ветры.

3.3.2.4 Влажность

В ходе выполнения работы были рассчитаны среднесезонные значения влажности для дней с неблагоприятными условиями качества воздуха. На рис. 3.3.2.4.1 представлены гистограммы средних значений влажности по сезонам.

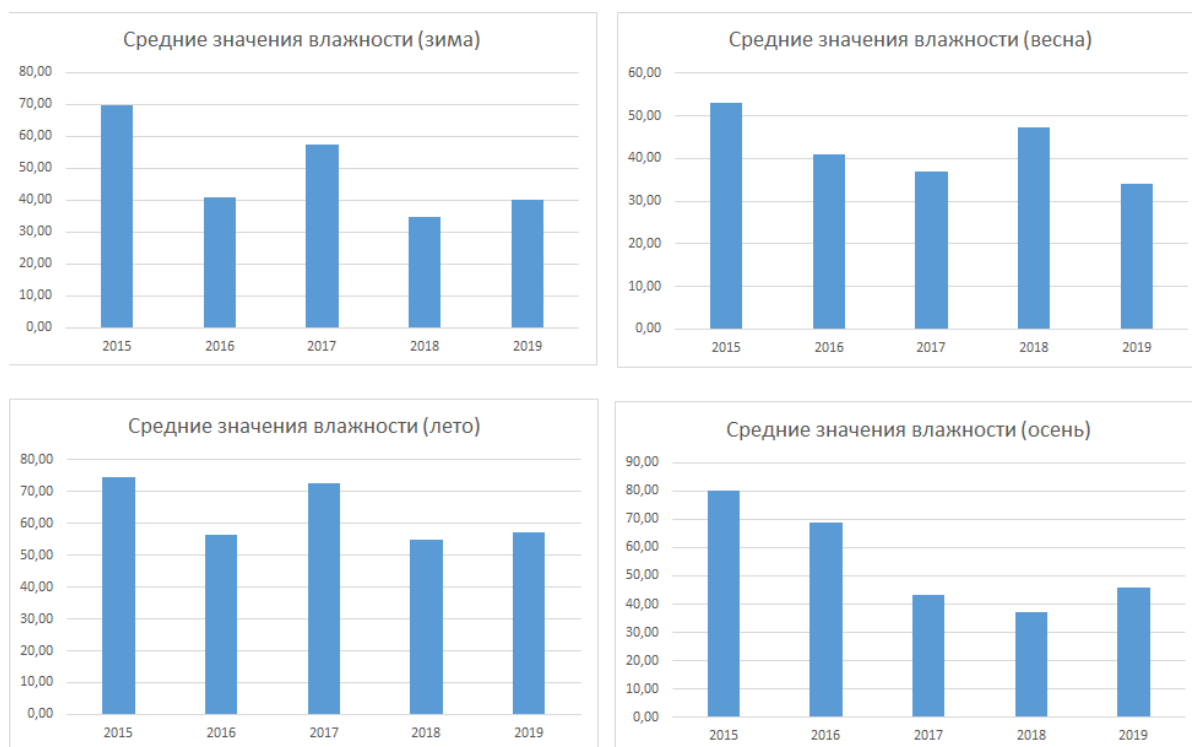


Рисунок 3.3.2.4.1 - Средние значения влажности по сезонам

Зима: минимальные средние значения влажности наблюдались в 2018 году, а максимальные в 2015 году.

Весна: минимальные в 2017 году, максимальные в 2015 году.

Лето: минимальные в 2016 году, максимальные в 2015 году.

Осень: минимальные в 2018 году, максимальные в 2015 году.

Максимальные средние значения влажности наблюдались в каждый сезон за 2015 год. Минимальные же значения влажности наблюдались в зимний и осенний периоды 2018 года.

Кроме того, с помощью среднего квадратичного отклонения (СКО), можно посмотреть и проанализировать разброс средних значений влажности по сезонам (рис.3.3.2.4.2).

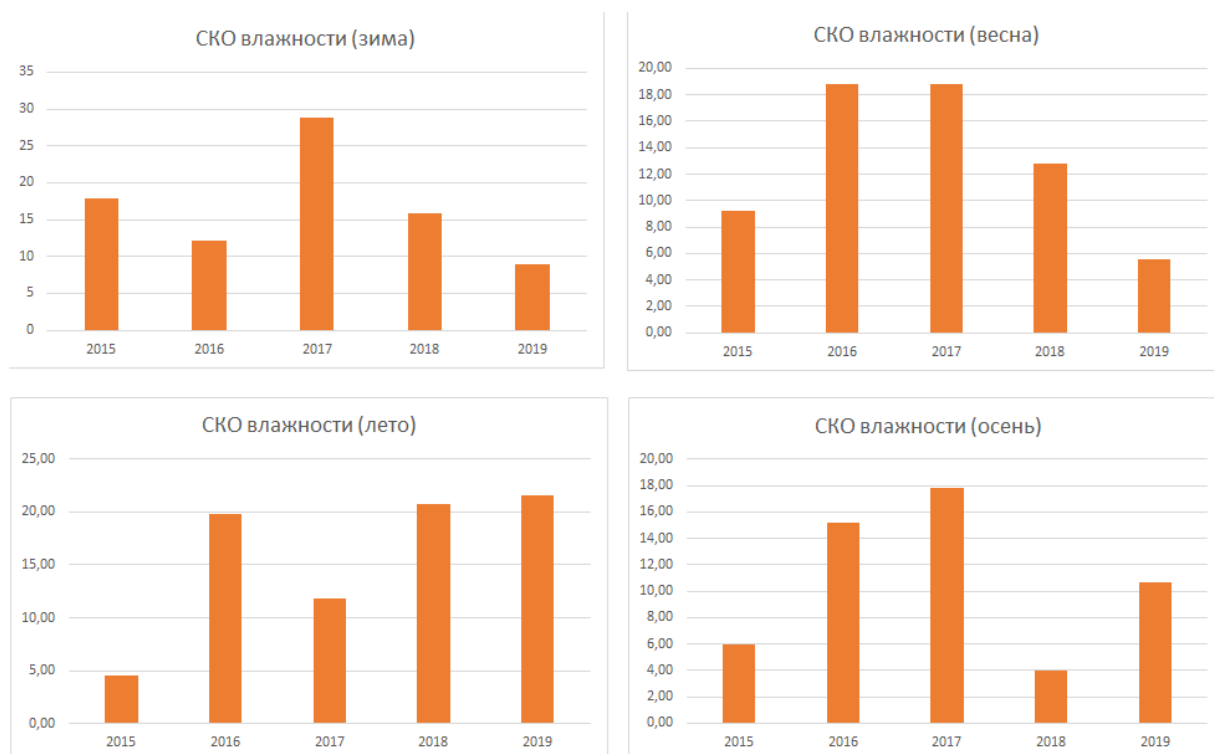


Рисунок 3.3.2.4.2 - Средние значения влажности по сезонам

Зима: минимальный разброс в 2019 году, максимальный в 2017 году.

Весна: минимальный разброс в 2019 году, максимальный в 2018 году.

Лето: минимальный разброс в 2015 году, максимальный в 2019 году.

Осень: минимальный разброс в 2018 году, максимальный в 2017 году.

Минимальный разброс влажности наблюдался в зимний и весенний периоды 2019 года, а максимальный зимой и осенью 2017 года.

3.4 Обработка снимков с использованием модели AshRGB, для дешифрирования смога в Пекине на спутниковых изображениях

На основании полученных данных были выявлены дни с максимальными значениями загрязнителей. В целях дистанционного выявления смога с высокими концентрациями крупных частиц в дни с их высокими показателями были получены спутниковые снимки MODIS/Aqua, Terra и применена модель цветового синтезирования Sevir Ash/Dust RGB, разработанная для выделения пыльных бурь и вулканических выбросов на спутниковых изображениях. Модель Sevir Ash/Dust RGB основана на использовании трех ИК-тепловых каналов:

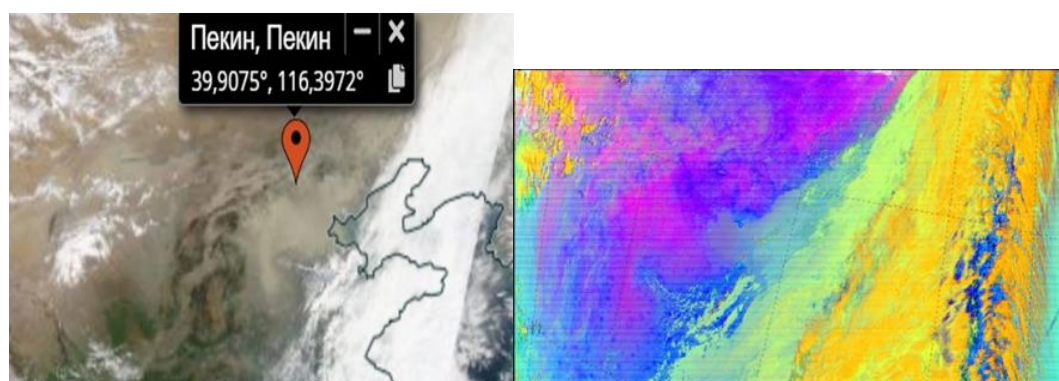
1. IR12.0–IR10.8 (кодируется красным цветом) помогает отличить пыль от ледяных и водяных облаков. Красный сигнал будет высоким для пыли, низким для тонких перистых облаков и средним для всех других типов облаков. Кроме того, это разностное изображение помогает идентифицировать тонкие (средние и высокие) облака и предоставляет визуальную информацию о границах низкого уровня влажности в безоблачных районах.

2. IR10,8–IR8,7 (кодируется зеленым цветом) помогает отличить пылевые облака от безоблачной поверхности пустыни. Также позволяет отличить ледяные облака от водяных.

3. Интенсивность синего сигнала (IR10.8) зависит от толщины и температуры пылевого облака (и от температуры подстилающей поверхности). Пурпурный цвет пылевых облаков над теплой землей является результатом большого вклада синего сигнала. Использование этого канала позволяет отличить густую воду от ледяных облаков по температуре их поверхности.

На рис.3.3.1 представлен фрагмент обработанного с использованием Ash/Dust RGB снимка Пекина от 04.05.2017. Анализ обработанного изображения показал целесообразность использования данного вида тематической обработки. На изображении смог в районе Пекина выделяется пурпурным цветом, в то время

как поверхность земли имеет синий цвет, что повышает возможность наблюдения за распространением облака смога.



В естественных цветах

Dust/Ash RGB

Рисунок 3.3.1 - Фрагмент снимка Смога в Пекине (04.05.2017 год)

Преимуществами спутниковой съемки для обнаружения смога являются: доступность данных днем и ночью, и возможность контроля за перемещением облака пыли с высоким временным разрешением.

Но у модели AshRGB есть недостатки, такие как: невозможность определить ни высоту, ни концентрацию пылевого облака в атмосфере; типичный для смога пурпурный цвет пыли в атмосфере не видно, когда облака закрывают землю; очень тонкие (низкой концентрации) пылевые облака не обнаруживаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного статистического анализа смога в Пекине были сделаны следующие выводы:

1. В Пекине есть три основные причины сильного загрязнения: активное потребление угля, географическое расположение Пекина, активное развитие экономики, как следствие высокий уровень жизни и активное использование автотранспорта. Все это приводит к формированию в воздухе шести основных загрязнителей: AQI(PM2.5); AQI(PM10); O₃; NO₂; SO₂; CO.
2. Высокие температуры воздуха, температурные инверсии, а также очень слабые ветры (преимущественно Северные, Северо-Западные, Южные, Юго-Восточные), не позволяют смогу рассеиваться. Вследствие чего он только сильнее скапливается на территории Пекина.
3. Китайский смог можно дешифровать на спутниковых изображениях, если этому не препятствует сильная облачность. Применение AshRGB улучшает распознавание смога на снимках.
4. Меры борьбы со смогом, принятые в Китае уже существенно повлияли на среднегодовые показатели. С 2015 по 2019 год уровень загрязнений заметно понизился.

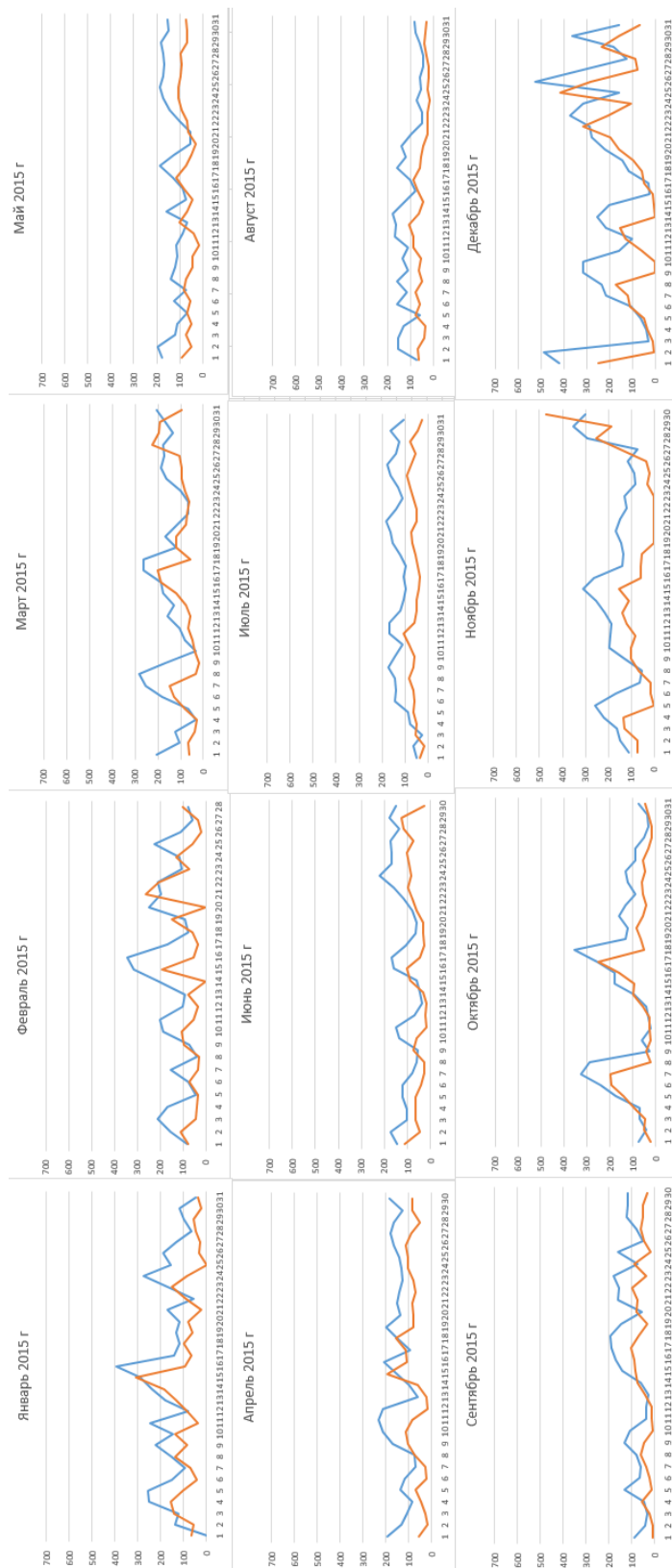
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. National Geographic Society - Dec 5, 1952 CE: Great Smog of 1952
2. Кристина Дульнева - Что такое смог: опасный состав, виды, последствия
3. АНДРЕЙ ШУЛЬДЕШОВ - Как Лос-Анджелес почти сто лет боролся со смогом
4. Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ) - Загрязнение атмосферного воздуха
5. National Geographic Society - Smog
6. Manasvi Kumar - Различия между FOG и SMOG
7. Air quality index - https://energyeducation.ca/encyclopedia/Air_quality_index
8. Архив погоды - <https://weatherarchive.ru/>
9. National Geographic Society - Pollution
10. YIHONG YAN - AIR POLLUTION IN CHINA
11. Yuanyuan Chen, Yang Bai, Hongtao Liu¹, Juha M. Alatalo & Bo Jiang - Temporal variations in ambient air quality indicators in Shanghai municipality, China
12. Kebin He, Hong Huo, and Qiang Zhang - URBAN AIR POLLUTION IN CHINA: Current Status, Characteristics, and Progress
13. Pucher, J., Peng, Z., Mittal, N., Zhu, Y., & Korattyswaroopam, N. (2007). Urban transport trends and policies in China and India: Impacts of rapid economic growth. Transport Reviews
14. Fedoseeva N.V., Lvov A.L. - PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS APPLIED TO SATELLITE IMAGERY FOR VOLCANIC PLUME DETECTION OVER KURIL AND KAMCHATKA REGION
15. World Air Quality Report 2021

16. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) , ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization
17. <https://aqicn.org/city/beijing/ru/>
18. The Weather Year Round Anywhere on Earth - <https://weatherspark.com/>
19. IQAir - <https://www.iqair.com/ru/china>
20. NASA Worldview - <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
21. LAADS DAAC - <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>

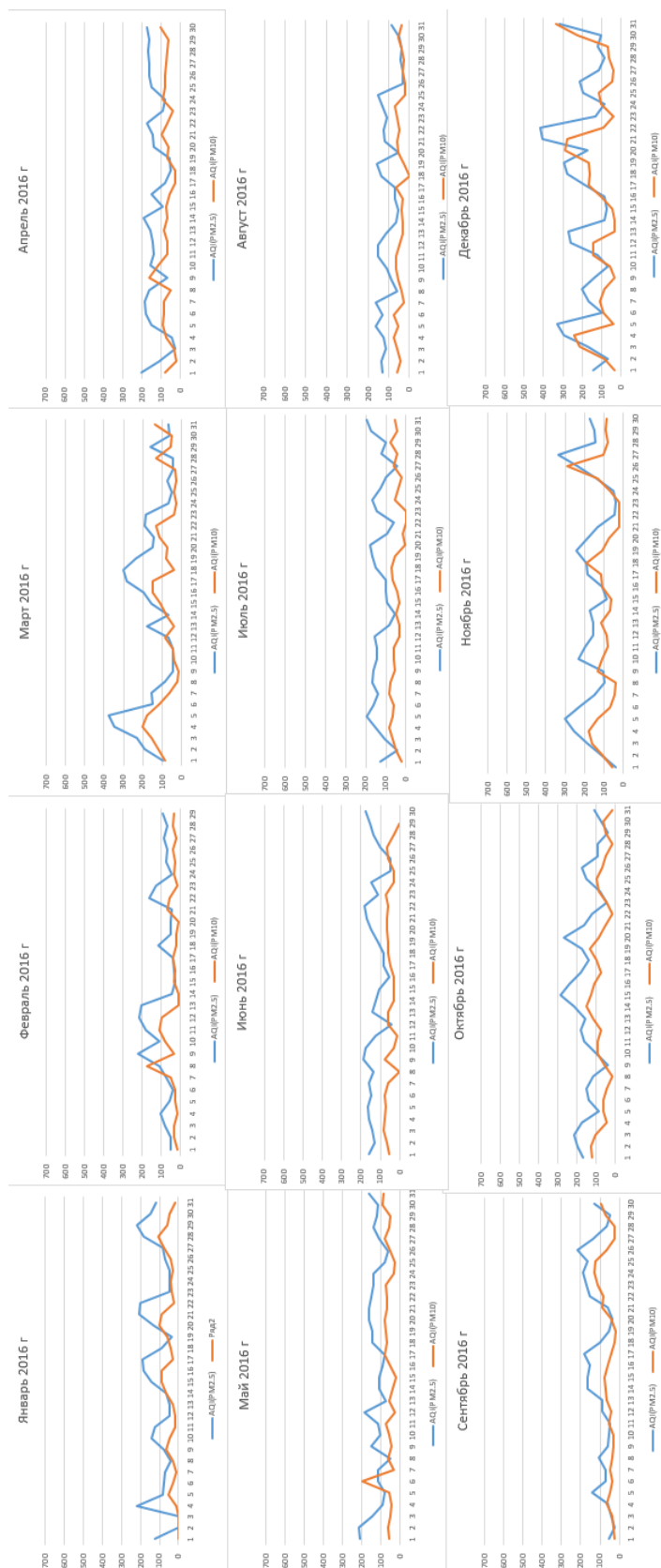
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А



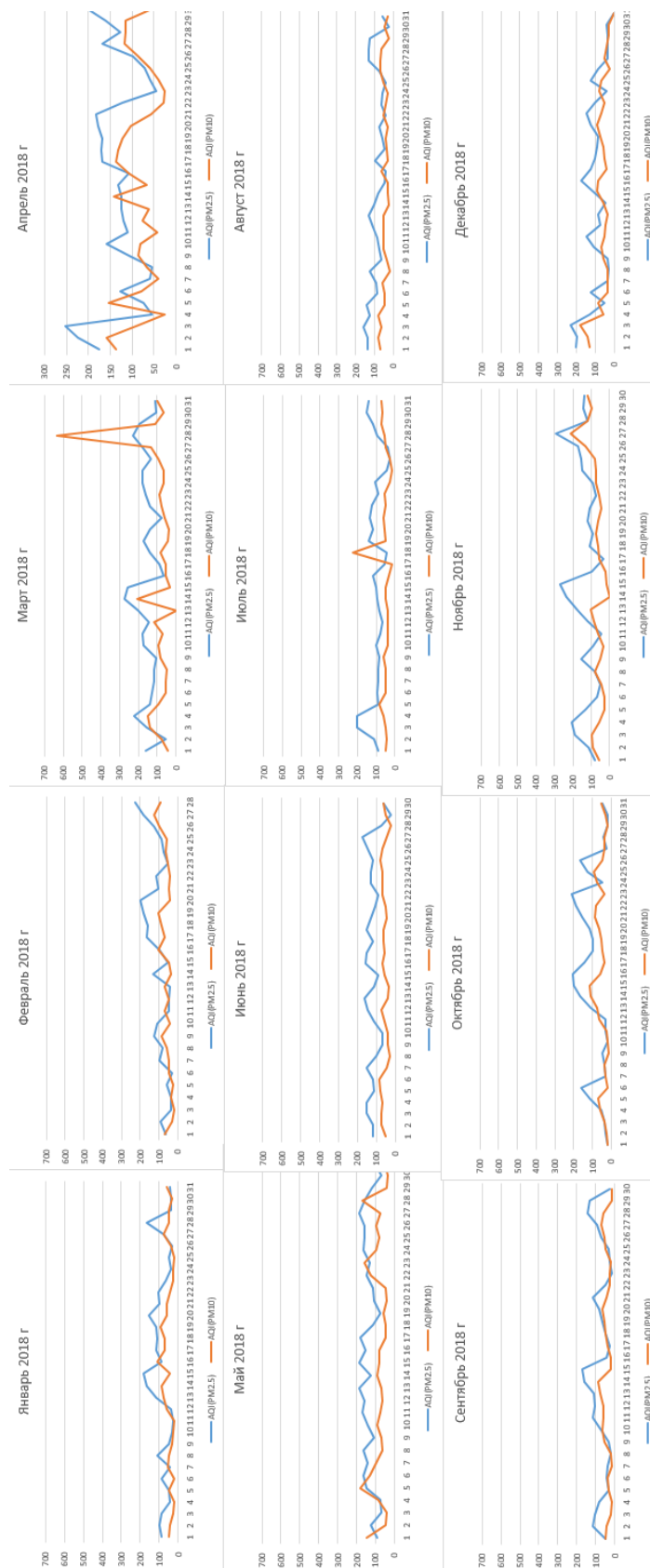
Внутримесячная изменчивость RM2,5 и RM10 за 2015 год

Приложение В



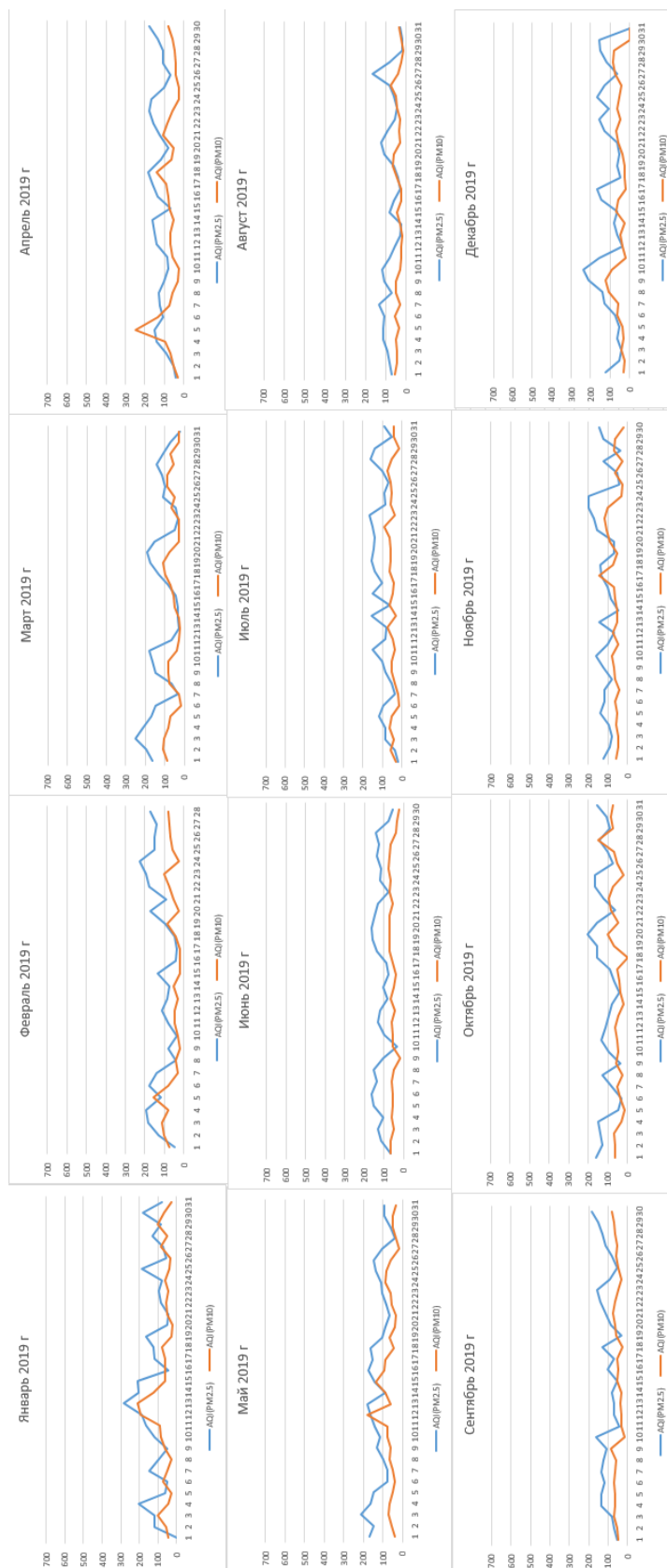
Внутримесячная изменчивость PM_{2,5} и PM₁₀ за 2016 год

Приложение С



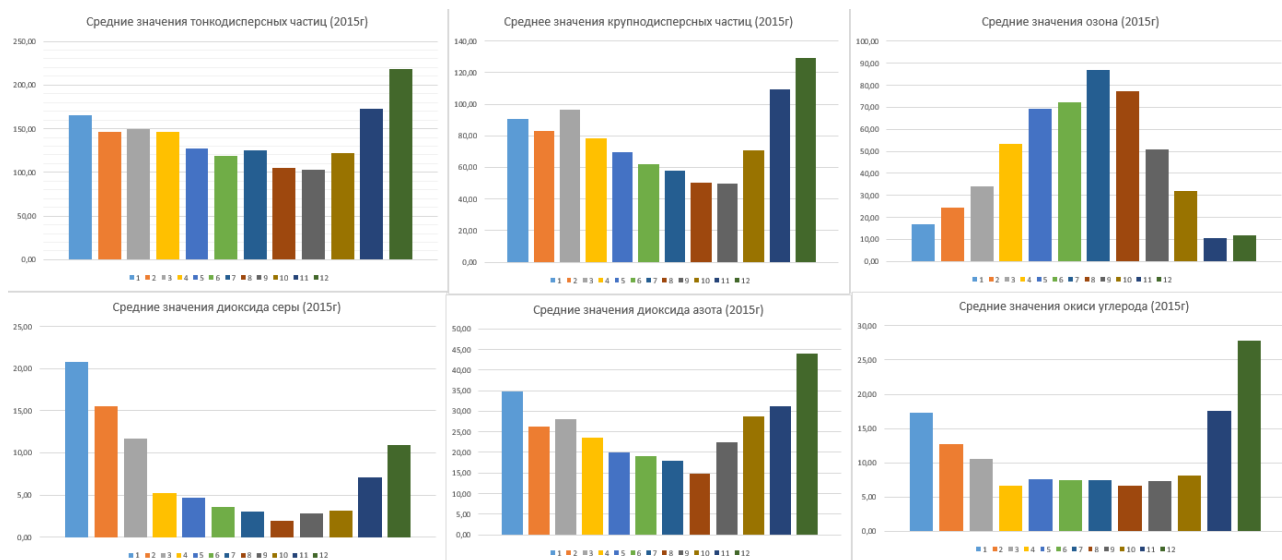
Внутримесячная изменчивость $PM_{2.5}$ и PM_{10} за 2018 год

Приложение D



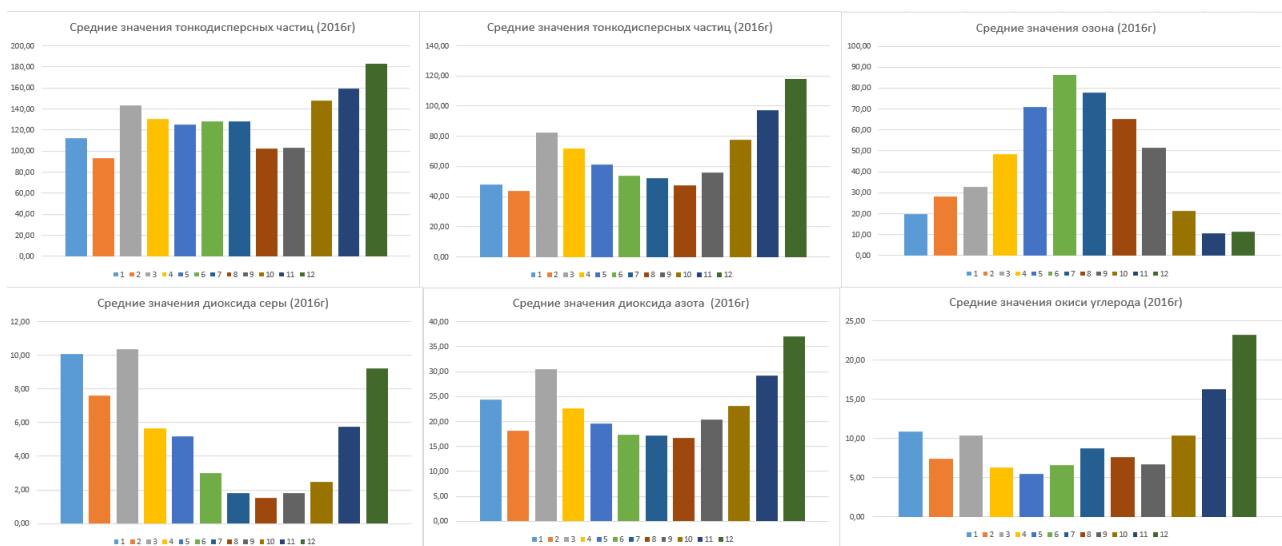
Внутримесячная изменчивость PM_{2,5} и PM₁₀ за 2019 год

Приложение Е



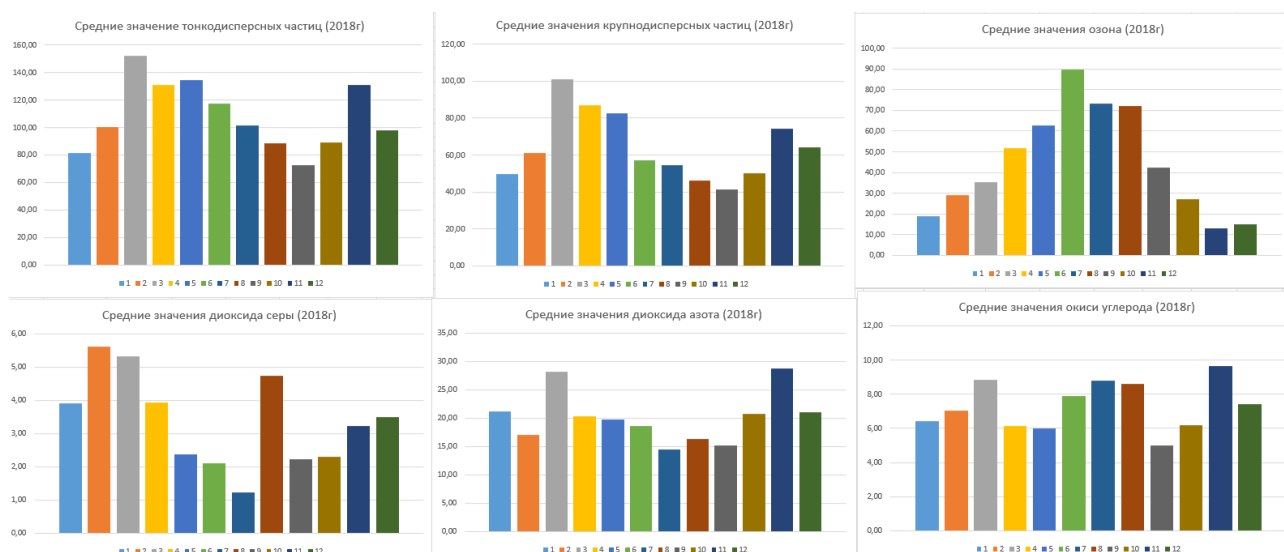
Гистограммы внутригодовой изменчивости средних многолетних значений по шести основным характеристикам, определяющим смог за 2015 год

Приложение F



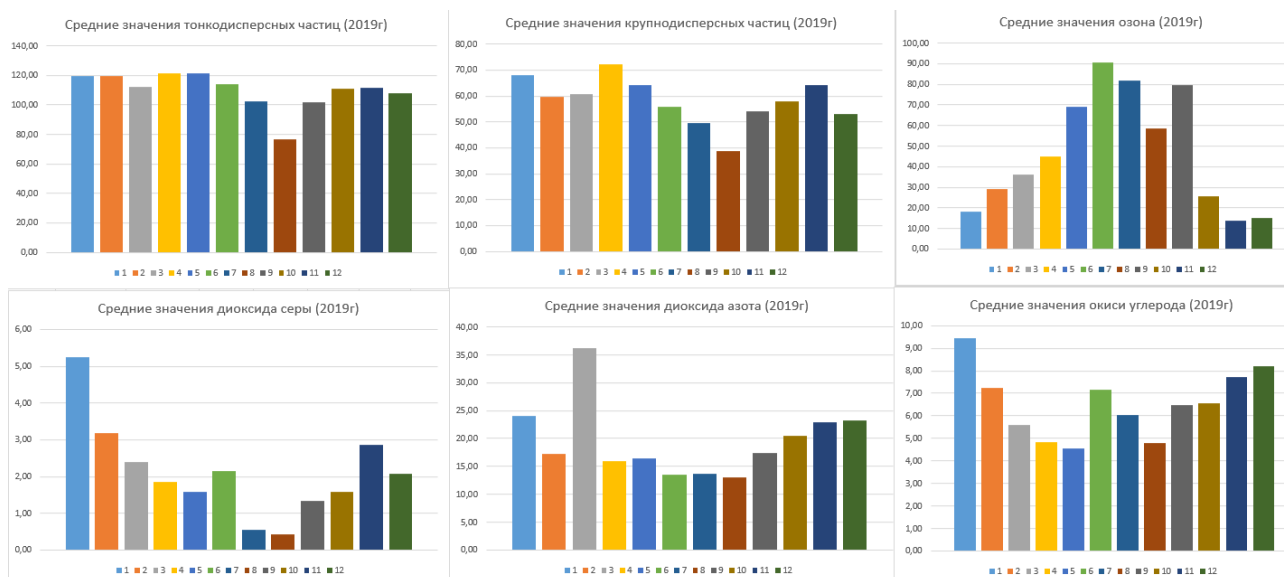
Гистограммы внутригодовой изменчивости средних многолетних значений по шести основным характеристикам, определяющим смог за 2016 год

Приложение Г



Гистограммы внутригодовой изменчивости средних многолетних значений по шести основным характеристикам, определяющим смог за 2018 год

Приложение Н



Гистограммы внутригодовой изменчивости средних многолетних значений по шести основным характеристикам, определяющим смог за 2019 год

Приложение J

2015 год								
Дата	AQI(PM2.5)	AQI(PM10)	Температура	Давление (гПа)	Ветер (м/с)	Видимость (м)	Направление	Влажность
15.01		307	-1,00	1029	1,9	998	ЮВ	73
16.01	396		2,7	1030	6	9994	СЗ	46
16.02	342		10	1016	4	9994	З	40
21.02		262	1,1	1013	4	1094	Ю	72
08.03	282		11,1	1022	4	7000	С	41
28.03		223	21,1	1011	5	3492	СЗ	42
11.04	231		17,2	1019	3	5005	ЮВ	69
15.04		195	20	997	2	5005	ЮВ	53
02.05	195		22,7	1010	3	9994	Ю	60
24.06	219		26,1	1006	2	3492	З	68
22.07	181		27,7	1004	1	7000	В	83
14.08	179		32,2	1003	3	9994	СЗ	72
18.09	194		29	1016	3	9994	С	75
17.10		250	20	1016	2	1802	СВ	73
18.10	354		17,7	1026	1	9994	Ю	83
29.11	352		2,7	1026	2	2993	С	77
30.11		472	0	1026	2	901	ЮВ	92
25.12		415	-2,7	1017	1	804	ЮВ	96
26.12	525		-1,1	1025	4	2204	Ю	92

Архив метеоусловий при смоге за 2015 год

Приложение K

2016 год								
Дата	AQI(PM2.5)	AQI(PM10)	Температура	Давление (гПа)	Ветер (м/с)	Видимость (м)	Направление	Влажность
04.01	221		0,6	1030	5	9994	СЗ	27
08.02		176	8,5	1014	5	9994	С	35
09.02	221		8,8	1023	2	9994	Ю	47
04.03		202	7,7	1017	2	1496	ЮВ	75
05.03	374		11,1	1019	6	9994	СЗ	18
01.04	203		21,1	1009	5	9994	СЗ	40
09.04		164	25	1009	5	9994	ЮВ	30
02.05	213		12,2	1010	6	9994	СЗ	63
06.05		199	23,8	1010	4	9994	СЗ	19
09.06	188		32,2	1005	6	4500	Ю	37
05.07	195		30	1010	3	9994	В	46
07.08	164		30	1009	1	9994	З	86
26.09	217		18,8	1013	1	5000	С	93
14.10		152	17	1020	2	1496	В	77
15.10	286		17,2	1023	1	1995	СВ	75
26.11		291	7,7	1019	2	2800	СЗ	59
27.11	332		7,7	1029	4	9994	С	41
22.12	418		3,8	1023	2	9994	СЗ	65
31.12		335	1,1	1027	2	5005	СЗ	30

Архив метеоусловий при смоге за 2016 год

Приложение L

2018 год								
Дата	AQI(PM2.5)	AQI(PM10)	Температура	Давление (гПа)	Ветер (м/с)	Видимость (м)	Направление	Влажность
15.01	183		1,1	1026	1	9897	ЮВ	53
28.02	227		2,7	1008	3	4506	Ю	40
14.03	274		14	1009	2,9	2993	ЮВ	62
28.03		632	22,2	1012	2	3202	Ю	33
02.04	159		18,8	1006	2,9	1496	В	35
03.04		252	10	1025	4	9897	СЗ	63
05.05		182	26,1	1010	3	7000	С	35
13.05	188		26	1005	2	9994	ЮВ	55
27.06	171		38	996	4	9897	СЗ	14
04.07	205		33	996	2	9897	ЮВ	54
18.07		226	29	1005	1	4500	С	86
03.08	160		37,2	1003	1	6000	В	65
15.09	169		31	1004	3	9897	З	43
23.10	211		18,8	1018	2	9994	З	36
27.11	295	210	10	1027	2	9897	С	32
03.12	233	181	7,2	1026	5	9994	СВ	11

Архив метеоусловий при смоге за 2018 год

Приложение М

2019 год								
Дата	AQI(PM2.5)	AQI(PM10)	Температура	Давление (гПа)	Ветер (м/с)	Видимость (м)	Направление	Влажность
13.01	282	210	5	1028	1	9994	С	46
05.02		157	2	1017	2	4828	ЮВ	52
24.02	229		11	1024	3	9994	С	23
03.03	250		11,1	1012	1	2993	ЮЗ	40
05.04		248	18,7	1010	3	4828	ЮВ	25
18.04	183		22,2	1015	3	9994	С	29
03.05	214		26,1	1007	3	9994	Ю	35
12.05		181	19	1010	2,9	1609	В	41
06.06	161		22,2	1010	1	4828	Ю	79
23.07	168		33,8	996	2	9994	С	68
27.08	165		32,7	1007	2	9656	С	25
30.09	182		27	1013	1,9	4828	ЮВ	55
20.10	201		22,2	1018	3	9656	СЗ	30
23.11	198		12	1018	3	1609	СЗ	53
10.12	237		5	1016	3	3218	СЗ	39

Архив метеоусловий при смоге за 2015 год