

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С.У.УМАРОВА**

На правах рукописи



УДК 551.510.42; 502.3; 551.510(575.3).

ШАРИПОВ Сафарали Раджабалиевич

**ИОННЫЙ И КАРБОНОВЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО
АЭРОЗОЛЯ Г.ДУШАНБЕ**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук,
Абдуллаев Сабур Фузайлович

Душанбе – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ	
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	15
1.1. Воздействие аэрозоля на экологическое состояние атмосферы.....	15
1.2. Ионные и карбоновые компоненты атмосферного аэрозоля.....	18
1.2.1. Ионные компоненты атмосферного аэрозоля.....	18
1.2.2. Карбоновые компоненты атмосферного аэрозоля.....	26
1.3. Основные методы исследования ионных и карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля.....	35
ГЛАВА II. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	39
2.1. Исследуемые объекты и методика их приготовления.....	39
2.2. Методика измерения и обработки результатов	45
2.2.1. Ионная хроматография.....	45
2.2.2. Метод математической статистики.....	46
ГЛАВА III. ИОННЫЙ И КАРБОНОВЫЙ СОСТАВ ПРОБ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ.....	48
3.1. Ионный (анионный и катионный) состав проб атмосферного аэрозоля.....	48
3.1.1. Анион хлора.....	48
3.1.2. Анионы нитрата и сульфата	50
3.1.3. Анион нитрита.....	53
3.1.4. Анион брома.....	55
3.1.5. Анион фтора.....	57
3.1.6. Анион фосфата.....	60
3.2. Катионная группа.....	62
3.2.1. Катионы натрия и магния.....	62
3.2.2. Катион аммония.....	65
3.2.3. Катион калия	67

3.2.4. Катион кальция.....	69
3.3. Исследование карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля г.Душанбе.....	71
3.4. Сравнительный анализ анионного состава атмосферного аэрозоля г.Душанбе	90
3.5. Сравнительный анализ катионного состава атмосферного аэрозоля г.Душанбе	95
3.6. Сравнение карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля г.Душанбе	99
3.7. Статистический анализ результатов.....	103
Заключение.....	107
Основные научные результаты диссертации.....	107
Рекомендации по практическому использованию результатов.....	108
СПИСОК литературы.....	109
Список использованных источников.....	109
Список публикаций соискателя ученой степени.....	132

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И (ИЛИ) УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

AA	Атмосферный аэрозоль
BM	Воздушные массы
CADEX	Центрально азиатский пылевой эксперимент(Central Asian Dust Experiment)
CVAO	Атмосферная обсерватория Кабо-Верде (Cape Verde Atmospheric Observatory)
POC	первичный органический углерод
SOC	вторичный органический углерод
РФА	Рентгено - флуоресцентный анализ
ТС	Общий карбон
OC	Органический карбон
OA	Органический аэрозоль
EC	Элементарный карбон
HYSPLIT	Гибридный одночастичный лагранжиан интегрированная траектория (Hybrid single-particle lagrangian Integrated trajectory)
NOAA	Национальное управление океанических и атмосферных исследований США
Mass	Массовая концентрация атмосферного аэрозоля
PM	Твердые частицы (Particulate Matter)
PM10	Частицы с размерами до 10 мкм
PM2.5	Частицы с размерами до 2.5 мкм
PPM	Единица измерения концентрации (Parts per million)
TSP	Общее количество частиц (Total Summ Particle)
IMPROVE	Межведомственный мониторинг защищенной визуальной среды (Interagency Monitoring of Protected Visual Environment)

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и необходимость проведения исследований по теме диссертации. Атмосферные аэрозоли (АА) играют ключевую роль во многих атмосферных процессах (облако- и осадкообразование, радиационный теплообмен и др.). Они оказывают существенное влияние на качество окружающей среды, климат, химию и физику атмосферы. Поэтому в последние годы внимание к изучению атмосферных аэрозолей неуклонно растет. Изучение ионного и карбонового компонента атмосферного аэрозоля является актуальной проблемой атмосферных исследований. Для понимания связи распределения по размерам частиц аэрозоля с содержанием ЕС и ОС важно изучение источников аэрозолей. Анализ вариаций ионного состава, ОС, ЕС, ОС/ЕС и SOC позволяет лучше понять источники, механизмы образования и методы контроля карбоновых аэрозолей в атмосфере, их влияние на ослабление света, на региональный и глобальный климат, и на здоровье человека [1-13].

Основными водорастворимыми компонентами атмосферного аэрозоля, являются анионы сульфатов (SO_4^{2-}), нитратов (NO_3^-), нитритов (NO_2^-), и брома (Br^-), фтора (F^-), фосфатов (PO_4^{3-}) и катионы (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). Карбоновые компоненты аэрозоля представлены ЕС, ОС и ТС.

1. Ионы:

-составляют 60–70 % общего количества взвешенных частиц (TSP) в атмосфере.

- способствуют образованию кислотных дождей.

Анионы SO_4^{2-} , NO_3^- и катион NH_4^+ являются вторичными ионами, которые могут повлиять на кислотность TSP и ускорить образование опасных твердых частиц в атмосфере.

-ионы (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- и SO_4^{2-}) атмосферного аэрозоля могут влиять на разложение растительных остатков за счет подкисления и засоления почвы, что приводит к снижению активности почвенных микроорганизмов (изопод).

-Пыль, содержащая ионы (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- и SO_4^{2-}), осевшая на растениях, ухудшает процесс фотосинтеза в растениях.

2. Кроме того аэрозольные ионы и карбонаты оказывают существенное влияние на радиационный баланс Земли:

-Увеличение концентрации элементарного углерода в атмосферном аэрозоле приводит к потеплению климата из-за нагрева атмосферы (особенно тропосферы), так как частицы элементарного углерода благодаря высокому коэффициенту поглощения, поглощают солнечный свет и нагреваются. Их нагрев приводит к нагреву атмосферы.

- Увеличение концентрации органического углерода вызывает охлаждение атмосферы, так как слабопоглощающие частицы органического углерода отражают солнечный свет и вызывают охлаждение атмосферы.

-Ионы, находящиеся в атмосферном аэрозоле в связанной форме (например, во фторированных и хлорсодержащих соединениях - фреоны) усиливают разрушение озонового слоя стратосферы.

Существует три типа аэрозолей, которые существенно влияют на климат Земли. Первый - это вулканический аэрозоль, который образуется в стратосфере после крупных извержений вулканов, таких как Пинатубо. Этот аэрозольный слой образован из газообразного диоксида серы, который превращается в капли серной кислоты в стратосфере в течение недели или нескольких месяцев после извержения.

Второй тип аэрозолей, которые могут оказать существенное влияние на климат, - это пыль пустынь. На снимках с метеорологических спутников часто видны пылевые завесы, струящиеся над Атлантическим океаном из пустынь Северной Африки. Осадки из этой пыли наблюдались в различных местах на американском континенте.

Третий тип аэрозолей возникает в результате деятельности человека. Большая часть антропогенных аэрозолей поступает в виде дыма от горящих лесов, и основной компонент - это сульфатные аэрозоли, образующиеся при сжигании угля и нефти. Концентрация антропогенных сульфатных аэрозолей

в атмосфере значительно выросла с начала промышленной революции. Считается, что при нынешнем уровне производства антропогенные сульфатные аэрозоли перевешивают сульфатные аэрозоли, производимые естественным путем. Концентрация аэрозолей наиболее высока в северном полушарии, где интенсивнее промышленная деятельность. Сульфатные аэрозоли не поглощают солнечный свет, но отражают его, тем самым уменьшая количество солнечного света, достигающего поверхности Земли. Считается, что сульфатные аэрозоли могут находиться в атмосфере около 3-5 дней [1-5].

Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основы исследований. Неизученным остается целый ряд вопросов, связанных с источниками образования и распространением пыли в полуаридной зоне.

Вторая половина XX века ознаменовалась не только бурным развитием наук об атмосфере, но и ростом внимания к возможным негативным последствиям глобального потепления, к прогнозированию атмосферных и климатических изменений. [13].

Атмосферный аэрозоль является сложной структурой, состоящей из различных химических элементов и их соединений. Компоненты органического аэрозоля (ОА) составляют большую, иногда даже доминирующую, фракцию частиц воздуха. Они влияют на физические и химические свойства аэрозольных частиц и, таким образом, влияют на атмосферу и климат путем взаимодействия с химически активными следовыми газами, водяным паром, облаками, осадками и солнечной радиацией. Они воздействуют на биосферу и здоровье человека при распространении репродуктивных материалов и микроорганизмов, воздействуют на дыхательные и сердечно-сосудистые функции, способствуя аллергическим и инфекционным заболеваниям. В настоящее время наши знания о составе ОА, физических и химических свойствах, источниках, характеристиках преобразования и удаления из атмосферы очень

ограничены, а оценки их фактического воздействия на окружающую среду весьма неполные. Таким образом, климатология и изучение источников частиц, их свойств и трансформации необходимы для количественной оценки, надежного прогнозирования и эффективного контроля воздействия природных и антропогенных аэрозолей на климат и здоровье людей [5].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследования. Цель настоящей работы заключается в исследовании содержания ионных и карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля размеров до 10 мкм (PM10) в полуаридной зоне Республики Таджикистан на примере г. Душанбе. Полученные данные дают возможность изучить миграционную способность аэрозольных частиц по изменениям их ионного и карбонового состава, а также оценить уровень загрязнения атмосферы и выявить источники аэрозолей.

Объектом исследования в данной работе являлись дисперсные системы - атмосферные аэрозоли.

Предметом исследования были пробы атмосферного аэрозоля, отобранные на территории полигона атмосферного мониторинга лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ (координаты: широта 38°33'33"; долгота 68°51'23"; высота 876 м над ур. моря) в г. Душанбе в период с 2015 по 2016 гг. Всего проанализирована 181 проба с размерами частиц до 10 мкм.

Задачи исследования:

1. Определить степень загрязнения территории г. Душанбе аэрозолями, содержащими ионные и карбоновые составляющие;
2. Исследовать временные (дневные, месячные и сезонные) вариации концентрации ионов и карбоновых составляющих атмосферных аэрозолей;
3. Исследовать возможности применения данных о содержании составляющих компонентов АА и траекторий движения воздушных масс для

выявления источников загрязнения атмосферы ионными и карбоновыми компонентами;

4. Исследовать содержание ионов и карбонов в атмосферном аэрозоле полуаридной зоны с применением методов статистического и корреляционного анализа.

Методы исследования. Сбор атмосферного аэрозоля с частицами размеров до 10 мкм (PM10) на поверхность кварцевых фильтров типа quartz fiber filters (МК 360, MUNKTELL) проводился высокообъемным пробоотборником DHA-80, DIGITEL в течение 72 часов (объем пробоотбора в период эксперимента CADEX составлял 1520м³). Используются методы ионной хроматографии и термографии. Общее количество проб атмосферного аэрозоля с частицами до 10 мкм – 181.

Отрасль исследования. Тема диссертационного исследования соответствует паспорту номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология агрометеорология, в частности пунктам 8, 12, 16 и 18.

Этапы исследования включали отбор и подготовку проб, анализ проб. Далее проводился корреляционный анализ измеренных концентраций ионов и карбонов для оценки их взаимосвязи в составе атмосферных аэрозолей полуаридной зоны Республики Таджикистана на примере г. Душанбе.

Основная информационная и экспериментальная база. Для исследования аэрозоля использовались эффективные экспериментальные установки: для анализа ионов - ионный хроматограф **Dionex ICS-3000**, а для анализа карбоновых компонентов – термограф **C-mat 5500** (Ströhlein, Germany) с недисперсионным инфракрасным датчиком (NDIR). Статистический анализ результатов измерений выполнялся в среде пакета прикладной статистики стандартных программ Excel. Для выявления возможных источников поступления загрязняющих веществ в атмосферу, в которой высока концентрация ионов и карбоновых компонентов, была

использована модель HYSPLIT для расчета обратных траекторий, переносящих загрязнения воздушных масс.

Достоверность диссертационных результатов. В работе использованы известные методики сбора и обработки исходных данных. Проведенные исследования содержания ионных и карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля частиц до 10 мкм в полуаридной зоне являются репрезентативными. Достоверность результатов подтверждена статистической обработкой данных с помощью стандартных программ. Экспериментальные результаты сопоставлены с данными, полученными другими исследователями.

Научная новизна исследования состоит в том, что впервые:

1. Создан банк данных по содержанию ионных и карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля с частицами до 10 мкм в г. Душанбе;

2. Изучены временные вариации содержания ионов и карбоновых компонентов в атмосферном аэрозоле за период 2015-2016 гг;

3. Исследовано содержание ОС, ЕС, ТС, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NO₂⁻, Br⁻, F⁻, PO₄³⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺ и Ca²⁺ в пробах аэрозоля в сравнении с другими регионами мира, дана оценка их временной вариации в составе АА. Выявлены источники загрязнений ионами и карбоновыми компонентами на территории полуаридной зоны, с учетом воздушного дальнего переноса аэрозоля;

4. Вычислены коэффициенты корреляции содержания ионов и карбоновых компонентов в пробах аэрозоля, проведен их статистический анализ.

Теоретическая ценность исследования.

Выявлены:

– закономерности изменения концентрации ионов и карбоновых компонентов в составе атмосферного аэрозоля, что позволило оценить их воздействие на окружающую среду;

- природные (пылевые вторжения) и антропогенные (транспорт, промышленность, бытовые выбросы и сельское хозяйство) факторы, определяющие содержание ионов и карбонов в г. Душанбе, а также миграцию ионов и карбоновых компонентов в атмосферном аэрозоле;
- значимая корреляция между концентрациями ОС, ТС, NH_4^+ , и Cl^- в пробах аэрозоля, указывающая на одинаковые источники загрязнения;
- значимая корреляция (0.82) между концентрациями катионов Mg^{2+} и Ca^{2+} в пробах АА, указывает, что соединения, в состав которых они входят, пути, источники и время поступления этих элементов подобны;
- взвешенные частицы воздушных масс вносят значительный вклад в загрязнение атмосферы города.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы при математическом моделировании переноса загрязнения воздушными потоками, для оценки загрязнения воздушной среды районов города Душанбе ионными и карбоновыми компонентами.

Практическая ценность исследования:

1. Результаты проведенных экспериментальных исследований предполагается использовать в качестве базы данных при дальнейшем изучении загрязнения АА ионами и карбоновыми компонентами;
2. Полученные результаты по фоновым концентрациям ионов и карбонов: ОС, ЕС, ТС, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , Br^- , F^- , PO_4^{3-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} в АА г. Душанбе могут служить критерием оценки степени загрязнения территории города указанными компонентами;
3. Результаты исследования могут быть использоваться в учебном процессе в ВУЗах для подготовки специалистов в области метеорологии и климатологии, экологии, физики и химии атмосферы.

Положения, выносимые на защиту:

1. По изменению содержания ионов и карбоновых компонентов в атмосферном аэрозоле за период 2015-2016 гг. установлено, что

максимальные концентрации этих загрязнителей наблюдаются преимущественно в зимнее время.

2. Сравнительный анализ содержания ионных и карбоновых компонентов в собранных пробах аэрозоля и их содержанием в атмосферах других регионов мира показал высокие концентрации фтора и кальция в городе Душанбе.

3. Выявлены возможные источники загрязнения воздуха ионами и карбонами за счёт воздушного дальнего переноса аэрозоля. С помощью метода обратных траекторий (HYSPLIT) установлено, что основные источники загрязнения в зимнее время находятся в Китае (пустыня Такла-Макан, Синьцзян) и Узбекистане (Аралкум, Бекабад).

4. Выявленными локальными источниками загрязнения г. Душанбе являются транспорт, цементный завод, ТЭЦ, отопительные системы ЖКХ, места сжигания отходов и листьев.

5. Методом статистического анализа обнаружено существование очень высокой корреляции между концентрациями ОС и ОМ, ОС и ТС, ТС и ОМ, ионов хлора и ОС, ОМ, ТС.

6. Установлено, что среднесезонные концентрации ОС в PM10 менялись в порядке зима > осень > лето > весна, в то время как концентрации ЕС варьировались в порядке осень > лето > зима > весна. Отношения ОС/ЕС составляли 9.79; 2.9; 2.83 и 2.41 зимой, осенью, летом и весной, соответственно, что указывает на обилие вторичных органических аэрозолей в г. Душанбе.

Личный вклад соискателя состоит: в подготовке материала, статистической обработке результатов анализа, и сопоставлении с литературными данными, участии в обсуждении и интерпретации результатов, в подготовке статей и тезисов докладов по материалам диссертации.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Основные положения и результаты диссертационной работы

доложены и обсуждены на семинарах ФТИ им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (г. Душанбе, 2019 - 2022 гг.), на Международных и Республиканских конференциях:

– *международных*: на IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии». ТНУ-2019; международной научной конференции «Гидроклиматические факторы использования водных ресурсов Центральной Азии» ХГУ - 2019; Международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования. Часть 2» ТТУ-2019; 10-ой научно-практической конференции «Ломоносовские чтения», посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне (1941-1945 гг.). (25-26 сентября 2020г.) Ч.І. Естественные науки, Филиал МГУ имени М.В.Ломоносова в г. Душанбе; VII Международной конференции «Современные проблемы физики», Душанбе: изд-во «Дониш», 2020; Международной научно-практической конференции на тему: «Электроэнергетика Таджикистана. Проблемы энергосбережения, энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии» Национальный исследовательский университет филиала «МЭИ» в г. Душанбе, 2021.

– *республиканских*: на республиканской научно-практической конференции на тему: «Актуальные вопросы естественных наук и технологий», посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук. Российско-таджикский (славянский) Университет естественнонаучный факультет, (Душанбе, 28 октября 2020 года); Республиканской научно-практической конференции на тему «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования», (г. Душанбе, 19 февраля 2020); Республиканской научно–теоретической конференции на тему «Основные средства развития и изучения естественных

точных и математических наук: проблемы и пути их решения». Таджикский аграрный Университет им. Ш. Шотемур - 2021;

Опубликование результатов диссертации. По результатам диссертационной работы опубликовано 31 научных работ, в том числе 9 статей в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с подразделами, заключения, списка использованной литературы и глоссария. Диссертационная работа изложена на 137 странице компьютерного текста, из них 16 таблиц, 65 рисунков и 206 библиографических ссылок.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Воздействие аэрозоля на экологическое состояние атмосферы.

Атмосферные аэрозоли являются одним из основных загрязнителей воздуха в тропосфере и обычно оказывают неблагоприятное влияние на гидрологический цикл, сельскохозяйственные культуры, растения и здоровье человека [1-13]. Они влияют на погоду и климат в конкретном регионе, хотя их роль ещё не понята должным образом. Аэрозоли напрямую и косвенно влияют на радиационный баланс Земли [1-13], рассеивая и поглощая солнечное излучение и охлаждая атмосферу (прямой процесс). Косвенный эффект определяется изменением микрофизических свойств облаков (размер капель, время жизни и высота облаков), поскольку аэрозоли служат ядрами конденсации для образования облаков. Атмосферные аэрозоли образуются в результате естественных и антропогенных процессов [8, 9]. Антропогенная деятельность включает сжигание ископаемого топлива и биомассы, добычу полезных ископаемых, изменение естественного землепользования и растительного покрова, изменения в промышленных и сельскохозяйственных методах [9]. Природные явления, такие как пыльные и песчаные бури, переносят частицы минеральной пыли на расстояние от ее источника и вносят свой вклад в содержание атмосферного аэрозоля. Однако вклад антропогенных аэрозолей в общее количество больше по сравнению с естественными аэрозолями. Накопление аэрозолей в северном полушарии в большей степени связано с преобладанием промышленных предприятий и развитым сельскохозяйственным производством. Антропогенные аэрозоли образуются, в основном, при сжигании ископаемого топлива [10]. Естественные аэрозоли образуются из выдуваемой ветром пыли или морской соли от прибойных волн. В воздухе содержатся различные типы взвешенных твердых частиц (аэрозоли), такие как сажа (черный углерод), органические вещества, морская пыль, морская соль и сульфаты, образующиеся из оксида серы и нитраты – из оксидов азота.

Атмосферные частицы представляют собой сложную смесь органических и неорганических веществ, взвешенных в атмосфере, как в жидкой, так и в твердой фазе, с размерами от нескольких нанометров в диаметре до 100 и более мкм. Они различаются по форме, химическому составу и оптическим свойствам. Размер частиц является одним из ключевых параметров, которые регулируют перенос и удаление частиц из воздуха, их осаждение в дыхательной системе и связаны с химическим составом и источниками [1-13]. Предполагается, что дополнительное отражение света, вызванное аэрозолями, оказывает влияние на климат, этот вклад сравним по величине с влиянием атмосферных газов.

Данные о том, сколько загрязнений на основе серы присутствуют в атмосфере, важны для эффективности борьбы с загрязнением диоксидом серы [1-14].

Озон из стратосферы переносится в нижние слои атмосферы, где он вступает в реакцию с воздухом, богатым загрязняющими веществами, образуя новые типы аэрозолей [15-17].

Частицы рассеивают и поглощают солнечную радиацию, участвуют в образовании облаков и осадков, конденсируясь в облаках и ледяных ядрах. Переносимые по воздуху частицы играют важную роль в распространении биологических организмов и патогенов (пыльца, бактерии, споры, вирусы и т. д.), которые вызывают или усиливают респираторные, сердечнососудистые, инфекционные и аллергические заболевания [18 - 20]. Недавние крупномасштабные полевые эксперименты в Юго-Восточной Азии (например, INDOEX) показали наличие широко распространенных аэрозольных слоев, включая сильно поглощающий материал (черный углерод) и минеральную пыль.

Растения гораздо более чувствительны к загрязнению воздуха, чем животные или человек, поэтому они часто используются как индикаторы уровня загрязнения [21-26]. Почва еще один важный индикатор загрязнения. Из воздуха в почву попадают различные виды загрязняющих веществ, в том

числе аэрозольные частицы. Как только компоненты аэрозолей попадают в почву, они попадают в пищевую цепочку, в конечном итоге затрагивая человека. Загрязнение воздуха аэрозолями вызывает загрязнение почвы, представляет угрозу для человека, животных и ухудшает качество воды. В целом, состав атмосферных аэрозолей, превышающий их контрольный уровень, имеет большое значение для окружающей среды [25-27].

Чакраборти обнаружил, что, хотя длинноволновый эффект аэрозолей в целом считался научным сообществом менее важным, климат более чувствителен к нему, чем к коротковолновому эффекту [28-33]. Это связано с отсутствием коротковолнового эффекта ночью, когда атмосфера более стабильна и, следовательно, более чувствительна к излучению. Это также результат высокой чувствительности климата в засушливых регионах, где преобладает длинноволновый эффект из-за присутствия аэрозолей от крупной минеральной пыли. В сочетании, длинноволновые и коротковолновые эффекты сокращают диапазон суточных температур на Земле почти на один градус [32-35]. Согласно [34-36], существуют долгосрочные тенденции, которые показывают усиление чувствительности местного климата в тропиках из-за обезлесения в период с 1980 по 2018 год, демонстрируя важность растительности в регулировании взаимодействия между аэрозолями и климатом.

Поскольку аэрозоли изменяют свои характеристики очень медленно, они являются лучшими индикаторами атмосферных движений, чем химические вещества, которые могут изменять свою концентрацию посредством химических реакций. Аэрозоли могут поглощать солнечный свет или отражать его обратно в космос посредством процесса, известного как рассеяние света. Рассеяние света зависит от размера аэрозольной частицы - более мелкие частицы поглощают сильнее, тогда как более крупные частицы имеют тенденцию отражать световую энергию обратно. Возвращение световой энергии обратно в космос снижает температуру

Земли. Известно [39-49], что крупные вулканические выбросы связывают с похолоданием климата.

Центральная Азия часто подвергается воздействию атмосферной минеральной пыли из-за ее расположения в центре глобального пылевого пояса, который простирается от Сахары до пустыни Гоби [50]. Пыль оказывает влияние на климат (прямым и косвенным воздействием) [51-52] и окружающую среду, на экосистемы и здоровье человека [53]. Наблюдения за аэрозолями в Таджикистане очень важны для понимания регионального и глобального переноса минеральной пыли и его воздействия на климат. В частности, интерес представляют свойства африканской и западно-азиатской пыли при ее переносе в Восточную Азию, так как они подвержены сильному антропогенному влиянию [54]. Мало что известно о вертикальной структуре аэрозоля и особенно о переносе минеральной пыли над Средней Азией [55–56]. В работах [57-58] приведены данные о вертикальных профилях оптических свойств аэрозоля. Показано, что высокая концентрация пыли в атмосферных слоях воздуха вносят значительный вклад в оптическую толщину аэрозоля (до 6 км для г.Душанбе). Оптические свойства этих пылевых слоев дают важную информацию для расчета переноса излучения [59], в то время как более тонкие высотные пылевые слои важны для исследований взаимодействия аэрозольных облаков [60-62].

1.2. Ионные и карбоновые компоненты атмосферного аэрозоля

1.2.1. Ионные компоненты атмосферного аэрозоля

Атмосферные ионы участвуют в образовании новых аэрозольных частиц, но их роль в этом процессе недостаточно изучена. В статье [63] была получена новая простая параметризация сгенерированного ядра или, точнее, скорости образования заряженных частиц размером 2 нм. В статье [63] состав пыли из 12 европейских полевых пунктов был измерен с помощью различных типов воздушных и кластерных ионных спектрометров, а также был проведен углубленный анализ с использованием данных с четырех

станций одновременно. Одна из теорий, выдвигаемых для объяснения образования новых аэрозолей, заключается в том, что присутствие ионов может усилить образование аэрозолей. Эта теория называется ионно-индуцированным зародышеобразованием, и в работе [64] представлены результаты наблюдений, теория и эксперименты в этой области. Ионы могут расти в достаточной степени, чтобы стать стабильными аэрозольными частицами. Для роста ионов необходимо присутствие в атмосфере газовых примесей, способных присоединяться к ионам. Скорость роста ионов, которая увеличивается с концентрацией таких газовых примесей, должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить рост ионов в течение относительно короткого времени жизни иона. Однако это выполняется только в определенных атмосферных условиях. Таким образом, остается открытым вопрос, вносит ли ионно-индуцированное образование аэрозоля значительный вклад в баланс атмосферного аэрозоля [65-66]. Было даже высказано предположение, что частицы аэрозоля, образованные с помощью ионов, могут вырасти до размеров ядер конденсации облаков и, таким образом, могут влиять на облака и климат. Эта гипотеза о связи между ионами и климатом недавно вызвала значительный интерес, требующих наблюдательных доказательств гипотезы связи космических лучей с климатом [2, 67]. Водорастворимые соли в атмосфере образуются из летучих и нелетучих предшественников, поэтому данные по ионному составу проб атмосферных аэрозолей, отобранных в заданной точке, позволяют оценить вклад того или иного источника в формирование аэрозоля.

Проблемам химии аэрозолей посвящены многочисленные работы, что связано с возросшим интересом в данном направлении, так как атмосферный аэрозоль оказывает сильное влияние на формирование погоды и климата, а также участвует в химических процессах в атмосфере. В [9] представлены результаты исследований компонентного состава аэрозолей в атмосфере Монголии в рамках российско-монгольской экспедиции в 2011 г. В аэрозолях Монголии обнаружены высокие значения компонентов как: SO_4 (7.86–34.28),

NO^{-3} (1.91–7.18), Cl^{-} (1.42–6.15), Na^{+} (3.55–10.16), и NH_4^{+} (0–13.18 мг/м³). В статье [71] выявлено, что в зимний период в Южной части пустыни Гоби химический состав аэрозолей определяется выбросами, связанными с горнодобывающей промышленностью в регионе. Там, где отсутствуют крупные источники антропогенных выбросов, основную роль в образовании аэрозолей играет дальний перенос загрязняющих примесей. Авторы обнаружили сходство компонентов аэрозоля Монголии с Китаем.

В статье [7] описаны измерения массовой концентрации всех частиц в суспензии, а также анионных компонентов (хлоридов, нитратов и сульфатов) и катионных (натрий, калий, кальций, магний и аммиак) в течение 1986-1988 годов. Определение массы частиц проводили гравиметрическим методом, а химический состав - ионной хроматографией. Концентрации частиц в Бильбао и Сестао за период измерений были выше, чем в Эрандио. Исследования концентраций, процентных соотношений и корреляций показывают существование центров эмиссии кальция в течение одного сезона и высоких уровней хлоридов в течение всех из них. Содержание нитратов и аммиака в любое время года оказалось низким по сравнению с другими городскими и промышленными центрами полуострова.

В статье [3] пробы атмосферных аэрозолей отбирались на прибрежном участке и анализировались на содержание H^{+} , NH_4^{+} , Ca^{+} , Mg^{+} , Na^{+} , SO_4^{-} , HCO_3^{-} , Cl^{-} и NO_3^{-} . Анализ показал, что эти ионы являются основными составляющими отобранных аэрозолей. Коэффициенты корреляции рассчитываются для каждой возможной пары анионов и катионов. Ионный баланс в атмосферных аэрозолях указывает на то, что основные существующие соединения относятся к разряду хлорида натрия; бикарбонатам кальция и магния; сульфатам натрия, магния и кальция; и нитратам натрия, магния и кальция. Наличие катионов превышает количество анионов. Это указывает на то, что ионный состав аэрозолей не очень сильно определяется фоновой морской природой, но также может быть

следствием переноса загрязненных воздушных масс из окружающих территорий.

В работах [10,11,74] изучены содержания компонентов аэрозоля в обсерватории Кабо-Верде [Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO)]. В работе [77] исследованы содержания аэрозольных компонентов в Китае. В [78], были изучены двадцать три элемента и 15 ионов вместе с органическим углеродом и элементарным углеродом, были систематически проанализированы характеристики аэрозоля г. Пекина. Компонента PM_{2.5} была основной частью частиц (PM₁₀), так как отношения PM_{2.5}/PM₁₀ составляли 0,45-0,48 летом и 0,52-0,73 зимой. В [4] по данным синхронных измерений в Томске и Киреевске, которые расположены на расстоянии 60 км, проанализированы различия в химическом составе аэрозоля. Для отдельных элементов и ионов обнаружены значимые различия, которые авторы связывают с действием локальных источников, а также с предысторией воздушных масс.

В статье [80] на основе сопоставления данных по ионному составу в двух пунктах на юге Западной Сибири (находящихся на расстоянии 500 км) за период 1996–2004гг установлена выраженная сезонная динамика и высокая корреляция между концентрациями ионов SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, предшественниками которых являются газы атмосферы. Показано, что кислотность аэрозолей в данном регионе определяется не столько концентрацией кислотообразующих анионов, сколько соотношением концентраций ионов из летучих и нелетучих предшественников.

Через Таджикистан проходят атмосферные пылевые потоки, образующиеся в крупных пустынях, таких как Сахара, Среднеаравийская пустыня, Дашти Лут и Дашти Кабир (Иран), Аралкум, Кара-Кум и Кызылкум. Эти потоки, вторгаясь через южную и западную границы Таджикистана, достигают его столицы [81-82]. В последние десятилетия исследования атмосферного аэрозоля всё расширяются по мере выяснения важности его роли в процессах, происходящих в атмосфере [83].

Пылевые вторжения в Душанбе наблюдаются ежегодно с апреля по ноябрь. Последние 30 лет из-за изменения климата пылевые вторжения, достигая столицу страны, остаются долгое время в атмосфере из-за рельефа г. Душанбе – город окружен холмами и горами, поэтому пыль в атмосфере города остается на несколько дней, особенно в теплый период (от 3 до 30 дней) в связи с отсутствием осадков (дождей). Остается актуальной и проблема загрязнения атмосферы г. Душанбе, ухудшение качества воздуха в тёплый период года – пылевыми вторжениями, а в зимний период – выбросами ТЭЦ, цементного завода и транспорта.

Настоящая диссертация посвящена результатам исследования ионного состава и карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля, определения его сезонного изменения и выявлению возможных источников образования.

Ионы обычно делятся на две группы: катионы, которые являются положительными ионами, и анионы, которые являются отрицательными ионами. Основными катионами атмосферного аэрозоля являются ионы NH_4^+ (газофазного происхождения), Ca^{2+} и Mg^{2+} (из почвенно-эрозионных источников) и Na^+ (обычно из морских источников) [1]. В работе [185] приведены средние концентрации аэрозольных катионов в полуаридной зоне Таджикистана и данные по 14 регионам мира. Показано, что наиболее высокие средние концентрации катионов кальция и аммония в Узбекистане $\text{C}(\text{Ca}^{2+}) = 3.15 \text{ мкг/м}^3$; $\text{C}(\text{NH}_4^+) = 2.46 \text{ мкг/м}^3$, в Туркменистане $\text{C}(\text{Ca}^{2+}) = 2.99 \text{ мкг/м}^3$ [81], в Таджикистане $\text{C}(\text{Ca}^{2+}) = 2.13 \text{ мкг/м}^3$, $\text{C}(\text{NH}_4^+) = 3.38 \text{ мкг/м}^3$, и в Кыргызстане (NH_4^+ - 1.88 мкг/м^3). Источниками катионов кальция являются ТЭЦ, цементные заводы и строительные работы и транспорт. В других районах мира также есть такие источники загрязнений, но определяющими являются другие факторы. Наиболее эффективный способ очистки воздуха от пыли состоит в увеличении площади лесов, а в областях, где высокие концентрации катионов, площадь лесов мала. Например, доля лесов в Центральной Азии составляет: Таджикистан - 2%, Узбекистан – 7.57%, Туркменистан – 8.8% и Кыргызстан – 4.32%, этого недостаточно для очистки

воздуха от загрязнения. В районах, где площадь лесов относительно велика, средние концентрации атмосферных катионов относительно низкие. Распределение доли лесов выглядит следующим образом: Россия - 60%, США – 30.9% и Индия – 22.6%, что в значительной степени способствует очищению атмосферы.

Анионная компонента определяется газофазными продуктами SO_4^{2-} , NO_3^- - (летучие кислоты), Cl^- (морской источник), HCO_3^- (адсорбция CO_2 в жидкую фазу атмосферного аэрозоля) [1, 85-86]. По данные [87 - 88] обращает на себя внимание тот факт, что концентрации практически всех ионов в аэрозоле и газовых соединений в атмосфере исследуемых районов Казахстана и Туркменистане в ноябре 2008 г. выше, чем в октябре 2012г. Рассчитанные для ионов Cl^- и Mg^{2+} принимали значения меньше 10. Важной характеристикой химического состава проб атмосферных осадков наряду с кислотностью является и их минерализация, представляющая собой сумму концентрации всех определяемых ионов [83]. В статье [89] показано, что основной массовую концентрацию аэрозоля вносят солевые частицы океанического происхождения Cl^- , Na^+ . Этот вклад максимален в районах выноса аэрозоля с континента, и они превалируют ионы K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- и SO_4^{2-} . Содержание многих ионов в атмосферных осадках в значительной степени зависит от географического положения. Однако независимо от этого, важным источником обогащения осадков ионами является вынос морских аэрозолей. Таким образом, анализ ионного состава атмосферных осадков, отобранных в 1991–1996 гг. на метеостанциях «Казань-опорная» и «Вязовые» (РТ), позволил охарактеризовать основные источники поступления компонентов их солевого состава, выделить долю антропогенных хлорид- (0–63%) и сульфат-ионов (93–98%) в осадках, выпадающих на территории Приказанного региона [90]. Элементный состав аэрозоля включает в себя отдельные химические элементы, такие как, например, Ca, Br, K и т. д. (в настоящее время имеющаяся аппаратура способна выделить более 60 элементов). В ионном составе выделяют катионы (NH_4^+ , K^+ , H^+ и Na^+) и

анионы (HCO_3^- , Cl^- , F^- и NO_3^-), так, как только эти химические структуры определяемы на современном оборудовании [91]. После облучения в ИК-области спектра кристаллов NaCl обнаружены дополнительные полосы поглощения. Появляются интенсивные полосы с максимумами 1360 и 830см^{-1} , связанные с поглощением иона NO_3^- . На фоне широкой полосы, лежащей в области 1360см^{-1} . В спектре обработанного образца с KBr появляются интенсивные полосы 1390 и 840 см^{-1} , отвечающие поглощению иона NO_3^- , а также 1280 и 810 см^{-1} (ион NO_2^-). Уширение полосы 1390 см^{-1} вызвано наложением полосы поглощения иона NO_2^- –средней интенсивности с максимумом поглощения приблизительно 1360см^{-1} [92]. Для оценки вклада растворимых морских солей NaCl в общую концентрации аэрозолей проводилось сопоставление массовой концентрации аэрозолей, рассчитанной по известному распределению их числа в зависимости от радиуса, с содержанием ионов Cl^- в воздухе, определяемым в то же самое время независимым образом химическим методом [93]. Выявить пути поступления химических веществ на исследуемую территорию позволяет изучение ионного состава атмосферных осадков, который является косвенным показателем загрязнения атмосферы. В пробах осадков определялось содержание сульфатов, нитратов, гидрокарбонатов, хлоридов, ионов аммония, магния, натрия, кальция и калия, уровень pH [94]. По данные [95] в снежном покрове, сформировавшемся зимой 1982-1983г., перед началом снеготаяния наиболее тесные связи существуют между основными ионами (Fe^{3+} , SO_4^{2-} , Na^+ и K^+), показателем ионной силы раствора (μ) и минерализацией. В снежном покрове, образовавшемся зимой 1983-1984г., корреляционные связи компонентов снеговой воды существенно иные. Появляются более сильные связи между (SO_4^{2-} , Cl^-) и основными катионами Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ и K^+ , что обусловлено, вероятно, накоплением в снежной толще сульфатных и хлоридных солей кальция и магния. Интерпретация полученных данных измерений ионного состава снега проводилось с помощью регрессионной зависимости, полученной на основе решений

полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии и переноса примеси в приземном слое атмосферы. Сравнение измеренных и восстановленных значений содержания сульфатов и нитратов в снежном покрове показало их удовлетворительное согласие. Получены оценки суммарного выброса этих веществ в течение зимнего сезона [96]. В статье [97] обсуждается влияние аэрозолей природного и антропогенного происхождения на климатические процессы. Показано, что учёт аэрозольного воздействия на климат в настоящее время выполнен недостаточно корректно в первую очередь из-за неточности сведений о процессах генерации и физико-химических свойствах атмосферных аэрозолей. Изложено современное состояние знаний по этим вопросам. Согласно расчетам Cl^- и Na^+ в составе летних дождевых осадков имеют преимущественно морское происхождение. Вклад морской составляющей в химический состав атмосферных осадков около 20%. В данной местности наиболее явным признаком преобладания континентального влияния на химический состав осадков являются повышенная концентрация SO_4^{2-} . В [98], были изучены двадцать три элемента и 15 ионов вместе с органическим углеродом и элементарным углеродом, были систематически проанализированы для характеристики аэрозоля г. Пекина. Компонента $\text{PM}_{2.5}$ была основной частью частиц, так как отношения $\text{PM}_{2.5} / \text{PM}_{10}$ составляли 0.45-0.48 летом и 0.52-0.73 зимой.

Атмосферные аэрозольные катионы оказывают вредное воздействие на здоровье человека. Кальций является важнейшим биогенным элементом, его вредное действие возможно лишь при поступлении в организм в очень больших дозах. В виде пыли или аэрозоля соединения кальция оказывают сильное прижигающее действие на кожу и слизистые оболочки. Особенно опасна окись кальция CaO (негашеная известь), действие, которой состоит в омылении жиров, поглощении из кожи влаги, растворении белков, раздражении тканей [180]. Много кальция содержат бытовые стоки прачечных [181]. Основными источниками катионов кальция, поступающего в атмосферу, являются переработка природного сырья, производство цемента

и сточные воды (бумага, химикаты и фармацевтические препараты); кальций содержится в бытовых сточных водах. Крупнейшими источником катионов натрия и магния в атмосферном аэрозоле являются моря, почвенно-эрозионные процессы и удобрения, аммония – газофазные процессы и удобрения, катионов калия – море [3,180-182]. В табл.3.10 приведены средние концентрации катионов атмосферного аэрозоля в Душанбе и в других регионах мира, с целью определения причин колебаний концентрации катионов в атмосфере.

1.2.2. Карбоновые компоненты атмосферного аэрозоля

Углеродистый материал - один из важных компонентов атмосферных твердых частиц. Органический углерод (ОС) включает в себя первичный аэрозоль и в основном создаются искусственным процессом сжигания ископаемого топлива с относительно небольшим вкладом из природных источников [99]. Структура элементарного углерода (ЕС) аналогична графиту, который выбрасывается непосредственно в атмосферу преимущественно при неполном сгорании выхлопов автомобилей, сжигание топлива и сжигание биомассы [100]. Исследования показали, что ОС может вызывать или обострять многие заболевания, такие как сердечно - сосудистые заболевания, респираторные заболевания, рак и т. д. [101-102]. Элементарный углерод можно принять в качестве показателя сгорания и переноса ископаемого топлива [103]. ЕС может привести к ухудшению горизонтальной дальности видимости, глобальному потеплению и снижению урожайности [104]. Авторы [2] проанализировали изменения ОС и ЕС в трех крупных европейских городах и пришли к выводу, что вторичные аэрозоли имеют большое влияние на состав PM_{2.5} из ОС/ЕС. Авторы [106] проанализировали массовую концентрацию PM_{2.5}, минеральной пыли и ОС и ЕС с 10 ноября по 10 марта в Индии, и соотношение ОС/ЕС составило около 7.0 ± 2.2 . В [107] проанализировали характеристики загрязнения ЕС и ОС в атмосферных PM_{2.5} в Сеуле, Корея, с марта по апрель 2016 г. Средние

концентрации ОС и ЕС в течение периода исследования составляли 4.4 ± 2.0 мкг/м³ и 1.4 ± 0.6 мкг/м³ соответственно. Отношение ОС/ЕС составляло 3.4 ± 1.0 , а средняя концентрация PM_{2.5} составляла 39.7 ± 19.8 мкг/м³. Было установлено, что на качество воздуха в Сеуле весной в основном влияют местные загрязнители и антропогенные загрязнители. В [108] проанализировали источники и характеристики распределения PM_{2.5} в регионе Пекин -Тяньцзинь - Хэбэй и показали, что концентрации ОС и ЕС были ниже весной и летом, чем осенью и зимой, а выбросы выхлопных газов транспортных средств были основным источником ОС и ЕС.

Углеродные фракции, составляющие 10% – 50% в составе аэрозольных частиц (PM), имеют ключевое значение для прозрачности атмосферы, здоровья человека и радиационного баланса Земли [109 - 110]. Органический (ОС) и элементарный (ЕС) углерод составляют значительную и важную часть атмосферного аэрозоля (AA), влияя не только на радиационный и гидрологический режим атмосферы, но и на здоровье человека [102]. Основными источниками аэрозольного углерода являются выбросы продуктов горения биомассы при лесных пожарах [103-108]. Вблизи населенных пунктов дополнительные антропогенные эмиссии в атмосферу возникают в результате сжигания ископаемого топлива на предприятиях топливно-энергетического комплекса и в двигателях автотранспорта, а также при сжигании бытового мусора и сельскохозяйственных отходов. Углерод может входить в состав атмосферных аэрозолей как в элементарной форме (элементарный или «черный» углерод – ЕС), так и в состав различных органических соединений (ОС). Элементарный углерод образуется главным образом при неполном сгорании биогенных материалов (древесина, нефть и ее производные, уголь), поэтому он является основным компонентом, так называемого сажевого аэрозоля [108]. Важно отметить, что прямое сопоставление результатов измерений содержания аэрозольного углерода, выполненных в различных пунктах различными исследователями,

затруднено разнообразием используемой аппаратуры и применяемых методик [107-108].

В работе [109] углеродистый материал в твердых частицах был измерен в городской зоне Рима. Углеродистый материал составляет значительную часть общей массы аэрозоля (30-40%) и состоит из двух основных фракций: элементарного углерода (ЕС) и органического углерода (ОС). Элементарный углерод - это, по сути, первичный загрязнитель, выбрасываемый непосредственно в результате процессов неполного сгорания, тогда как ОС имеет как первичное, так и вторичное происхождение.

В работе [110] концентрации приземных частиц, общего углерода, элементарного углерода и органического углерода были измерены на станции мониторинга, расположенной внутри парка в центре Рима. Описание эволюции пограничного слоя дают измерения концентрации радона. Результаты показывают, что твердые частицы Рима содержат около 30% углеродистого вещества. Поведение элементарного и органического углерода показывает, что элементарный углерод, по сути, является первичным загрязнителем, выбрасываемым непосредственно в результате движения транспортных средств, а поведение органического углерода первичным (сгорание и биогенные выбросы) и вторичным. Дан массовый баланс химических мелких твердых частиц; было проведено исследование органического углерода с целью определения n-алкановых кислот и полициклических ароматических углеводородов. Согласно [111-112], приземная концентрация твердых частиц (ТЧ), общего углерода (ОС), ЕС и ОС была измерена в двух центрах мониторинга в Риме. Первая станция расположена в центре Рима. Вторая станция находилась на участке, где нет прямых антропогенных отходов. Результаты показывают, что в Риме доля ТС составляет около 30% РМ, а ОС/ЕС варьируется от 0.5 до 1.5 в зависимости от сайта, рассмотренного авторами. По химическому составу длинноцепочечные карбамильные частицы были определены как основной компонент органических аэрозолей, а для двух важных классов состава

полиненасыщенные углеводороды которые присутствуют в очень низких количествах. Согласно [113], постоянно проводились интенсивные наблюдения за органическим углеродом (OC) и элементарным углеродом (EC) в PM₁₀ и газообразных материалах (SO₂, CO и O₃) для оценки характеристик углеродсодержащих аэрозолей в зимний период в городских районах Пекина, Китай. Результаты показали, что усредненные концентрации общего углерода (OC) и PM₁₀ за период наблюдения составляют 30.2 ± 120.4 и 172.6 ± 198.3 мкг/м³, соответственно. Средняя концентрация OC в ночное время (24.9 ± 19.6 мкг/м³) была на 40% выше, чем в дневное время (17.7 ± 10.9 мкг/м³). Средние концентрации ЭК в дневное время (8.8 ± 15.2 мкг/м³) были близки к таковым в ночное время (8.9 ± 15.1 мкг/м³) [113]. Отношения OC/EC в ночное время в диапазоне от 2.4 до 2.7 выше, чем в дневное время, в диапазоне от 1.9 до 2.0. Концентрации OC, EC, PM₁₀ были низкими при сильном ветре и высокими при слабом ветре. OC и EC хорошо коррелировали с PM₁₀, CO и SO₂, что означает, что они имеют схожие источники. OC и EC не были хорошо коррелированы. Учитывая изменение соотношений OC/EC в дневное и ночное время, корреляцию между OC и EC и метеорологическими условиями, предположено, что OC и EC в Пекине PM₁₀ были выброшены в качестве первичной формы твердых частиц. Выбросы автомобилей с низким отношением OC/EC и источники сжигания угля с высоким отношением OC/EC, вероятно, являются основными источниками углеродсодержащих аэрозолей в Пекине зимой. Для оценки относительного вклада источников в углеродсодержащие аэрозоли в PM₁₀ в Пекине был использован метод простого соотношения. Автотранспортные средства составляют 80% и 68%, в то время как сжигание угля составляет 20% и 32% в дневное и ночное время, соответственно в Пекине. В среднем за период наблюдений на выбросы транспорт и сжигания угля приходилось 74% и 26% углеродсодержащих аэрозолей соответственно. Это указывает на то, что автомобили являются основным источником выбросов углеродсодержащих аэрозолей в Пекине PM₁₀ в зимний период, на

что следует обратить внимание для эффективного контроля высокого уровня PM10 в Пекине.

Целью статьи [114] было изучение ночного диапазона содержания карбонатных аэрозолей в PM10 весной и зимой над Сианем. Пробы PM10 были собраны в период с 19 декабря 2006 г. по 21 января 2007 г. (зима) и с 1 апреля 2007 г. по 30 апреля 2007 г. (весна). Концентрации органического углерода (OC) и элементарного углерода (EC) были измерены термооптическим методом. Отношение OC к EC в течение дня зимой составляло 0.44, в то время как сильная взаимосвязь между OC и EC наблюдалась в весенние дни, что указывает на то, что источники выбросов аэрозолей диоксида углерода были больше зимой, чем весной. Из-за высоких уровней OC и более медленного атмосферного рассеяния средняя концентрация SO зимой (8.9 и 10.2 мкг/м³ днем и ночью) была намного выше, чем весной (2.8 и 3.4 мкг/м³). Анализ восьми углеродных фракций показал, что сжигание угля и сжигание биомассы были основными источниками углеродного аэрозоля зимой, а выбросы транспортных средств играли важную роль весной. Согласно [115], характеристики дневных и ночных колебаний органического углерода (OC) и элементарного углерода (EC) в атмосферных мелких частицах (PM2.5), собранных зимой 2009 года и весной 2010 года в городе Тайюань, были проанализированы с использованием теплового оптического анализатора углерода DRI Model 2001A и источников углеродистых материалов в пробах PM2.5. Результаты показали, что средние концентрации PM2.5, OC, EC и средние отношения OC/EC были выше зимой, чем весной и выше в ночное время, чем в дневное время весной. Выбросы углеродистых частиц были увеличены из-за увеличения сжигания угля и биомассы, а диффузия загрязняющих веществ была затруднена из-за низкой температуры атмосферы и стабильных атмосферных условий. Высокий OC/EC был вызван увеличением эмиссии OC, но не вкладом вторичного органического углерода (SOC), поскольку низкая температура и слабая солнечная радиация не благоприятствовали

образованию SOC [115-116]. Более высокие концентрации PM_{2.5}, OC и EC в дневное время, чем в ночное время весной, могут быть связаны с большим количеством пыли в дневное время из-за более высокой скорости ветра и более низкой относительной влажности днем, чем в ночное время, и более высокого OC / EC в дневное время, чем в ночное время. Это может быть вызвано более высокой температурой и более сильной солнечной радиацией в дневное время, что благоприятно для образования SOC. По сравнению с другими городами Китая, Тайюань показал высокие концентрации PM_{2.5}, OC и EC, что указывает на серьезное загрязнение углеродными аэрозолями, которое может в значительной степени способствовать образованию пыли и дымки. Пробы аэрозолей PM_{2.5} и PM₁₀ собирались каждые 6 дней с марта 2012 г. по февраль 2013 г. в Хуанши, типичном промышленном городе в Центральном Китае, для изучения характеристик, взаимосвязей и источников углеродистых частиц. Образцы PM_{2.5} и PM₁₀ были проанализированы на содержание органического углерода (OC), элементарного углерода (EC), угля и сажи с использованием метода термического / оптического отражения (TOR) в соответствии с протоколом IMPROVE_A. 24-часовой средний уровень PM_{2.5} примерно в три раза превышал стандарт Агентства по охране окружающей среды США (35 мкг/м³) и значительно превышал национальный стандарт качества воздуха Китая класса II, равный 75 мкг/м³. Сезонные циклы массы ТЧ и концентраций OC зимой были выше, чем летом. Концентрации EC обычно были самыми высокими зимой, но самыми низкими весной, в то время как более высокие концентрации сажи наблюдались летом. Эти сезонные колебания можно отнести к различным сезонным метеорологическим условиям и изменениям в источниках. Сильная корреляция между OC и EC была обнаружена как для PM_{2.5}, так и для PM₁₀ зимой и осенью, тогда как уголь и сажа показали умеренную корреляцию летом и зимой. Средние отношения OC/EC составляли 5.11 и 4.46 для PM_{2.5} и PM₁₀, соответственно, при этом индивидуальные отношения OC/EC почти всегда превышали 2,0 [116]. Более высокие соотношения полуккокса / сажи в

течение четырех сезонов показали, что сжигание угля и сжигание биомассы были основными источниками углеродсодержащего аэрозоля в Хуанши. Вопреки ожиданиям, вторичный органический углерод (SOC), который оценивается с помощью метода индикатора ЕС, показал весенний максимум и летний минимум, что позволяет предположить, что фотохимическая активность не является ведущим фактором в образовании вторичных органических аэрозолей в районе исследования. Вклад SOC в концентрацию ОС для PM_{2.5} и PM₁₀ составил 47.33 и 45.38% соответственно, что означает, что SOC был важным компонентом массы ОС. Серьезное загрязнение воздуха во время эпизода дымки и тумана сильно коррелировало с выбросами загрязняющих веществ в результате сжигания биомассы и метеорологическими условиями [116,117].

В работах [112, 113] было измерено содержание органического углерода (ОС) и элементарного углерода (ЕС) в пробах PM_{2.5} из Пекина, Тяньцзиня и Ланфанга, собранных одновременно с 20 ноября 2016 г. по 25 декабря 2016 г. Обсуждались характеристики загрязнения и источники ОС и ЕС в атмосферных PM_{2.5} для трех соседних городов. Средние массовые концентрации ОС в PM_{2.5} в Пекине, Тяньцзине и Ланфанге составляли 27.93 ± 23.35 мкг/м³, 25.27 ± 12.43 мкг/м³ и 52.75 ± 37.97 мкг/м³ соответственно, а средние массовые концентрации ЭК были 6.61 ± 5.13 мкг/м³, 6.14 ± 2.84 мкг/м³ и 12.06 ± 6.81 мкг/м³ соответственно. Средняя массовая концентрация общего углерода (ТС) составляла 30.5%; 24.8% и 49% от средней массовой концентрации PM_{2.5} в атмосфере. Корреляция между ОС и ЕС в трех городах показала значения R²: 0.882; 0.633 и 0.784 для Пекина, Тяньцзиня и Ланфанга, соответственно, что указывает на то, что источники городских углеродсодержащих аэрозолей обладают хорошей консистенцией и стабильностью [80]. Значения ОС/ЕС для трех точек отбора проб составляли 4.48 ± 1.45 мкг/м³; 4.42 ± 1.77 мкг/м³ и 4.22 ± 1.29 мкг/м³ соответственно, что значительно превышало 2, что указывает на то, что основными источниками загрязнения были автомобильные выхлопные газы и сжигание угля и

биомассы. Метод минимального отношения ОС / ЕС использовался для оценки содержания вторичного органического углерода (SOC) в Пекине, Тяньцзине и Ланфане. Анализ восьми углеродных компонентов показал, что основными источниками загрязняющих веществ в Пекине, Тяньцзине и Ланфанге были выхлопные газы от автомобилей с бензиновым двигателем, но сгорание угля и биомассы было относительно низким. Загрязнение дорожной пылью было более серьезным в Тяньцзине, чем в Пекине и Ланфане. Вклад сжигания биомассы и источников загрязнения от сжигания угля в атмосферные углеродные аэрозоли в Ланфанге был более заметным, чем в Пекине и Тяньцзине [118,119].

В работах [119,120] были проанализированы органический углерод (ОС) и элементарный углерод (ЕС) в пробах PM_{2.5}, собранные в городских районах Шанхая в период с июня 2010 года по май 2011 года. Результаты показали, что среднегодовые концентрации ОС и ЭК в PM_{2.5} составили 8.6 ± 6.2 мкг/м³ и 2.4 ± 1.3 мкг/м³ соответственно, что составляет 20% массовой концентрации PM_{2.5}. Средние сезонные концентрации ОС и ЭС были самыми высокими зимой и самыми низкими летом. А процентное содержание ОК и ЕС в PM_{2.5} было самым высоким осенью. Среднегодовое отношение ОС/ЕС составило 3.54 ± 1.14 мкг/м³. Концентрации вторичного органического углерода (SOC) были оценены методом минимального соотношения ОС/ЕС, и среднегодовая концентрация SOC составила 3.9 ± 4.2 мкг/м³, что составляет 38.9% ОС. Летом концентрации SOC были относительно низкими и хорошо коррелировали с максимальными почасовыми концентрациями озона, что указывает на то, что фотохимическая реакция была важным способом образования SOC. Осенью и зимой, когда преобладало западное направление ветра, концентрации SOC были выше, чем в безветренных условиях, что означало перенос SOC. Углеродистые компоненты были связаны с вкладом источников с использованием анализа главных компонентов (РСА) с восемью фракциями углерода, полученными термическим путем: ОС₁, ОС₂, ОС₃, ОС₄, ЕС₁, ЕС₂, ЕС₃ и ОРС [120].

Автомобили, угольные агрегаты, сжигание биомассы и дорожная пыль были четырьмя основными источниками ОС и ЕС в $PM_{2.5}$ в городских районах Шанхая, на долю которых приходится 69.8–81.4% углеродсодержащих аэрозолей. Доля автомобилей была высокой в течение года. На сжигание биомассы приходилось около 15-20% ОС и ЕС. Весной и осенью влияние дорожной пыли было относительно очевидно. Причем вклад угольных агрегатов зимой был выше, чем в другие сезоны [119-120].

Углеродсодержащие соединения включают в себя широкий спектр природных и антропогенных видов, различного состава и структуры, общей характеристикой которых является присутствие углерода. Для его изучения обычно различают элементарный углерод (ЕС), также известный как черный углерод (BC), и органический углерод (ОС), выражая общую концентрацию углерода (ТС) как сумму обеих фракций. Вклад углеродистых частиц в массовые концентрации PM очень важен, особенно для мелких частиц. Этот вклад зависит от типа источников, присутствующих в районе исследования, и от метеорологических условий, в основном от температуры окружающей среды, которая определяет, находятся ли полупелетучие органические соединения в паровой фазе или в форме частиц. Элементарный углерод обычно выделяется в процессах неполного сгорания биомассы и ископаемого топлива, и поэтому его происхождение в основном антропогенное. С другой стороны, органические углеродные соединения могут иметь первичную или вторичную природу. Первичный органический углерод (ПОС) выделяется из самых разных источников, включая процессы горения и биогенные выбросы, в то время как вторичный органический углерод (SOC) образуется в результате окисления летучих и полупелетучих органических веществ (ЛОС), также естественного или антропогенного происхождения [126,184,187-189].

Элементарный углерод является основным загрязнителем, выделяемым из источников антропогенного горения, и не подвергается химическим превращениям, в то время как ОС может либо выбрасываться непосредственно в атмосферу из антропогенных и биогенных источников,

либо образовываться в атмосфере в результате превращения летучих веществ из газа в частицы органических соединений посредством фотохимических реакций [187]. ЕС обладает сильной способностью поглощать солнечную радиацию и, как считается, играет важную роль в глобальном изменении климата, поскольку вызывает положительное радиационное воздействие. Это второй по важности компонент глобального потепления после CO_2 , в то время как ОС в основном является рассеивающей средой и оказывает негативное влияние на климат [188].

1.3. Основные методы исследования ионного и карбонового компонентов атмосферного аэрозоля

В работах [121,122] для изучения ионных и углеродных компонентов использовалась следующая методика: фильтры хранили в течение 72 часов при постоянной температуре ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) и влажности ($50 \pm 5\%$) до и после сбора, и взвешивали с помощью микровесов с точностью 10 мкг. Экстракты образцов фильтровали через односторонний шприц-фильтр 0,45 мкм для удаления нерастворимых материалов перед ионным анализом. Ионный анализ проводился для катионов Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} и анионов Cl^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} и $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ с использованием стандартной методики ионной хроматографии, оборудованный автоматическим генератором элюента (КОН для анионов и метансульфоная кислота (МСК) для катионов) и блоком подавления микромембран [123]. Хроматографические калибровки выполнялись ежедневно с использованием четырехточечного стандарта. Пределы обнаружения для всех ионов, измеренные с помощью определения проводимости, находились в пределах $0,002 \text{ мкг/м}^2$, за исключением кальция, который составлял 0.02 мкг/м^2 . Бромид был определен с использованием детектором (VWD-1) с пределом обнаружения 10^{-3} мкг/м^3 . Сульфат морской соли (sulfate) определяли вычитанием сульфата морской соли (сульфат) из общего количества сульфата. Сульфат был определен из стабильного отношения $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+ = 0.251$ [60] в морской воде в предположении, что у

натрия нет других источников. Органический и элементарный углерод анализировали двухступенчатым термографическим методом с обнаружением недисперсионным инфракрасным датчиком (NDIR), как описано в следующей литературе: [68, 84, 105]. Пределы обнаружения для анализа кварцевых волоконных фильтров составляли 30 нг/м³ для ЕС и 100 нг/м³ для ОС. Для определения ОВ (органического вещества) была применена оценка [97] с ОВ рассматриваемой как удвоенный ОС (ОВ=2°С), что рекомендуется для выдержанных аэрозолей. В предыдущих исследованиях были представлены результаты отдельных органических соединений [64], тогда как обсуждается только концентрации щавелевой кислоты [124-125,126].

Был проведен анализ обратной траектории воздушных масс, чтобы помочь в интерпретации данных и дать полезные сведения о различных источниках происхождения воздушных масс. Ансамбли обратных траекторий [63] были рассчитаны (начиная с высоты 500 м над землей) с использованием NOAA HYSPLIT (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) модель. Ионный анализ выполнен на катионы Na⁺, NH₄⁺, K, Mg²⁺, Ca²⁺ с ионной хроматографией (колонка Waters IC-Pak C M / D, элюент: 0,1 mM EDTA, 3,0 mM HNO₃). Для определения бромидов в морской соли с высокими концентрациями хлоридов в приборе Compact IC 761 использовали специальную колонку для измерения анионов Cl⁻, Br⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ и C₂O₄²⁻. Пределы обнаружения ионов определялись по холостым пробам и их стандартному отклонению измерений пустой фольги ударника в зависимости от объема пробы до 0.2 нг/м³ (для Br⁻ и C₂O₄²⁻), через 0,6 нг/м³ для Na, K, NH₄, и Mg²⁺ до 1.2 нг/м³ (для NO₃⁻ и SO₄²⁻). Прибор был снабжен капилляром из плавленого кварца. Оценка органического вещества (ОВ) была проведена согласно [97,127,128] с использованием уравнения $OM = 2OC$, которое является рекомендуемым значением для состаренные аэрозоли. Процессы обугливания нельзя полностью исключить, но они не оказывают значительного влияния на результаты при температуре 650 ° С,

используемые в нашем методе [129-130]. Для методов оптической коррекции требуются однородные образцы фильтров. Лучше, чем методы оптической коррекции, являются методы, исключаящие обугливание. Неоднородные пятна от ударов нельзя проанализировать с помощью техники, использующей отражение или пропускание света для устранения возможных эффектов обугливания. Процессы обугливания происходят при высоких температурах, но наш метод работает до 650°C, где слабая недооценка общего углерода является единственной возможностью для ошибок. В статьях [131-137] анализировали ОС и ЕС с помощью термического / оптического анализатора углеродных аэрозолей. Стандартизацию прибора проводили раствором сахарозы (3,2 мкг/мкл). Для контроля качества анализатор калибровали с использованием эталонного образца предварительно нагретого кварцевого волоконного фильтра и стандартных растворов сахарозы каждый день. Отобранные кварцевые фильтры также были проанализированы аналогичным образом на предмет коррекции холостого хода. Общие эталонные концентрации кварцевых фильтров для ОС и ЕС составляли 0.5 ± 0.2 и 0.0 ± 0.02 мкг/см² соответственно. Их вычитали из измеренных концентраций ОС и ЕС в образцах аэрозоля [138]. В статьях [139,140] Ежедневно в течение трех недель в июле 2001 года отбирались пробы мелких твердых частиц на двух участках в районе Большого Лос-Анджелеса. Пробоотборники твердых частиц были размещены на существующих станциях мониторинга воздуха, находящихся в ведении Района управления качеством воздуха Южного побережья (SCAQMD). Два сайта, использованные в этом исследовании, Азуса и центр Лос-Анджелеса, также ранее использовались в ряде других исследования. Площадка Азуса находилась на крыше двухэтажного здания примерно в двух кварталах от главной дороги [141]. Азуса расположена с подветренной стороны от центра Лос-Анджелеса, и в прошлом было замечено, что она имеет высокий уровень озона и вторичного аэрозоля, твердых частиц, которые образуются в атмосфере. Центральный участок Лос-Анджелеса находился на крыше 3-

этажного здания, в территория окружена автомагистралями. В прошлом на территории Лос-Анджелеса наблюдались высокие концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых автотранспортными средствами. Образцы были собраны в течение 24 часов, и два пробоотборника использовались на каждом участке, чтобы обеспечить сбор образцов с полуночи до полуночи каждый день. Пробойник 1,45 см² был удален из каждого фильтра для анализа элементарного и органического углерода (ЕС и ОС) с использованием термооптического и метода NIOSH 5040. 21 ежедневная проба, собранная на каждом участке, была объединена для определения состава органических соединений по дням недели, всего семь составных частей из трех фильтров для каждого участка [142]. Каждый набор композитных фильтров для дня недели экстрагировали растворителями и анализировали методом газовой хроматографии-масс-спектрологии (ГХМС). Подробности подготовки образцов были описаны ранее. Чтобы обеспечить точную количественную оценку широкого диапазона соединений, фильтры перед экстракцией были дополнены набором внутренних стандартных соединений со спектром молекулярных масс и летучести [143]. Полевые бланки собирались через равные промежутки времени, и все данные образцов корректировались путем вычитания холостых результатов. Массу компонента на фильтре или в фильтрующем композите после корректировки холостого хода делили на общий объем отобранного воздуха для получения концентраций по массе на объем воздуха.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1. Исследуемые объекты и методика их приготовление.

Сбор атмосферного аэрозоля с частицами размеров до 10 мкм (PM10) на поверхность кварцевых фильтров типа quartz fiber filters (МК360, MUNKTELL) проводился высокообъемным пробоотборником DHA-80, DIGITEL в течение 72 часов (объем пробоотбора в период эксперимента CADEX составлял 1520м³).

Органический и элементарный углерод анализировали двухступенчатым термографическим методом (C-mat 5500, Ströhlein, Германия) с обнаружением недисперсионным инфракрасным датчиком (NDIR). Дополнительные сведения о пробоподготовке и аналитических методах и процедурах можно найти в литературе [118 - 136].

Кварцевые фильтры типа quartz fiber filters используются для сбора проб воздуха, особенно при высоких температурах 900 - 950°C, в частности, для тестирования горячих дымовых газов. Могут применяться там, где высокие требования к чистоте среды. Обеспечивают высокоэффективную фильтрацию, содержат минимальное количество металлов и позволяют провести подробный химический анализ с минимальным влиянием материала фильтра. Используются для отбора проб кислотных газов (кроме плавиковой кислоты).

Пробоотборники DIGITEL (Рисунок 2.1) для больших объемов DHA-80 - это полностью автоматические системы для отбора проб пыли и аэрозольных частиц для последующей оценки и анализа (гравиметрическое и аналитическое определение). Стандартная производительность работы пробоотборника составляет от 100 до 1литра в минуту (от 6 до 60 м³/ч). DIGITEL HVS DHA-80 имеет магазин из 15 фильтров, натянутых в держателях фильтров. Они автоматически изменяются по положение потока в заданное время.



Рисунок 2.1. – Пробоотборник DIGITEL HVS DHA-80

Сбор атмосферного аэрозоля с частицами размеров до 10 мкм (PM10) на поверхность кварцевых фильтров типа quartz fiber filters (МК 360, MUNKTELL) проводился высокообъемным пробоотборником DHA-80, DIGITEL в течение 72 часов (объем пробоотбора в период эксперимента CADEX составил 1520 м³). Общее количество проб атмосферного аэрозоля с частицами до 10 мкм – 181. Измерение состава собранных проб (таблица 2.1) проводилось в лаборатории химии института тропосферных исследований (TROPOS), Германия (Лейпциг). Пробы хранились в специальных контейнерах в морозильной камере до момента лабораторного анализа. Взвешивание и химический анализ проб аэрозолей проводились в лаборатории химии TROPOS с использованием оборудования, описанного в [156]. Характеристики собранных проб в период эксперимента в [мкг/м³] представлены в [157] и в параграфе 2.1. настоящей диссертации.

Таблица 2.1 – Характеристика проб

Номера проб	Дата собранные проб		Объем проб [м³]	МК [µg/m³]
	Начало	Конец		
1	2	3	4	5
1	21.03.2015	23.03.2015	1516.924	31.946
2	23.03.2015	25.03.2015	1350	84.659
3	25.03.2015	27.03.2015	2940.075	38.501
4	27.03.2015	29.03.2015	1498.364	49.347
5	29.03.2015	31.03.2015	1493.794	26.068
6	31.03.2015	02.04.2015	1495.181	43.199
7	02.04.2015	04.04.2015	1504.488	38.671
8	04.04.2015	06.04.2015	1518.994	31.916
9	06.04.2015	08.04.2015	1511.086	35.782
10	08.04.2015	10.04.2015	1518.764	33.777
11	10.04.2015	12.04.2015	1527.18	30.468
12	12.04.2015	14.04.2015	1521.381	53.116
13	14.04.2015	16.04.2015	1521.925	108.921
14	16.04.2015	18.04.2015	1516.248	21.705
15	18.04.2015	20.04.2015	1510.244	36.544
16	20.04.2015	22.04.2015	1513.765	26.583
17	22.04.2015	24.04.2015	1528.217	34.602
18	24.04.2015	26.04.2015	1517.21	46.790
19	26.04.2015	28.04.2015	1497.657	102.867
20	28.04.2015	30.04.2015	1494.859	43.910
21	30.04.2015	02.05.2015	1516.954	33.824
22	02.05.2015	04.05.2015	1525.058	46.851
23	04.05.2015	06.05.2015	1530.422	61.558
24	06.05.2015	08.05.2015	1538.95	71.315
25	08.05.2015	10.05.2015	1530.45	36.617
26	10.05.2015	12.05.2015	1528.969	52.290
27	12.05.2015	14.05.2015	1527.471	18.410
28	14.05.2015	16.05.2015	1525	28.210
29	16.05.2015	18.05.2015	1525	63.502
30	18.05.2015	20.05.2015	1427.564	46.779
31	20.05.2015	22.05.2015	1526.777	44.211
32	22.05.2015	24.05.2015	1525.429	34.784
33	24.05.2015	26.05.2015	1517.479	26.702
34	26.05.2015	28.05.2015	1532.211	35.028
35	28.05.2015	30.05.2015	1543.187	41.706
36	30.05.2015	01.06.2015	1537.851	39.802
37	01.06.2015	03.06.2015	1543.322	36.473
38	03.06.2015	05.06.2015	1544.936	51.795

1	2	3	4	5
39	05.06.2015	07.06.2015	1548.358	64.061
40	07.06.2015	09.06.2015	1548.201	61.323
41	09.06.2015	11.06.2015	1515.031	296.667
42	11.06.2015	13.06.2015	1541.084	153.762
43	13.06.2015	15.06.2015	1544.838	68.460
44	15.06.2015	17.06.2015	1542.378	88.623
45	17.06.2015	19.06.2015	1555.062	68.801
46	19.06.2015	21.06.2015	1477.663	91.882
47	21.06.2015	23.06.2015	1555.489	66.879
48	23.06.2015	25.06.2015	1551.534	67.656
49	25.06.2015	27.06.2015	1543.557	61.514
50	27.06.2015	29.06.2015	1552.9	43.003
51	29.06.2015	01.07.2015	1555.603	40.029
52	01.07.2015	03.07.2015	1554.851	47.426
53	03.07.2015	05.07.2015	1565.897	58.931
54	05.07.2015	07.07.2015	1553.268	208.045
55	07.07.2015	09.07.2015	1525.582	210.346
56	09.07.2015	11.07.2015	1527.821	127.417
57	11.07.2015	13.07.2015	1545.893	121.535
58	13.07.2015	15.07.2015	1548.454	109.244
59	15.07.2015	17.07.2015	1548.724	113.183
60	17.07.2015	19.07.2015	1256.16	103.721
61	19.07.2015	21.07.2015	1544.913	100.362
62	21.07.2015	23.07.2015	1066.909	433.908
63	23.07.2015	25.07.2015	1535.363	164.430
64	25.07.2015	27.07.2015	1544.198	145.661
65	27.07.2015	29.07.2015	1542.259	122.794
66	29.07.2015	31.07.2015	1550.521	72.730
67	31.07.2015	02.08.2015	1540.683	105.220
68	02.08.2015	04.08.2015	1553.489	82.215
69	04.08.2015	06.08.2015	1553.892	93.115
70	06.08.2015	08.08.2015	1554.805	100.070
71	08.08.2015	10.08.2015	1113.862	311.942
72	10.08.2015	12.08.2015	1529.482	112.934
73	12.08.2015	14.08.2015	1538.065	107.395
74	14.08.2015	16.08.2015	1540.538	99.121
75	16.08.2015	18.08.2015	1538.735	106.776
76	18.08.2015	20.08.2015	1541.573	2.030
77	20.08.2015	22.08.2015	1543.809	106.179
78	22.08.2015	24.08.2015	1531.193	116.530
79	24.08.2015	26.08.2015	1540.34	131.159
80	26.08.2015	28.08.2015	1535.674	75.986

1	2	3	4	5
81	28.08.2015	30.08.2015	1534.897	77.829
82	30.08.2015	01.09.2015	1533.32	75.346
83	01.09.2015	03.09.2015	1535.617	83.543
84	03.09.2015	05.09.2015	1530.253	94.154
85	05.09.2015	07.09.2015	1532.599	95.465
86	07.09.2015	09.09.2015	1535.315	105.991
87	09.09.2015	11.09.2015	1537.074	91.869
88	11.09.2015	13.09.2015	1533.513	100.814
89	13.09.2015	15.09.2015	1529.703	112.290
90	15.09.2015	17.09.2015	1528.833	108.828
91	17.09.2015	19.09.2015	1529.253	92.359
92	19.09.2015	21.09.2015	1523.005	97.025
93	21.09.2015	23.09.2015	1516.512	63.850
94	23.09.2015	25.09.2015	1523.472	82.955
95	25.09.2015	27.09.2015	1524.385	100.880
96	27.09.2015	29.09.2015	1514.784	75.186
97	29.09.2015	01.10.2015	1518.479	96.313
98	01.10.2015	03.10.2015	1519.307	75.758
99	03.10.2015	05.10.2015	1470.747	79.701
100	05.10.2015	07.10.2015	1524.723	65.264
101	07.10.2015	09.10.2015	1527.994	87.219
102	09.10.2015	11.10.2015	1523.264	87.588
103	11.10.2015	13.10.2015	1503.984	196.199
104	13.10.2015	15.10.2015	1509.284	298.300
105	15.10.2015	17.10.2015	1506.264	149.502
106	17.10.2015	19.10.2015	1504.272	134.052
107	19.10.2015	21.10.2015	1489.587	54.532
108	21.10.2015	23.10.2015	1505.494	34.095
109	23.10.2015	25.10.2015	1499.665	53.865
110	25.10.2015	27.10.2015	1501.304	69.779
111	27.10.2015	29.10.2015	1504.967	67.729
112	29.10.2015	31.10.2015	1521.412	45.274
113	31.10.2015	02.11.2015	1499.458	70.505
114	02.11.2015	04.11.2015	1474	116.954
115	04.11.2015	06.11.2015	1481.596	31.858
116	06.11.2015	08.11.2015	1492.568	57.250
117	08.11.2015	10.11.2015	1491.808	49.866
118	10.11.2015	12.11.2015	1461.732	94.162
119	12.11.2015	14.11.2015	1480	70.899
120	14.11.2015	16.11.2015	1497.862	34.509
121	02.12.2015	03.12.2015	1408.955	98.633
122	03.12.2015	05.12.2015	1481.266	47.871

1	2	3	4	5
123	16.12.2015	17.12.2015	953.405	34.749
124	17.12.2015	19.12.2015	934.718	147.007
125	19.12.2015	21.12.2015	1461.281	152.325
126	21.12.2015	23.12.2015	1247.665	89.383
127	23.12.2015	25.12.2015	1460.296	77.861
128	25.12.2015	27.12.2015	1449.222	73.260
129	27.12.2015	29.12.2015	1421.433	84.056
130	29.12.2015	31.12.2015	1471.437	96.402
131	31.12.2015	02.01.2016	624.052	103.437
132	02.01.2016	04.01.2016	1471	60.381
133	04.01.2016	06.01.2016	1451.652	53.319
134	06.01.2016	08.01.2016	1405.807	68.687
135	08.01.2016	10.01.2016	1487.685	93.508
136	10.01.2016	12.01.2016	1475.214	31.548
137	12.01.2016	14.01.2016	1468.986	58.367
138	14.01.2016	16.01.2016	1482.389	85.214
139	16.12.2016	18.01.2016	1467.289	66.769
140	18.01.2016	20.01.2016	1472.572	120.904
141	20.01.2016	22.01.2016	1478.931	34.863
142	22.01.2016	24.01.2016	1482.228	68.970
143	24.01.2016	26.01.2016	1493.694	49.347
144	26.01.2016	28.01.2016	1477.387	55.679
145	28.01.2016	30.01.2016	1461.081	85.019
146	30.01.2016	01.02.2016	955.983	102.293
147	01.02.2016	03.02.2016	1459.919	120.883
148	03.02.2016	05.02.2016	1275.22	89.835
149	05.02.2016	07.02.2016	1473.06	67.872
150	07.02.2016	09.02.2016	1493.56	92.698
151	09.02.2016	11.02.2016	1458.168	69.958
152	11.02.2016	13.02.2016	1439.315	62.627
153	13.02.2016	15.02.2016	1459.9	94.856
154	15.02.2016	17.02.2016	1473.517	116.571
155	17.02.2016	19.02.2016	1476.959	57.368
156	19.02.2016	21.02.2016	1484.413	92.717
157	21.02.2016	23.02.2016	1495.454	46.307
158	23.02.2016	25.02.2016	1507.458	42.602
159	25.02.2016	27.02.2016	1508.344	40.528
160	27.02.2016	29.02.2016	1507.103	74.514
161	29.02.2016	02.03.2016	1503.331	56.162
162	02.03.2016	04.03.2016	1496.239	158.591
163	04.03.2016	06.03.2016	1509.084	107.721
164	06.03.2016	08.03.2016	1517.17	104.748

1	2	3	4	5
165	08.03.2016	10.03.2016	1499.14	57.119
166	10.03.2016	12.03.2016	1507945	60.407
167	12.03.2016	14.03.2016	1494.509	153.970
168	14.03.2016	16.03.2016	1495.003	34.308
169	16.03.2016	18.03.2016	1493.27	25.280
170	18.03.2016	20.03.2016	1487.904	36.299
171	20.03.2016	22.03.2016	1496.302	28.036
172	22.03.2016	24.03.2016	1512.81	27.723
173	24.03.2016	26.03.2016	1500.615	39.557
174	26.03.2016	28.03.2016	1511.672	31.938
175	28.03.2016	30.03.2016	1515.145	40.174
176	30.03.2016	01.04.2016	1511.586	36.908
177	01.04.2016	03.04.2016	1495.165	37.180
178	03.04.2016	05.04.2016	1499.503	27.162
179	05.04.2016	07.04.2016	1509.406	24.997
180	07.04.2016	09.04.2016	1512.251	44.344
181	09.04.2016	11.04.2016	1510	47.199

2.2. Методика измерения и обработки результатов

Экспериментальная установка состоит из двух частей:

1. оборудование для сбора образцов (пробоотборник);
2. оборудование, в котором анализируются образцы, – это ионные хроматографы (Хроматографы -Dionex ICS-3000) и термографы (C-mat 5500, Ströhlein, Germany).

2.2.1. Ионная хроматография.

Ионная хроматография (или ионообменная хроматография) использует процесс хроматографии, разделяющий ионы и полярные молекулы на основе их сродства к ионообменнику. Он работает практически с любым видом заряженных молекул, включая большие белки, маленькие нуклеотиды и аминокислоты. Ионная хроматография должна проводиться в условиях, которые находятся на расстоянии одной единицы от изоэлектрической точки белка [119 - 146].

Оборудование, в котором проанализированы образцы, - ионный хроматограф Dionex ICS-3000 (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Ионный хроматограф Dionex ICS-3000

Органический и элементарный углерод анализировался двухстадийным термографическим методом с недисперсионным инфракрасным датчиком (NDIR) (рисунок 2.5).

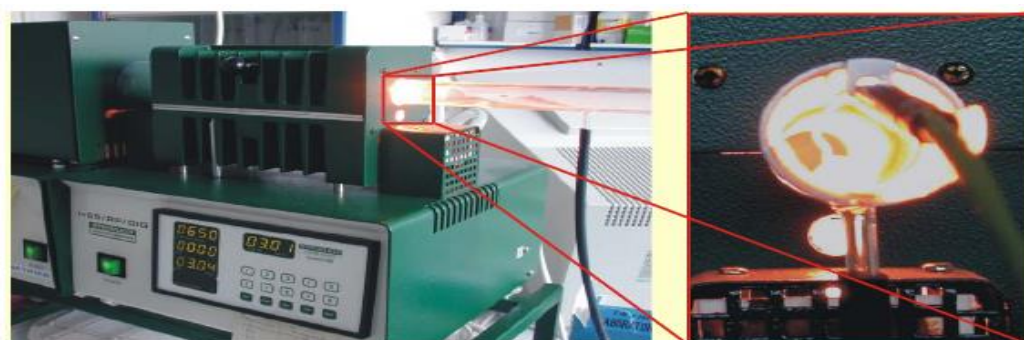


Рисунок 2.5 – Двухстадийный термографический метод [146].

2.2.2. Метод математической статистики. Для обработки результатов измерений использовался пакет стандартных программ Excel. Для выборки величин x вычислялись средние ($\langle x \rangle$), минимальные (x_{\min}), максимальные (x_{\max}) значения, среднеквадратичное отклонение (σ), коэффициент вариации ($V = \sigma / \langle x \rangle$), погрешность ($S_n = \sigma / n$), геохимический индекс загрязнения ($I = 2x / 3x_{\min}$), интегральный индекс загрязнения ($PI = 0.98x / x_{\min}$), доверительный интервал ($\delta = t_c \sigma / \sqrt{n}$), отношение концентрации ($D = x_{\max} / x_{\min}$) и ошибка

среднего значения ($\delta / \langle x \rangle$). Среднеквадратичное отклонение для выборки $(x_1), \dots, (x_n)$ вычислялось по формуле:

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1}} \quad (2.2.1)$$

При числе измерений много больше десяти, максимальное практически возможное отклонение истинной величины от среднего арифметического меньше чем σ . Средние значения $\langle x \rangle$ равны:

$$\langle x \rangle = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2.2.2)$$

Коэффициент корреляции для двух различных выборок $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ оценивался как:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \langle x \rangle)(y_i - \langle y \rangle)}{\sqrt{\sum (x_i - \langle x \rangle)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \langle y \rangle)^2}} \quad (2.2.3)$$

Уравнение регрессии

$$y_x = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}) + \bar{y} \quad (2.2.4)$$

Коэффициент детерминации для линейной регрессии равен квадрату коэффициента корреляции

$$R^2 = r_{xy}^2 \quad (2.2.5)$$

Он вычислялся по следующей формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.2.6)$$

С вероятностью $P(t) = 0,99$ генеральное среднее значения

$$X_{ген} = X_{выб.} \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.2.7)$$

Связь значения t и вероятности $P(t)$ с нужным доверительным интервалом, получается из таблицы Стьюдента.

ГЛАВА 3. ИОННЫЙ И КАРБОНОВЫЙ СОСТАВ ПРОБ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

3.1. Ионный (анионный и катионный) состав проб атмосферного аэрозоля

Ионный состав собранных образцов аэрозоля делится на две группы: анионы и катионы.

Анионная группа. Группа анионов состоит из 7 анионов: хлора (Cl^-), нитрата (NO_3^-), сульфата (SO_4^{2-}), нитрита (NO_2^-), брома (Br^-), фтора (F^-) и фосфата (PO_4^{3-}).

3.1.1. Анионы хлора. Одним из основных источников анионов хлора являются моря и океаны.

Дневные вариации содержания анионов хлора Cl^- в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.1. На рисунке 3.2 приведены месячные изменения концентрации анионов хлора в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в декабре (2015). На рисунке 3.3 представлены сезонные изменения анионов хлора, наиболее высокие значения зимой и минимальные – весной.

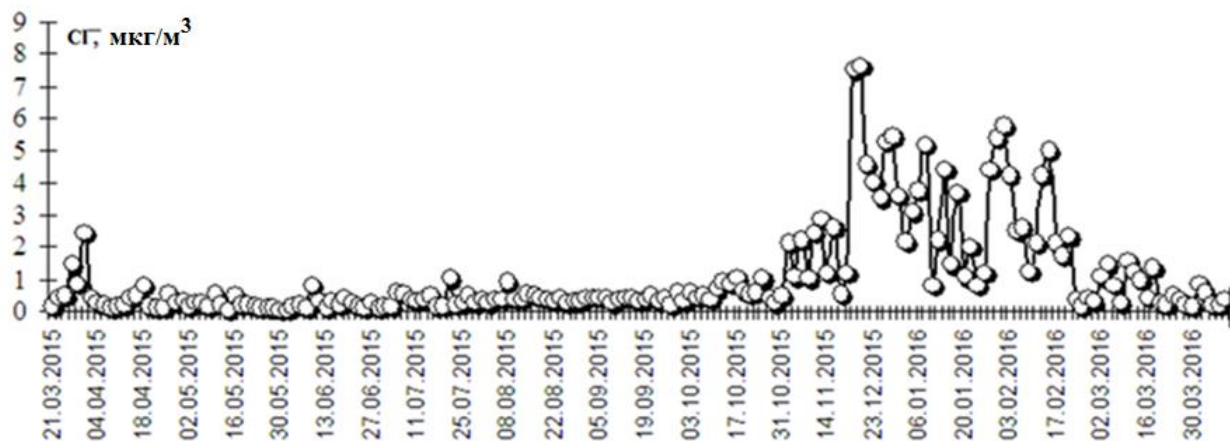


Рисунок 3.1.- Дневные вариации содержания анионов хлора Cl^- в атмосферном аэрозоле.

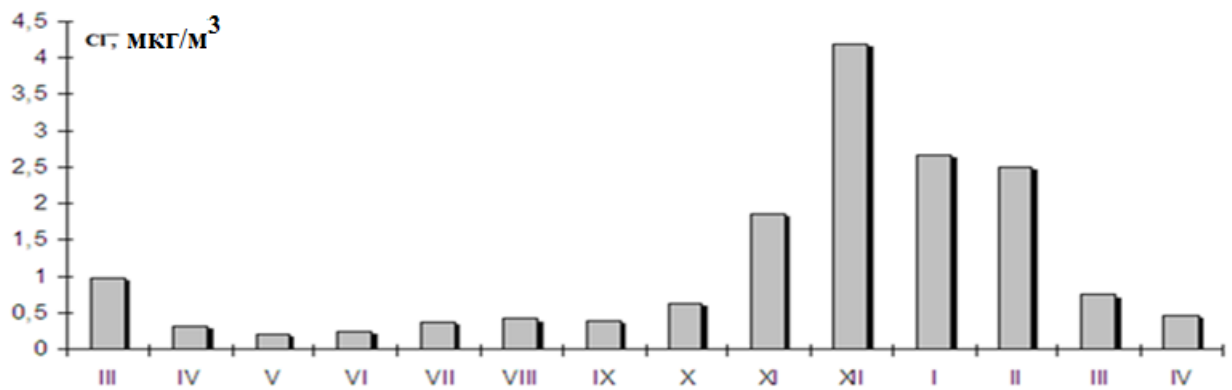


Рисунок 3.2. - Изменения среднемесячной концентрации анионов хлора.

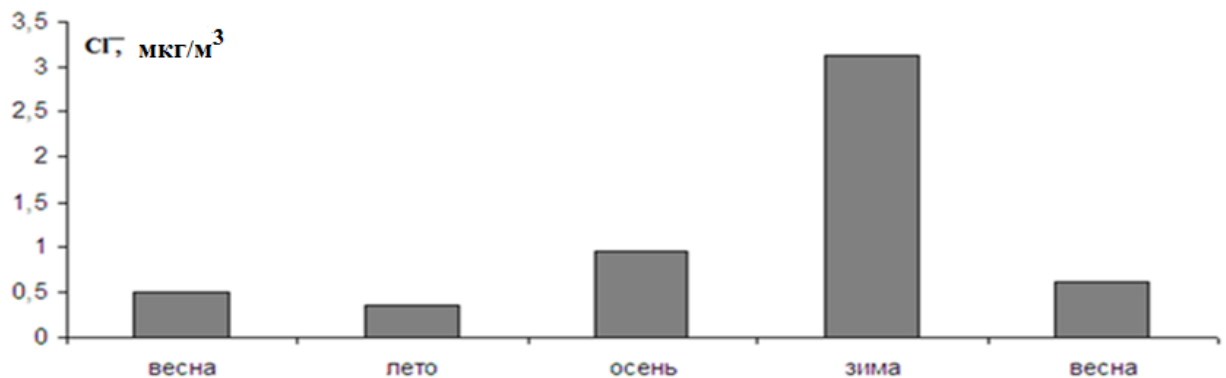


Рисунок 3.3. - Сезонные изменения концентрации анионов хлора.

При максимальном содержании анионов хлора (7.64 мкг/м^3 , 9.12.2015). воздушный поток, наблюдаемый в Душанбе на высоте 1000 м начинался на высоте более 5000м над Бискайским заливом; на высоте 2000 м – в 2500 м над территорией Ирландии; на высоте 3000 м – в 4500 м над Балеарским морем (рисунок 3.4). Среднее содержание анионов хлора (1.113 ± 0.0175) мкг/м^3 .

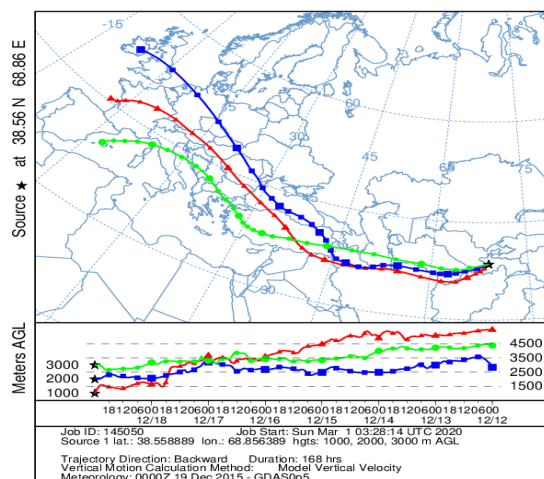


Рисунок 3.4. - Обратная траектория воздушных потоков.

3.1.2. Анионы нитратов и сульфатов. Основными источниками ионов сульфата и нитрата, видимо, являются выбросы промышленных предприятий, ТЭЦ и транспорта. Дневные вариации содержания анионов нитрата NO_3^- в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.5. На рисунке 3.6 приведены месячные изменения концентрации анионов нитрата в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в феврале (2016). На рисунке 3.7. представлены сезонные изменения анионов нитрата, наиболее высокие значения зимой, а минимальные – весной 2015 года.

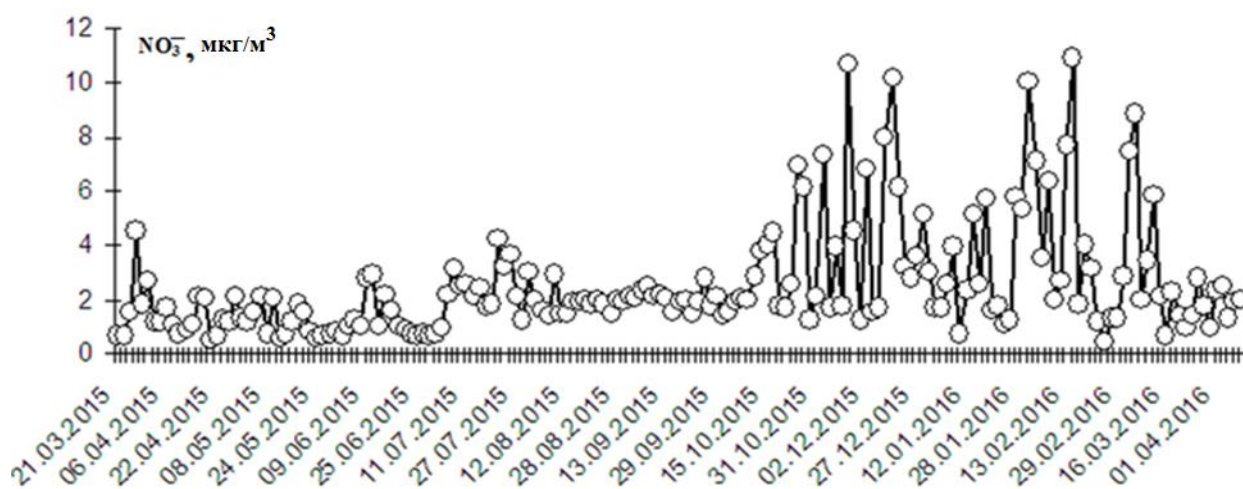


Рисунок 3.5. - Дневные вариации содержания анионов нитрата NO_3^- .

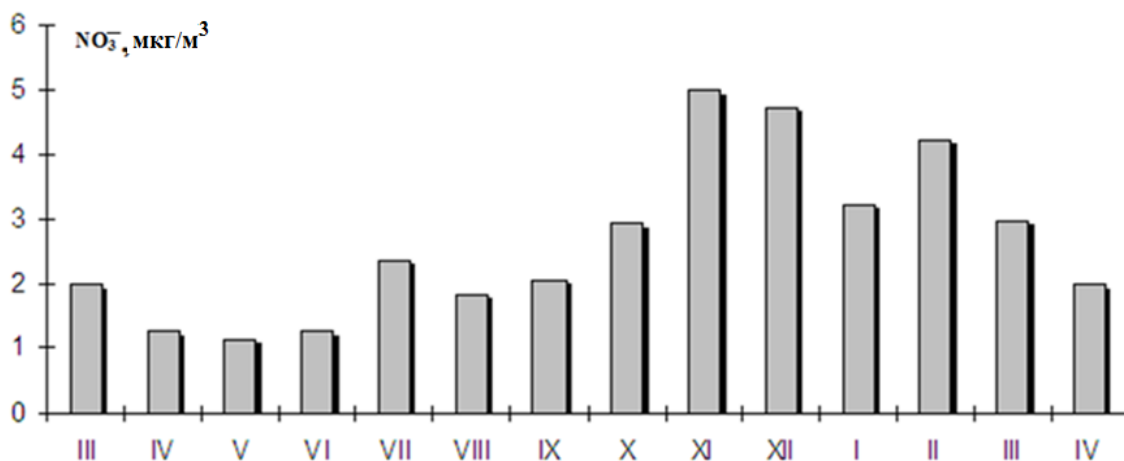


Рисунок 3.6. - Изменения среднемесячной концентрации анионов нитрата.

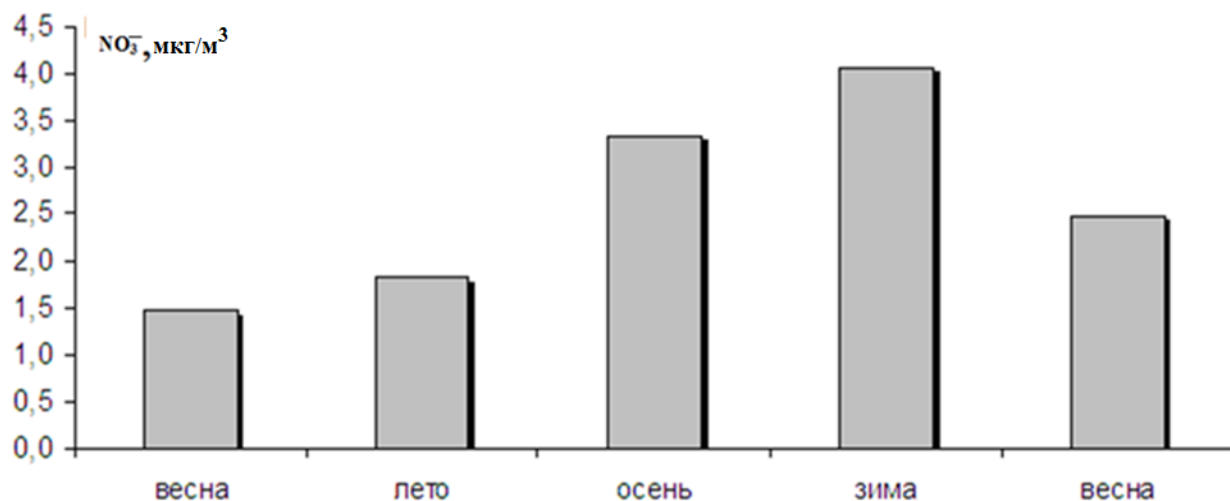


Рисунок 3.7. - Сезонные изменения концентрации анионов нитрата.

Дневные вариации содержания анионов сульфата SO_4^{2-} в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.8. На рисунке 3.9 приведены месячные изменения концентрации анионов сульфата в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в феврале (2016). На рисунке 3.10 представлены сезонные изменения анионов сульфата, наиболее высокие значения зимой, а минимальные – весной.

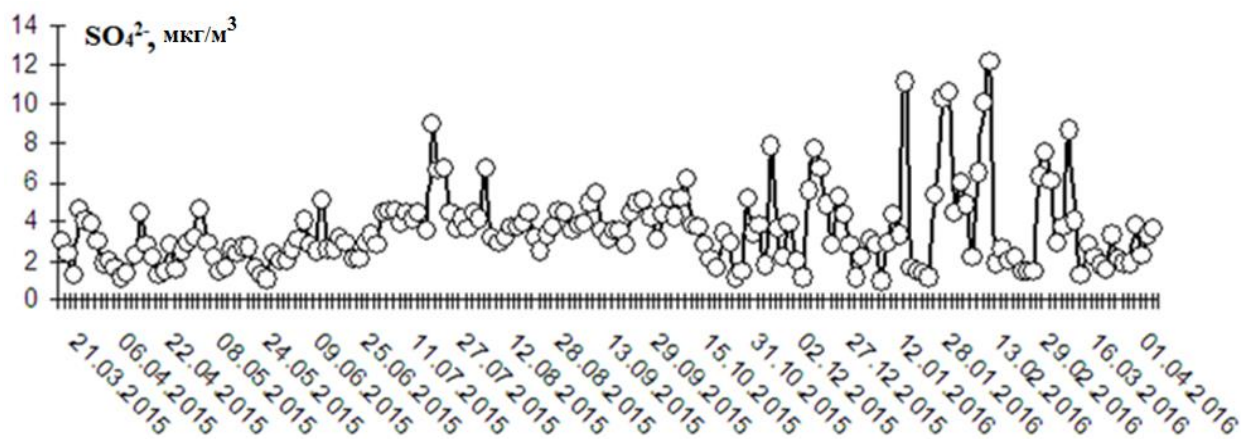


Рисунок 3.8. - Дневные вариации содержания анионов сульфата SO_4^{2-} .

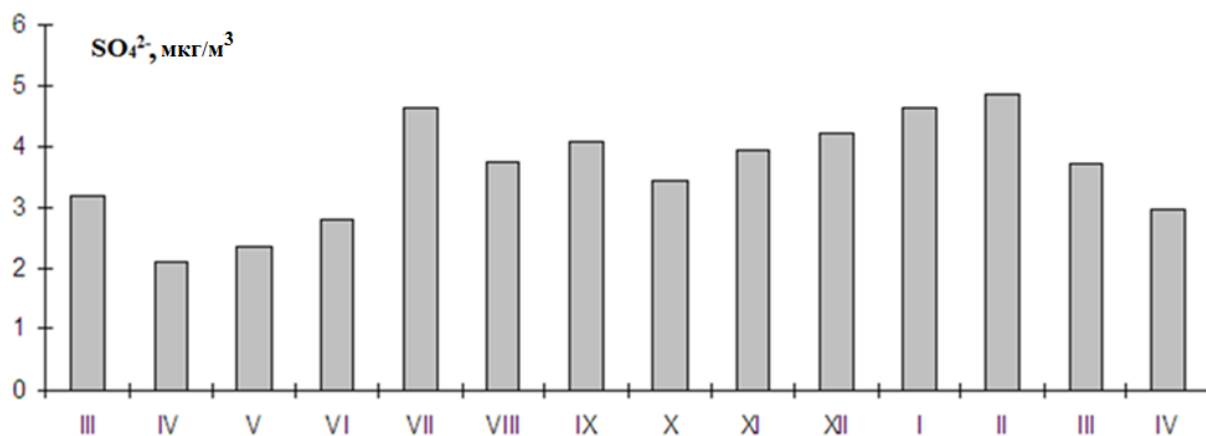


Рисунок 3.9. - Изменения среднемесячной концентрации анионов сульфата.

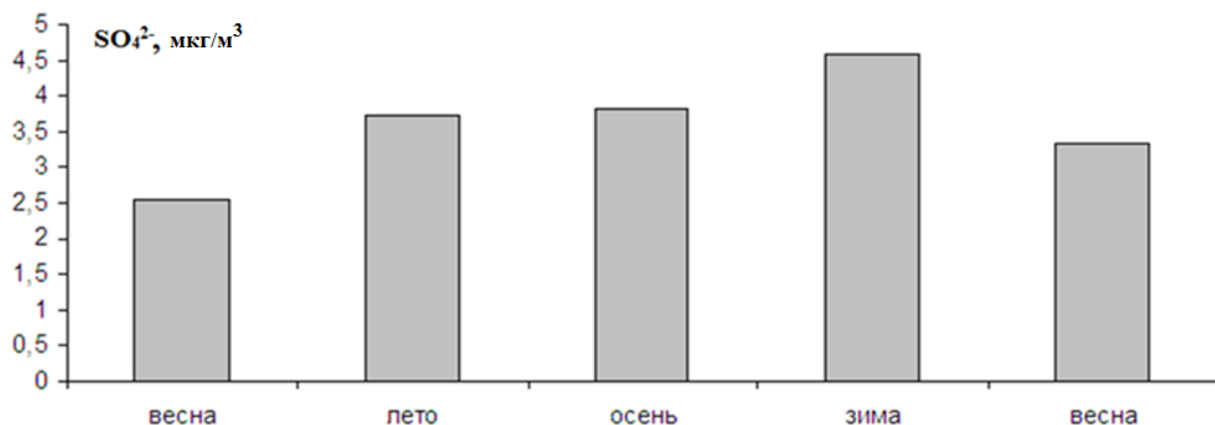


Рисунок 3.10. - Сезонные изменения концентрации анионов сульфата.

При максимальном содержании анионов нитратов ($10.902 \text{ мкг}/\text{м}^3$) и сульфатов ($12.155 \text{ мкг}/\text{м}^3$) – 15.02.2015 воздушный поток, наблюдаемый в г.Душанбе: на высоте 1000м начинался над Сирией (на высоте более ~ 5000 м), на высоте 2000м начинался над Норвежским морем (на высоте более ~ 6500 м), на высоте 3000м начинался над Италией (на высоте более ~ 5000 м) (рисунок 3.11). Среднее содержание анионов нитратов (2.603 ± 0.0242) $\text{мкг}/\text{м}^3$ и сульфатов (3.647 ± 0.0238) $\text{мкг}/\text{м}^3$

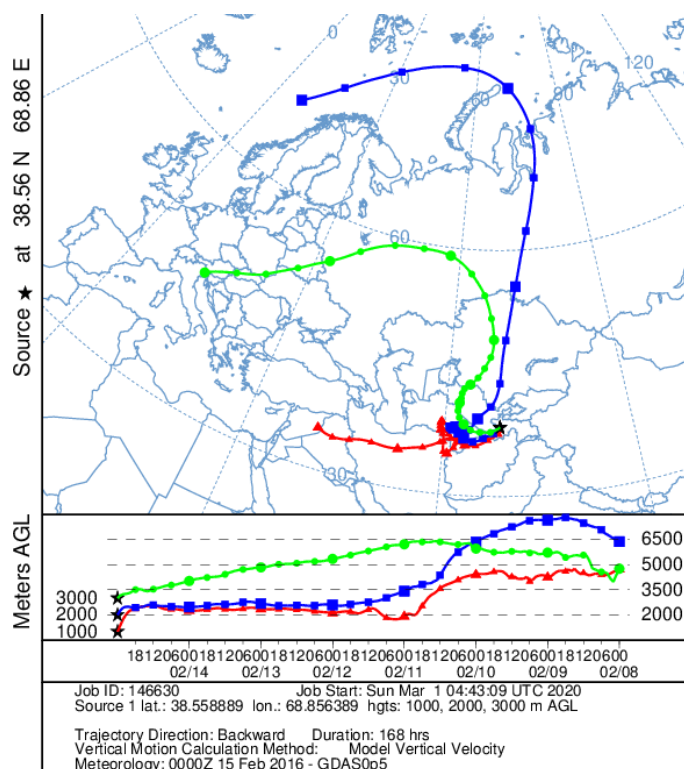


Рисунок 3.11. - Обратная траектория воздушных потоков.

3.1.3. Анионы нитритов

Дневные вариации содержания анионов нитрита NO_2^- в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.12. На рисунке 3.13 приведены месячные изменения концентрации анионов нитрита в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в феврале (2016). На рисунке 3.14 представлены сезонные изменения анионов нитрита, наиболее высокие значения зимой, а минимальные – осень.

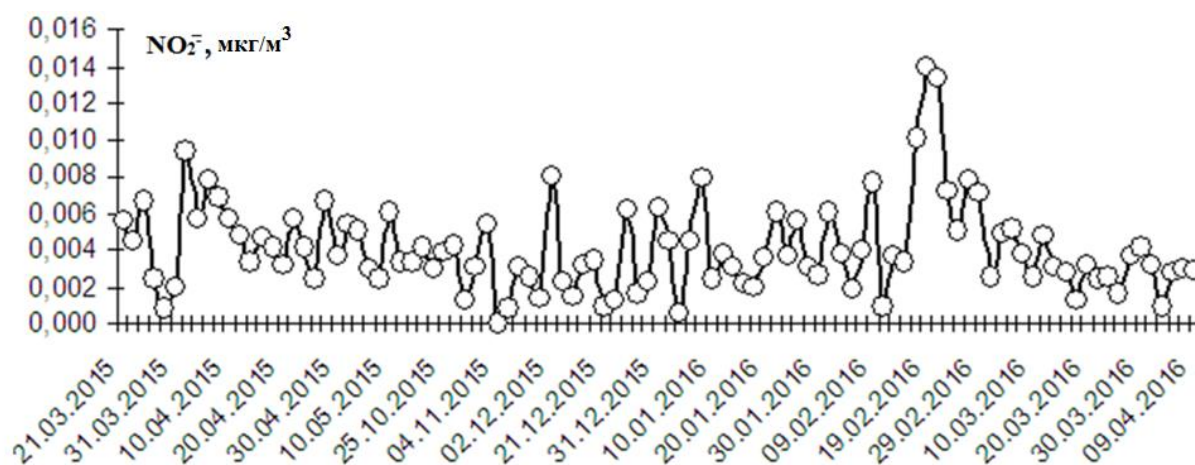


Рисунок. 3.12. - Дневные вариации содержания анионов нитрита NO_2^- .

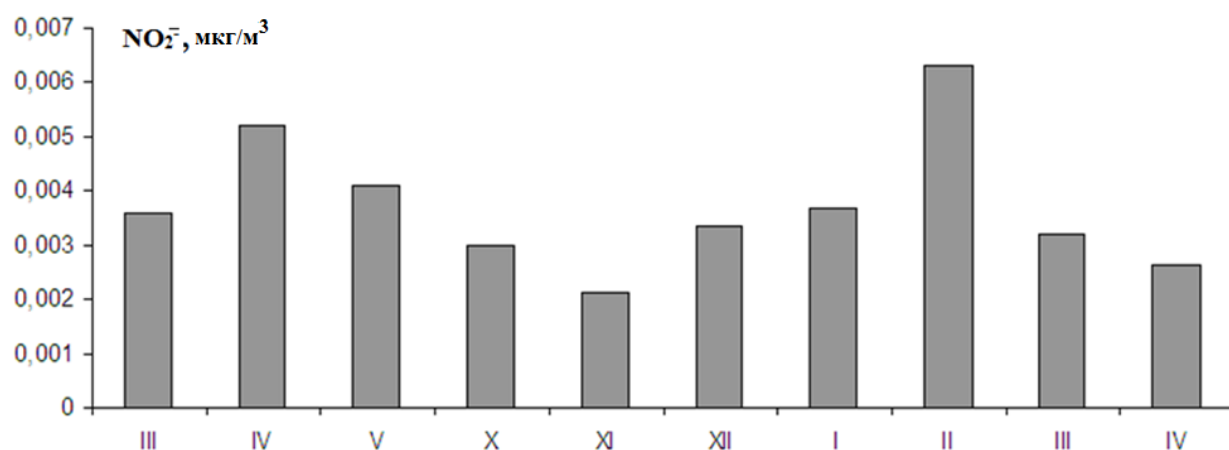


Рисунок. 3.13. - Изменения среднемесячной концентрации анионов нитрита.

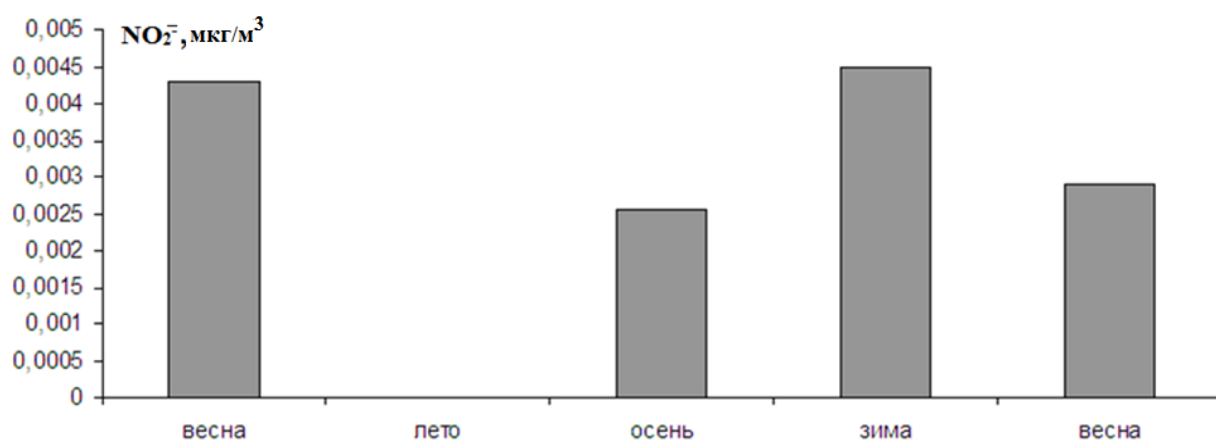


Рисунок. 3.14. - Сезонные изменения концентрации анионов нитрита.

При максимальном содержании анионов нитритов (19.02.2016, 0.014 мкг/м³) воздушный поток, наблюдаемый в г.Душанбе: на высоте 1000 и 2000м начинался над территорией Узбекистана (на высоте ~4000 м); на высоте 3000м - над границей Ирана и Ирака (на высоте более 6000м – (рисунок 3.15). Среднее содержание анионов нитрита (0.004±0.0001) мкг/м³

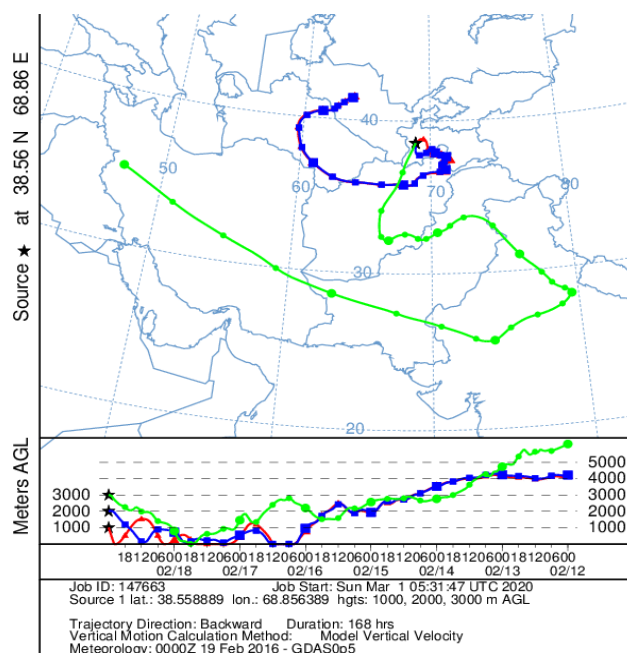


Рисунок 3.15. - Обратная траектория воздушных потоков.

Воздушные потоки по траекториям 1000 м и 2000 м (рисунок 3.15) - 16.02.2016г., приближается к поверхности Земли в точке с координатами (38,654 с.ш; 69,016 в.д.), где находится поселок Чуянгарон (Восточная часть г. Душанбе, 28 км от точки сбора проб), возможно, захват анионов нитрита происходит из верхнего слоя почвы на данном участке траектории.

3.1.4. Анионы брома

Одним из основных источников анионов брома являются морская вода и вода соленых озёр. Каждый год около 40 миллионов тонн брома выбрасывается в атмосферу из соленых морей и озер. Города вблизи морей имеют более высокие концентрации аниона брома в атмосфере, чем города, удаленные от морей.

Дневные вариации содержания анионов брома Br^- в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.16. На рисунке 3.17 приведены месячные изменения концентрации анионов брома в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в декабре (2015). На рисунке 3.18 представлены сезонные изменения анионов брома, наиболее высокие летом и минимальные – весной.

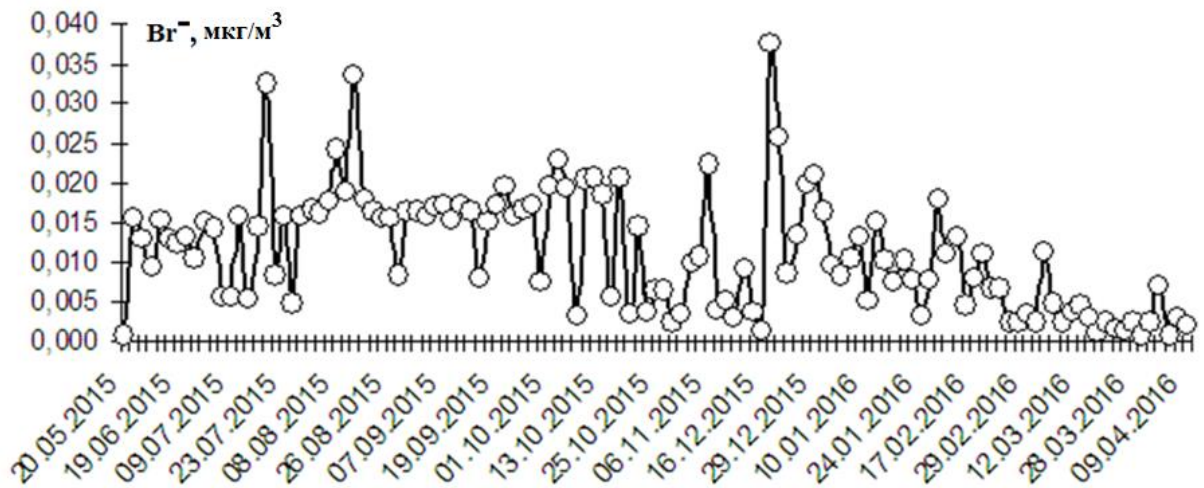


Рисунок 3.16. - Дневные вариации содержания анионов брома Br^- .

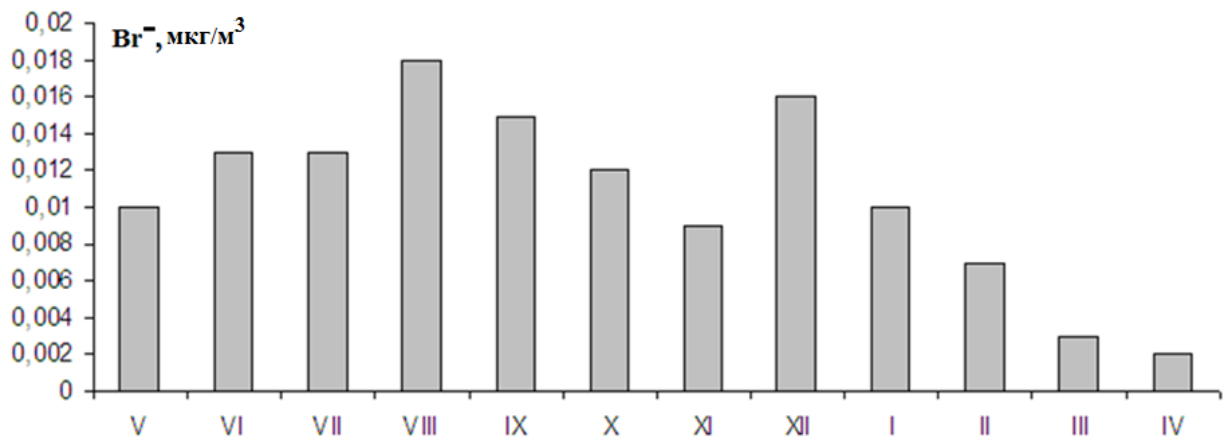


Рисунок 3.17. - Изменения среднемесячной концентрации анионов брома.

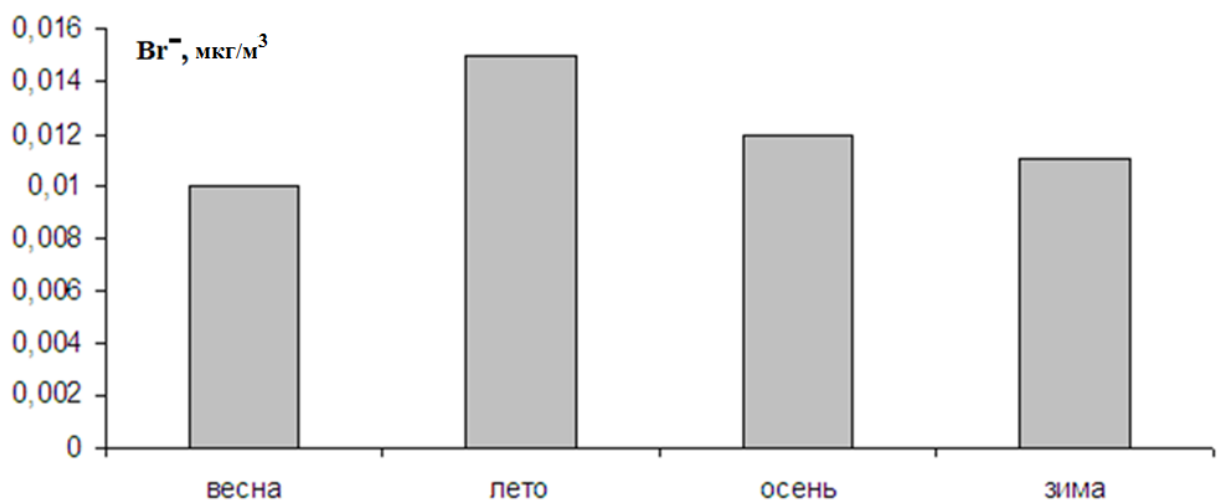


Рисунок 3.18. - Сезонные изменения концентрации анионов брома в атмосферном аэрозоле.

При максимальном содержании анионов брома (17.12.2015, 0.038 мкг/м³) воздушный поток, наблюдаемый в г.Душанбе: на высоте 1000м начинался над Северным Ледовитым океаном (на высоте более ~6000 м); на высоте 2000м – над территорией Саудовской Аравии вблизи Персидского залива (на высоте более ~2000м); и на высоте 3000м – над Египтом вблизи Красного моря (на высоте более ~3000м) (рисунок 3.19). Среднее содержание анионов брома (0.011±0.0002) мкг/м³

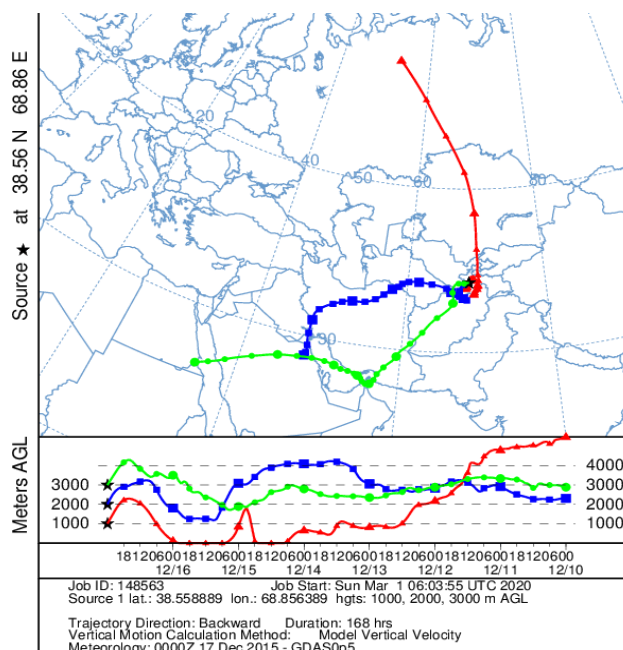


Рисунок 3.19. - Обратная траектория воздушных потоков.

Воздушный поток по траектории на уровне 1000м (рисунок 3.19) - 14.12.2015г., опускается до поверхности Земли в точке с координатами (38,654с. ш; 69,016 в. д.) около поселка Чуянгарон в 28км от точки сбора проб, поэтому захват брома мог происходить из верхнего слоя почвы в этой местности.

3.1.5. Анионы фтора

На самом деле, количество фтора в атмосфере не так велико, но в промышленных зонах (особенно при производстве алюминия) концентрация анионов фтора в атмосфере выше. Такое загрязнение в основном связано с нестабильностью фторидных соединений из ванн с расплавленными

криолитами при производстве алюминия. Из этого можно сделать вывод, что одним из источников анионов фтора является алюминиевый завод.

Дневные вариации содержания анионов фтора F^- в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.20. На рисунке 3.21 приведены месячные изменения концентрации анионов фтора в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в январе (2016). На рисунке 3.22 представлены сезонные изменения анионов фтора, наиболее высокие значения зимой, а минимальные – весной.

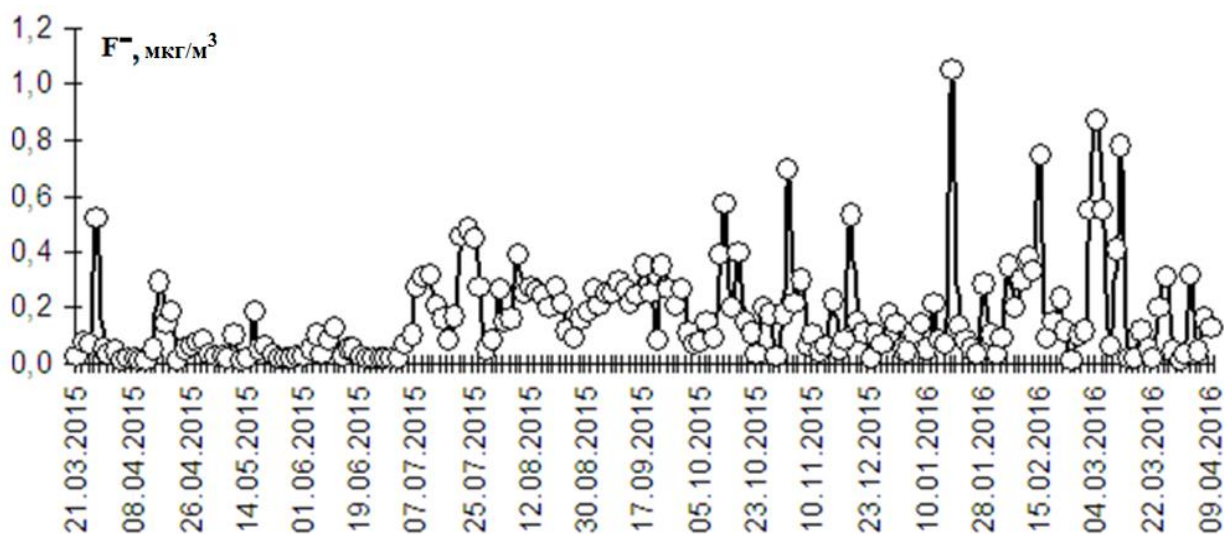


Рисунок 3.20. - Дневные вариации содержания анионов фтора F^- .

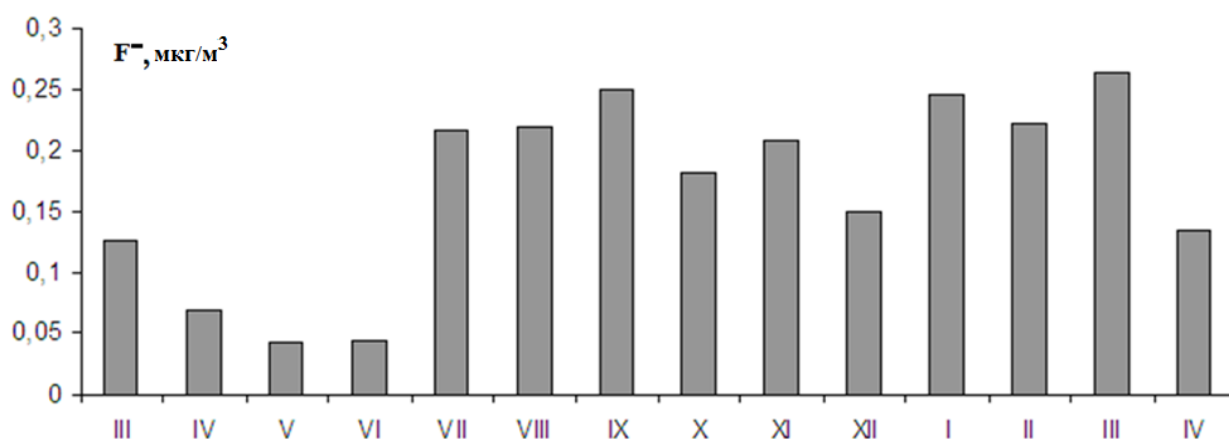


Рисунок 3.21. - Изменения среднемесячной концентрации анионов фтора.

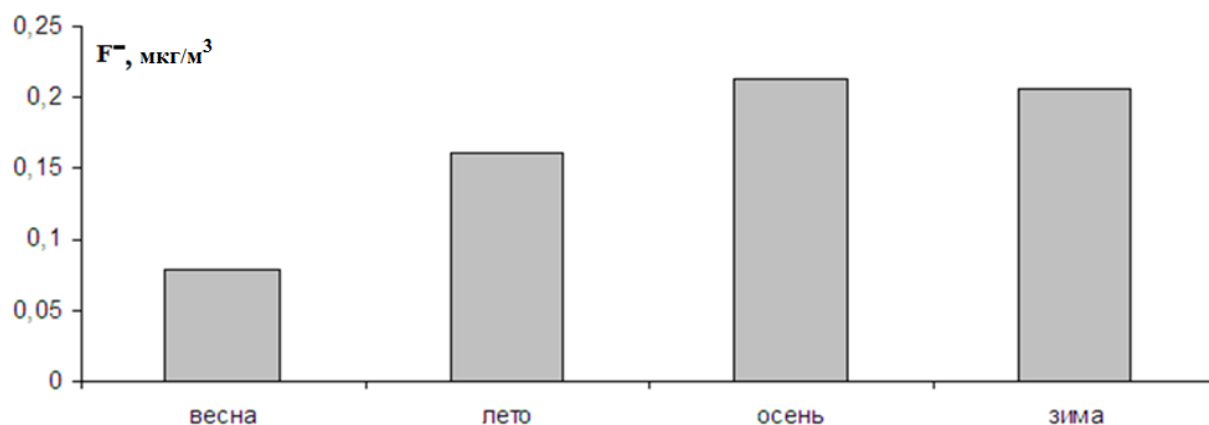


Рисунок 3.22. - Сезонные изменения анионов фтора.

При максимальном содержании анионов фтора (18.01.2016, $1,052\mu\text{г}/\text{м}^3$) воздушный поток, наблюдаемый в г.Душанбе: на высоте 1000м начинался над северной частью Атлантического океана (на высоте $\sim 3000\text{м}$); на высоте 2000м – над территорией России (на высоте $\sim 1500\text{м}$); на высоте 3000 м – над Норвежским морем (на высоте $\sim 1500\text{м}$) (рисунок 3.23). Среднее содержание анионов фтора ($0,172\pm 0,0021$) $\mu\text{г}/\text{м}^3$

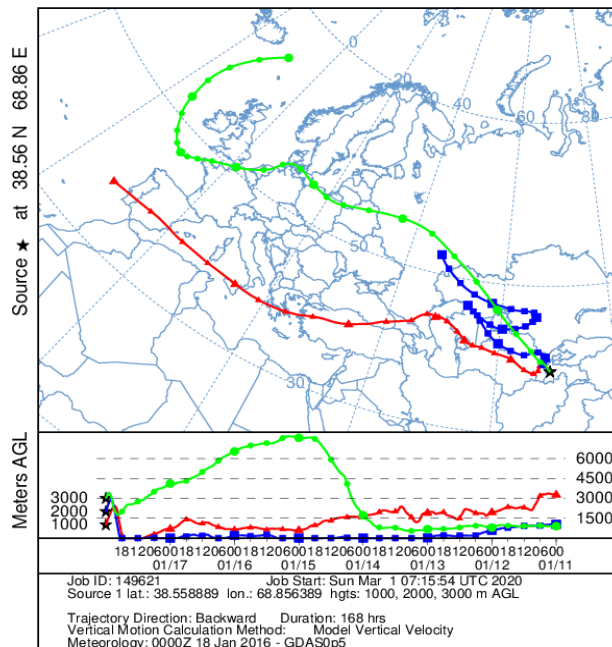


Рисунок 3.23. - Обратная траектория воздушных потоков.

Воздушный поток по траектории, пришедший в г.Душанбе на уровне 2000 м (рисунок 3.23) - 12.01.2015г., практически все время (около 6 суток)

проходил непосредственно над поверхностью почвы. Скорее всего, на этом участке траектории произошел захват ионов брома.

3.1.6. Анионы фосфатов

Анионов фосфата образуются в атмосфере при широком использовании фосфатных удобрений (суперфосфат и т. д.) и полифосфатов (в качестве моющих средств). Дневные вариации содержания анионов фосфата PO_4^{3-} в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.24. На рисунке 3.25 приведены месячные изменения концентрации анионов фосфата в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в декабре (2015). На рисунке 3.26 представлены сезонные изменения анионов фосфата, наиболее высокие значения зимой, а минимальные – тоже зимой.

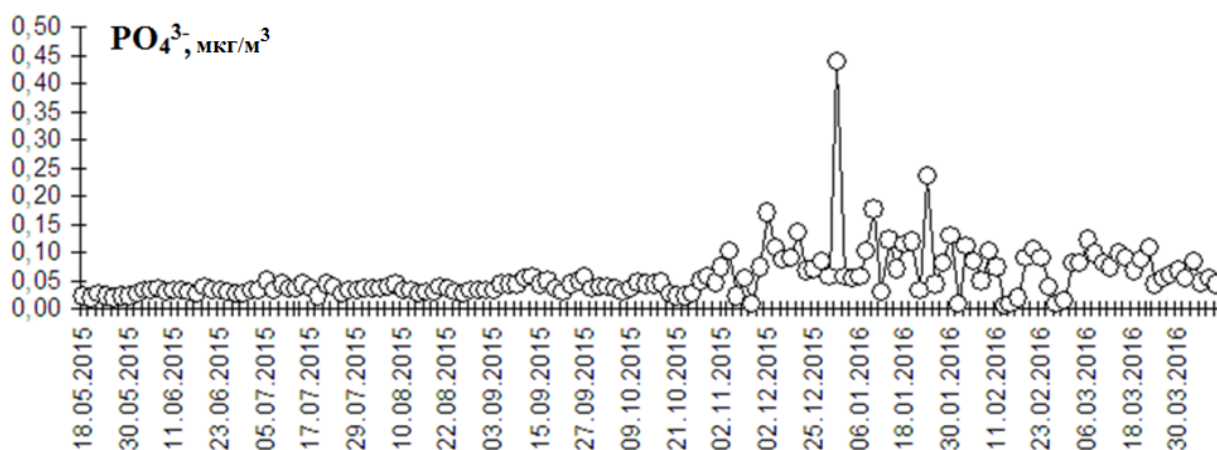


Рисунок 3.24. - Дневные вариации содержания анионов фосфата PO_4^{3-} .

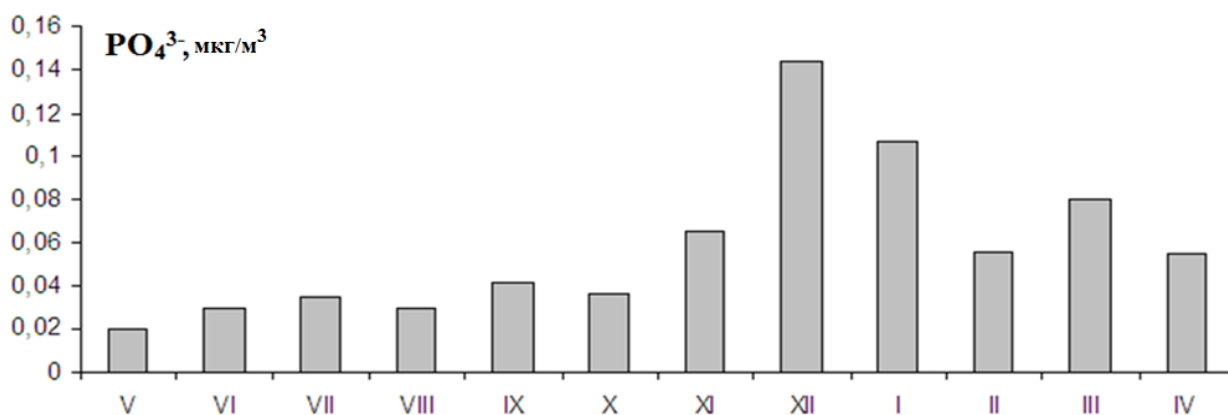


Рисунок 3.25. - Изменения среднемесячной концентрации анионов фосфатов.

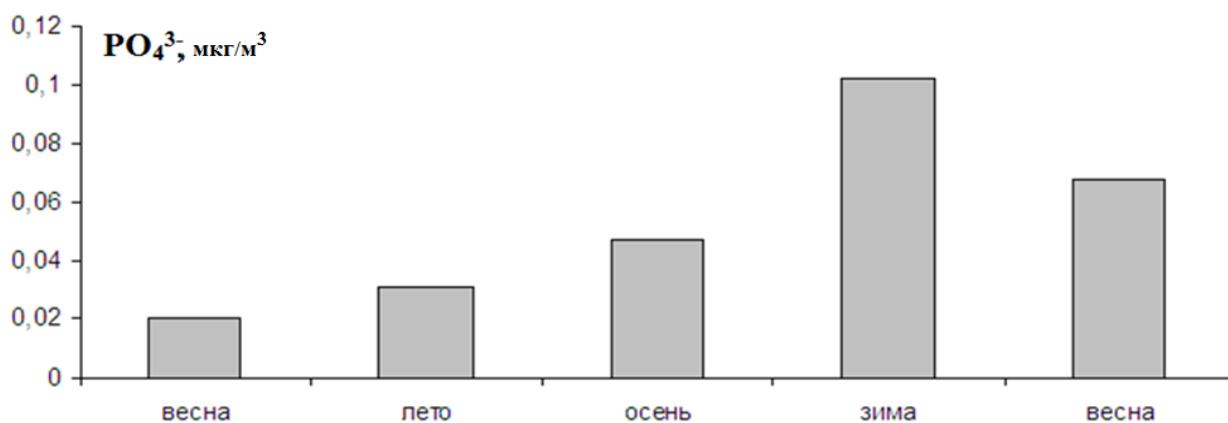


Рисунок 3.26. - Сезонные изменения концентрации анионов фосфата.

При максимальном содержании анионов фосфата (31.12.2015, 0.439 мкг/м³) воздушный поток на высоте 1000м начинается над Северной частью Атлантического океана; 2000м – над территорией России; 3000 м – над Заливом Святого Лаврентия в Канаде (рисунок 3.27). Среднее содержание анионов фтора (0.009 ± 0.0006) мкг/м³

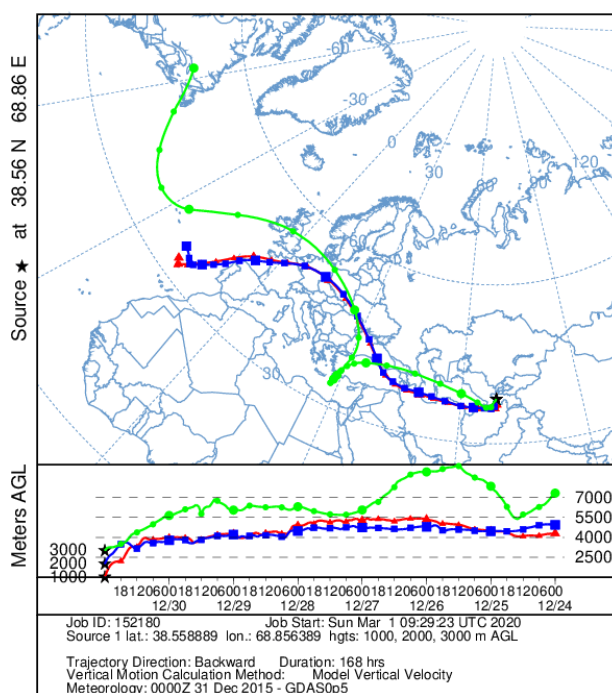


Рисунок.3.27. - Обратная траектория воздушного потока

3.2. Катионная группа. Катионная группа состоит из 5 катионов: натрия (Na^+), аммония (NH_4^+), калия (K^+), магния (Mg^{2+}) и кальция (Ca^{2+}).

3.2.1. Катионы натрия и магния.

Одним из крупнейших источников катионов натрия и магния в атмосферном аэрозоле являются океаны, моря и почвенно-эрозионные источники. Дневные вариации содержания катионов натрия в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.28. На рисунке 3.29 приведены месячные изменения концентрации катионов натрия в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в июле (2015). На рисунке 3.30 представлены сезонные изменения катионов натрия, наиболее высокие значения летом, а минимальные – весна 2015 года.

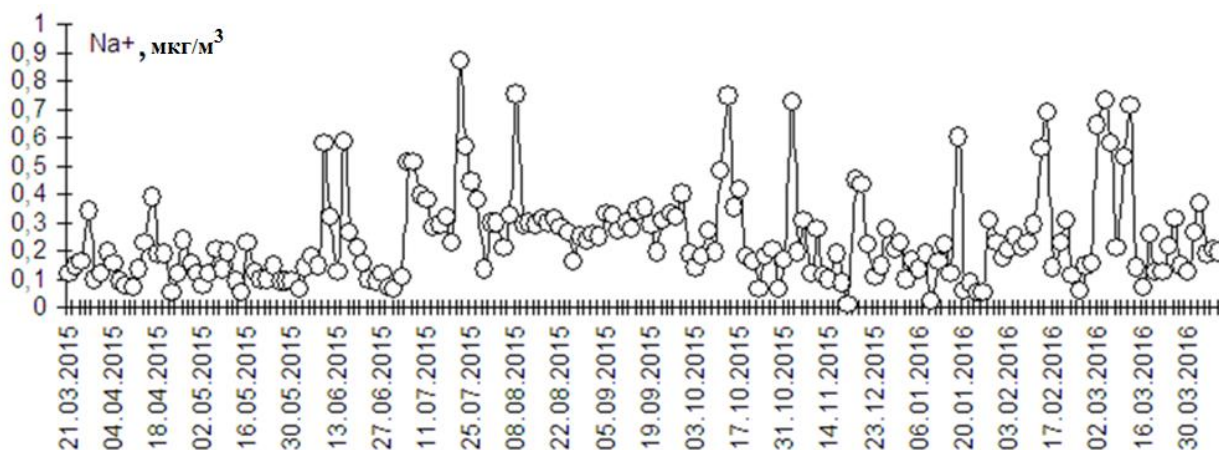


Рисунок 3.28. - Дневные вариации содержания катионов натрия Na^+ е.

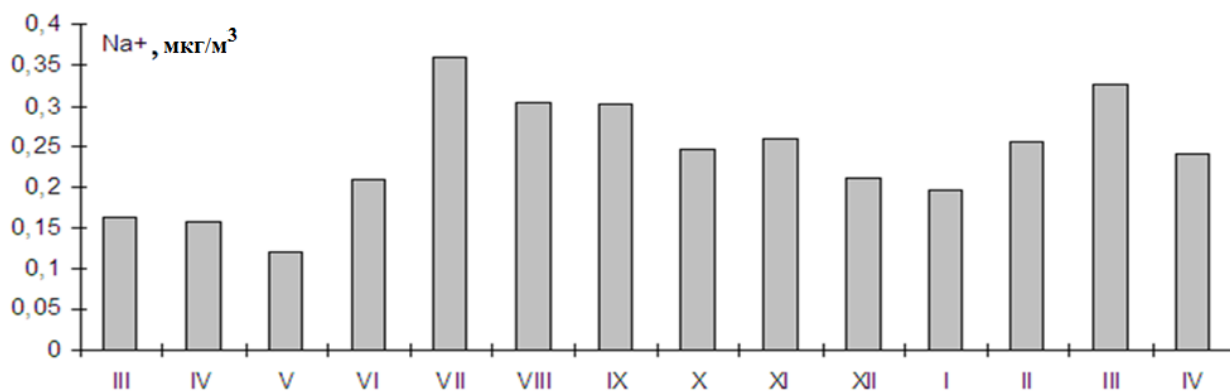


Рисунок 3.29. - Изменения среднемесячной концентрации катионов натрия.

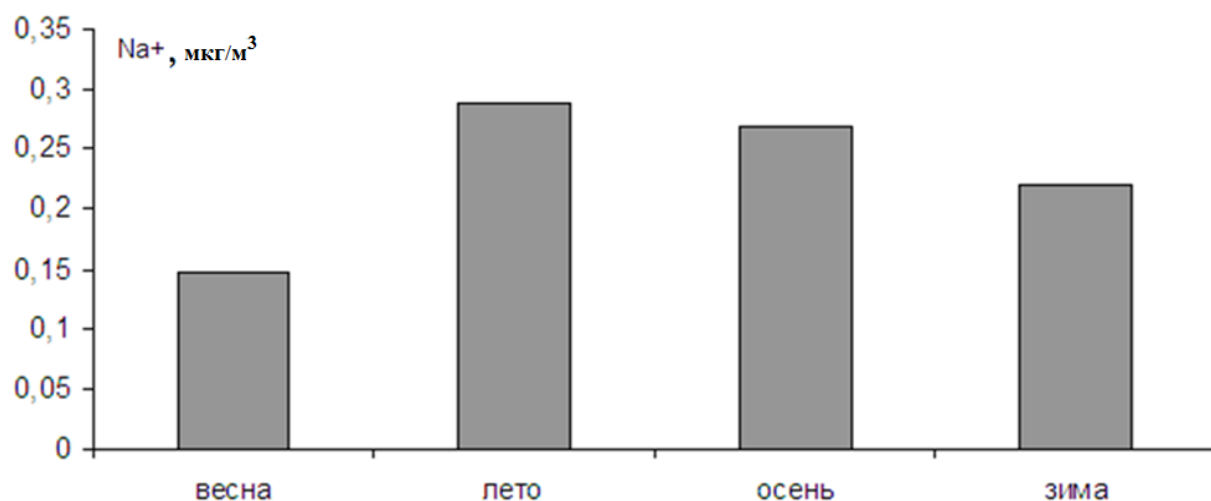


Рисунок 3.30. - Сезонные изменения концентрации катионов натрия.

Дневные вариации содержания катионов магния Mg^{2+} в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.31. На рисунке 3.32 приведены месячные изменения концентрации катионов магния в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в июле (2015). На рисунке 3.33 представлены сезонные изменения катионов магния, наиболее высокие значения летом, а минимальные – весной.

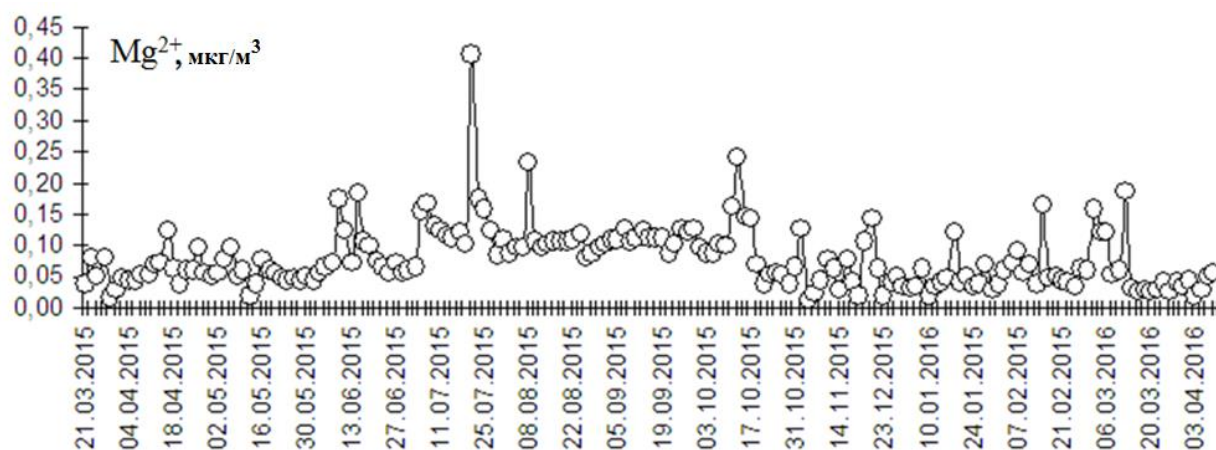


Рисунок 3.31. - Дневные вариации содержания катионов магния Mg^{2+} .

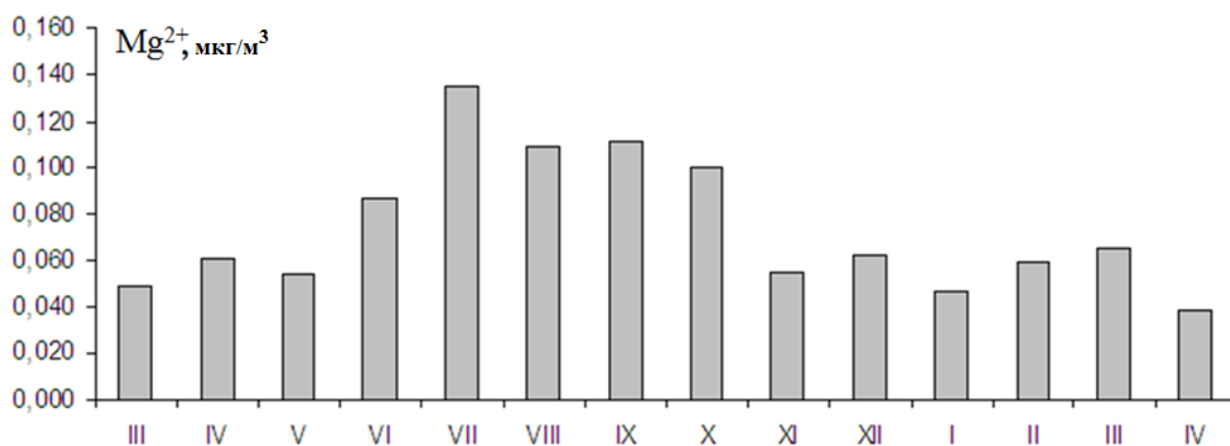


Рисунок 3.32. - Изменения среднемесячной концентрации катионов магния.

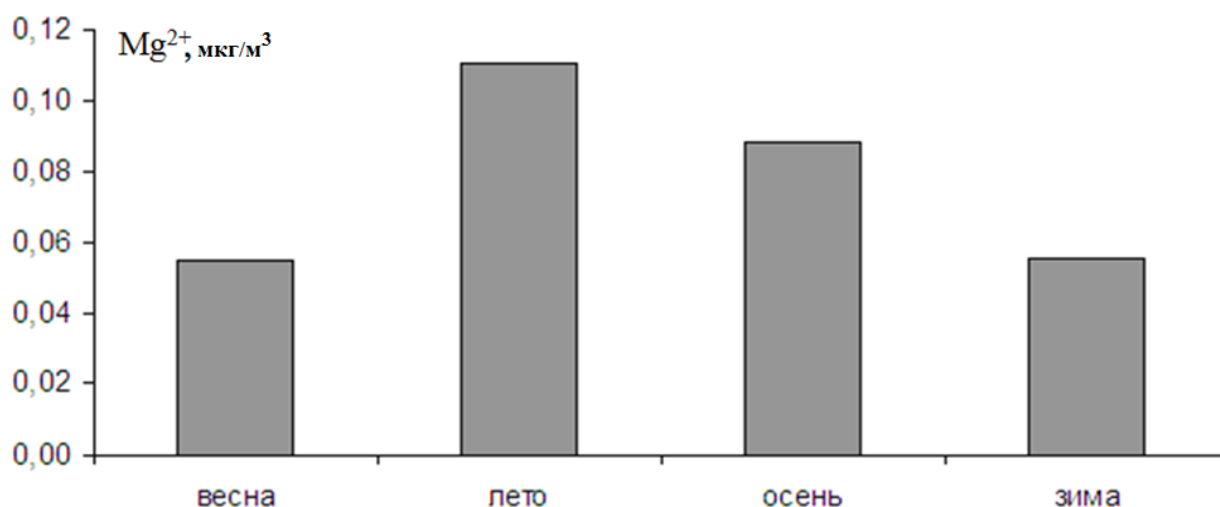


Рисунок 3.33. - Сезонные изменения катионов магния.

При максимальном содержании катионов натрия (0.87 мкг/м^3) и магния ($0,406 \text{ мкг/м}^3$) - 21.07.2015г. воздушный поток на высоте 1000м - начинается над северной частью Атлантического океана; 2000м – над территорией Ирана; 3000м – над озером Балхаш (рисунок 3.34). Среднее содержание катионов натрия ($0,247 \pm 0,0019 \text{ мкг/м}^3$), магния ($0,081 \pm 0,0006 \text{ мкг/м}^3$)

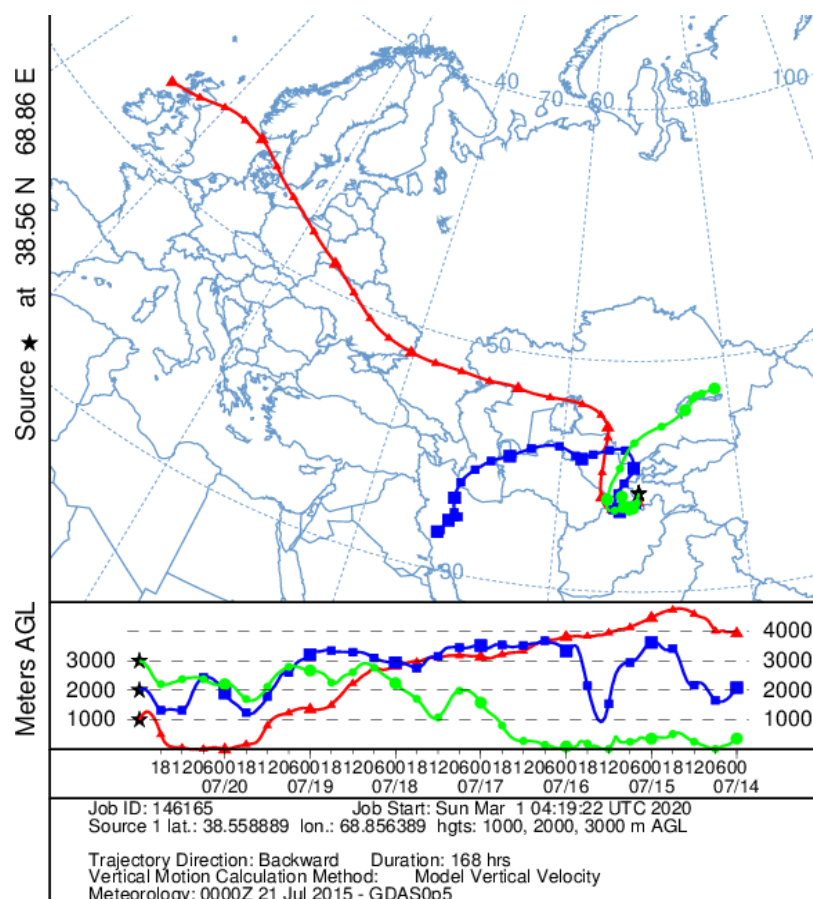


Рисунок 3.34. - Обратная траектория воздушных потоков

Воздушный поток по траектории на уровне 1000 м (рисунок 3.34) - 14.07.2015г. опускался к поверхности Земли в точке с координатами (37,016 с.ш; 67,092 в.д.) в окрестностях поселка Задюн (Афганистан, 280 км к юго-западу от точки сбора проб), а воздушный поток пришедший на уровне 3000 м – опускался к поверхности Земли над озером Балхаш. На этих участках и мог произойти захват ионов натрия и магния из верхнего слоя почвы.

3.2.2. Катион аммония

Основной источник катионов аммония в атмосферном аэрозоле имеет газофазное происхождение. Дневные вариации содержания катионов аммония в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.35. На рисунке 3.36 приведены месячные изменения концентрации катионов аммония в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в феврале (2016). На рисунке 3.37

представлены сезонные изменения концентрации катионов аммония, наиболее высокие значения зимой, а минимальные – весной.

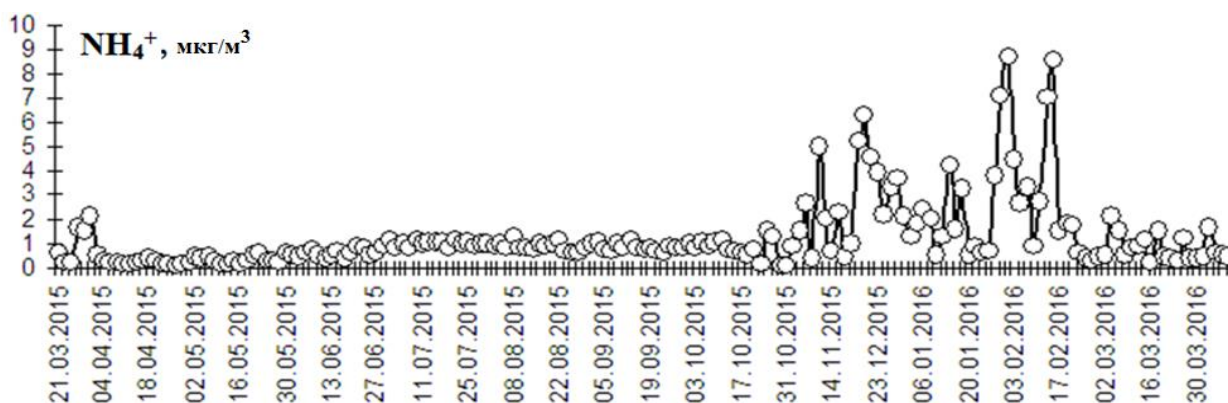


Рисунок 3.35. - Дневные вариации содержания катионов аммония NH_4^+ в атмосферном аэрозоле.

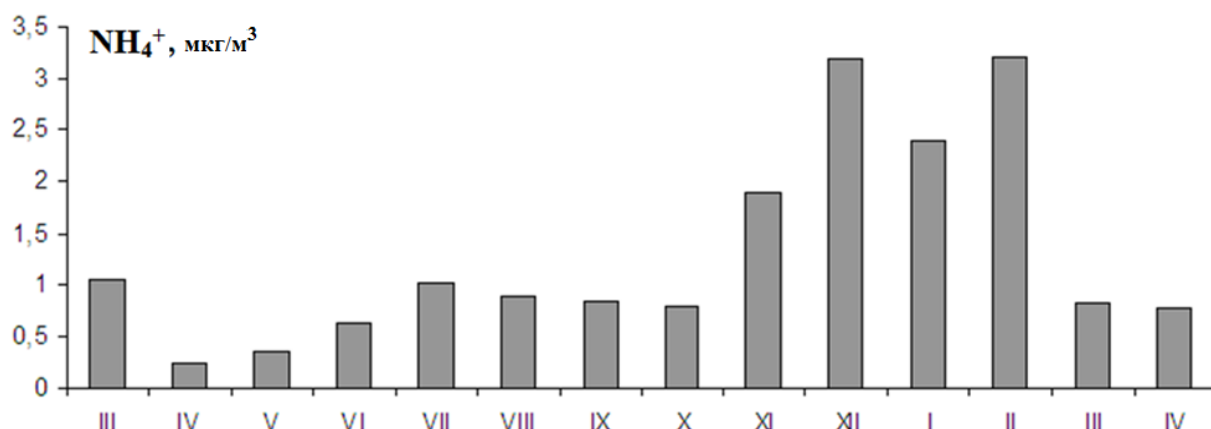


Рисунок 3.36. - Изменения среднемесячной концентрации катионов аммония.

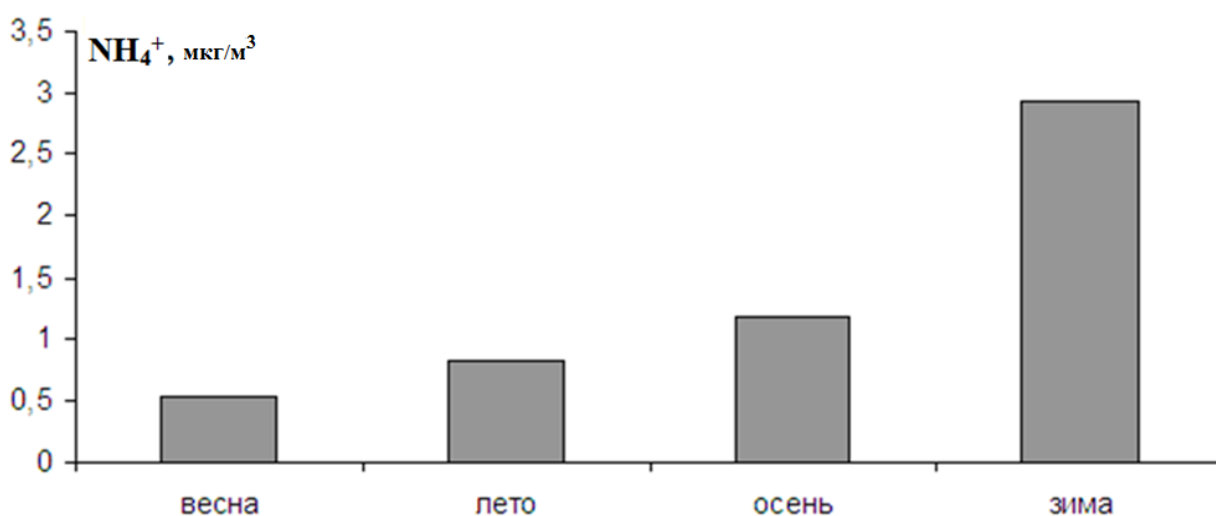


Рисунок 3.37. - Сезонные изменения концентрации катионов аммония.

При максимальном содержании катионов аммония (8.696 мкг/м^3 , 01.02.2016) воздушный поток на высоте 1000 м начинается в Казахстане

вблизи Каспийского моря; 2000 м – вблизи Шпицбергена; 3000 м – над территорией Украина (рисунок 3.38). Среднее содержание катионов аммония ($1.282 \pm 0,0173 \text{ мкг/м}^3$)

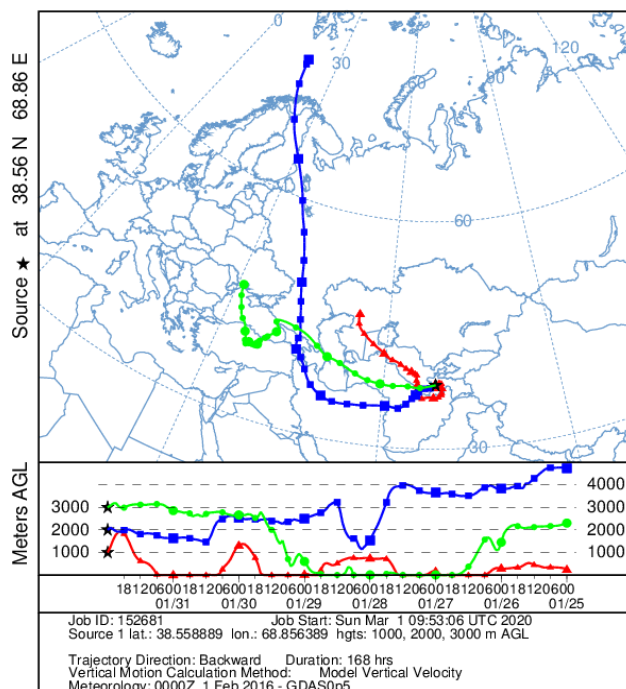


Рисунок 3.38. - Обратная траектория воздушных потоков.

Воздушные потоки по траекториям на уровне 1000 м и 2000 м (рисунок 3.39) - 26.01.2016г. проходят около поверхности Земли с координатами (38,579 с.ш; 68,693 в.д.), где находится Западная ТЭЦ г.Душанбе (12 км от точки сбора проб), где мог произойти захват катионов аммония из верхнего слоя почвы.

3.2.3. Катионы калия

Одним из основных источников катионов калия в атмосферных аэрозолях являются океаны. Дневные вариации содержания катионов калия K^+ в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.39. На рисунке 3.40 приведены месячные изменения концентрации катионов калия в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в декабре (2015). На рисунке 3.41 представлены сезонные изменения катионов калия, наиболее высокие значения зимой, а минимальные – весной.

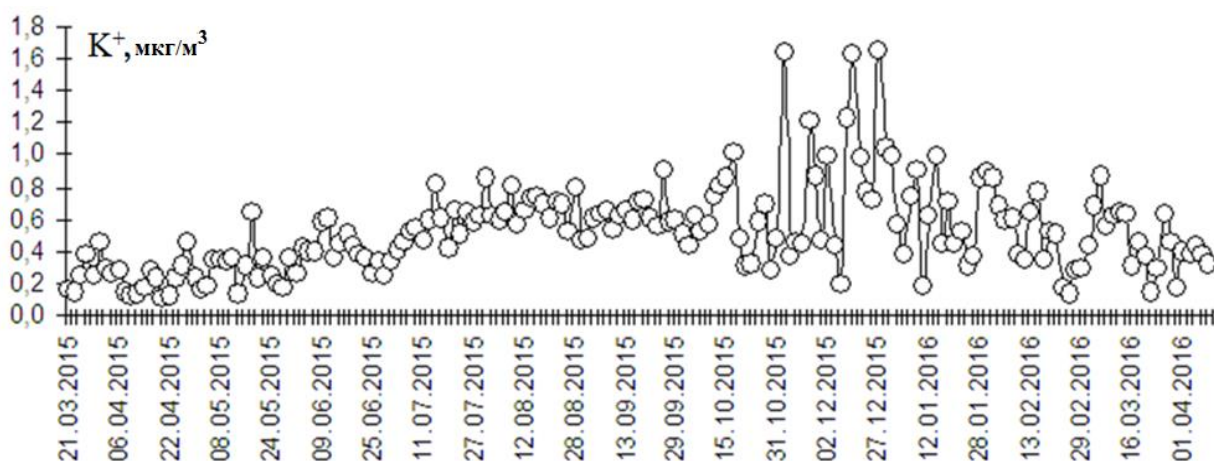


Рисунок 3.39. - Дневные вариации содержания катионов калия K^+ .

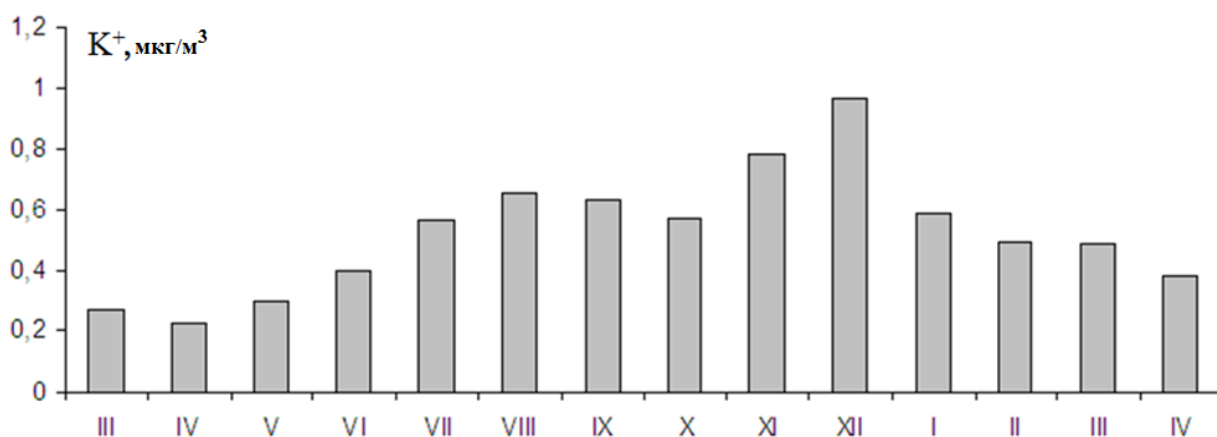


Рисунок 3.40. - Изменения среднемесячной концентрации катионов калия.

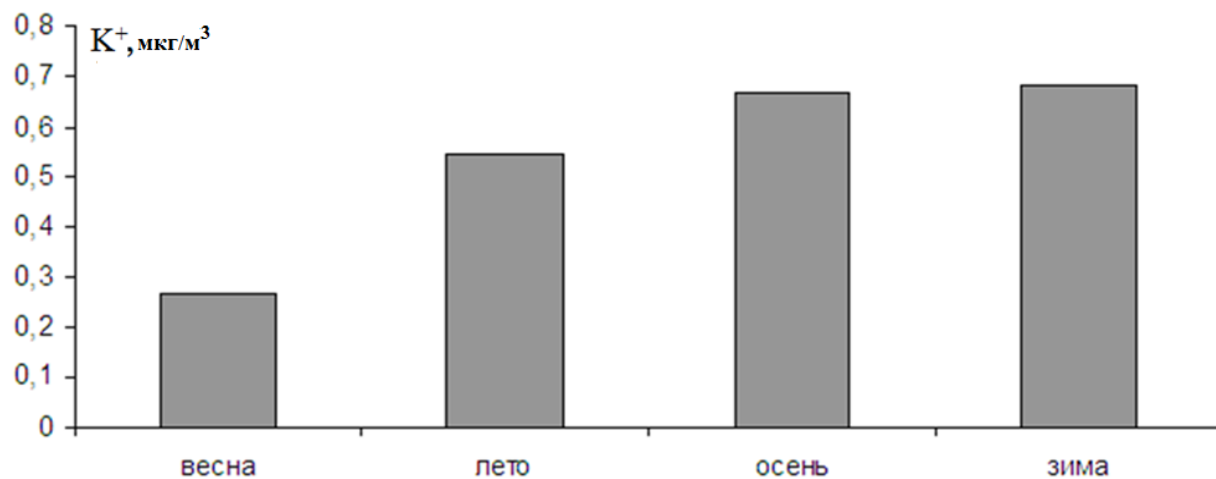


Рисунок 3.41. - Сезонные изменения концентрации катионов калия.

В день с максимальным содержанием катионов калия (1.65 мкг/м^3 , 27.12.2015) воздушный поток на высоте 1000м начинается над Чёрным морем; на высотах 2000м и 3000м – начинался над северной частью

Атлантического океана (рисунок 3.42). Среднее содержание катионов аммония ($0.551 \pm 0,0032$ мкг/м³)

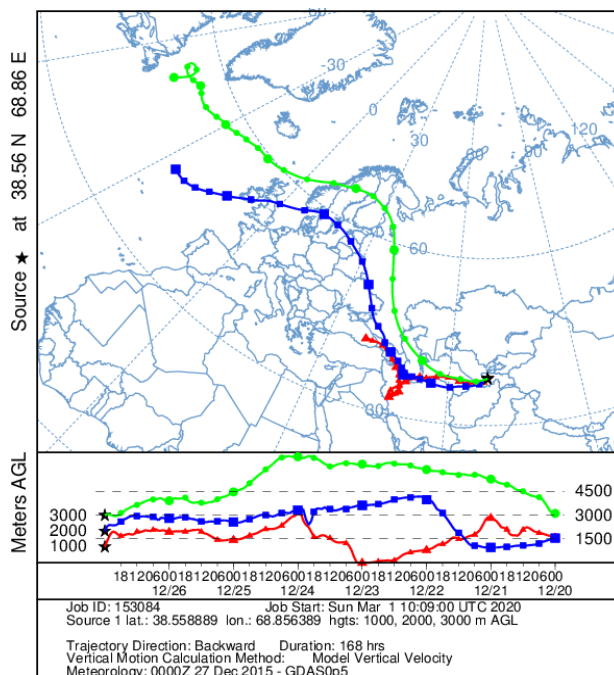


Рисунок 3.42. - Обратная траектория воздушных потоков.

Воздушный поток пришедший на высоте 1000м (рисунок 3.42) - 22.12.2015, опускается к поверхности Земли в точке с координатами (33,058 с.ш; 47,566 в.д.) вблизи поселка Бон-Баба-Ян (Иран, 2040 км к юго-западу от точки сбора проб), где и мог произойти захват катионов калия из верхнего слоя почвы.

3.2.4. Катионы кальция

Основными источниками катионов кальция, поступающего в атмосферу, являются переработка природного сырья, производство цемента и сточные воды (при производстве бумаги, химикатов и фармацевтических препаратов), кальций содержится также в бытовых сточных водах. Другим источником кальция является почвенно-эрозионные процессы. Дневные вариации содержания катионов кальция Ca^{2+} в атмосферном аэрозоле, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунке 3.43. На рисунке 3.44 приведены месячные изменения концентрации катионов кальция в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в марта

(2016). На рисунке 3.45 представлены сезонные изменения катионов кальция, наиболее высокие значения летом, а минимальные – весной.

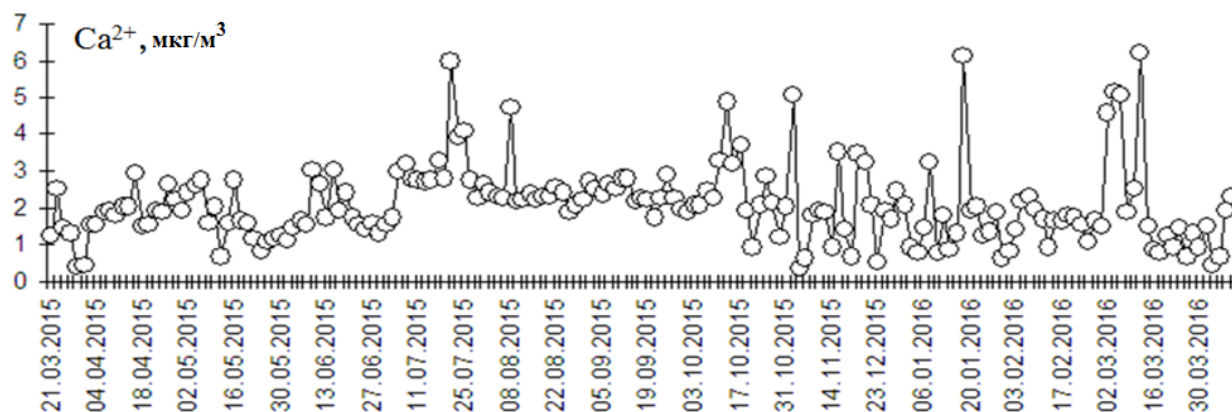


Рисунок 3.43. - Дневные вариации содержания катионов кальция Ca^{2+} .

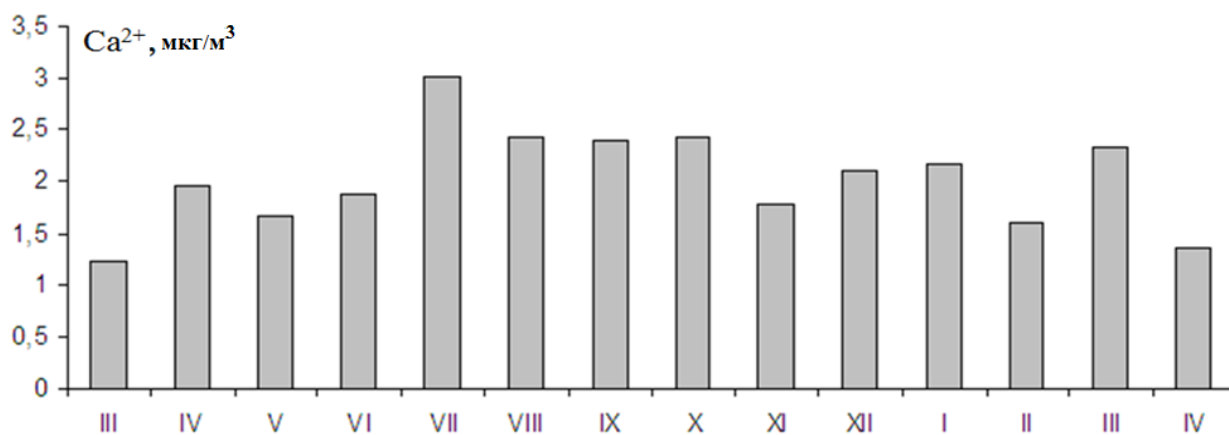


Рисунок 3.44. - Изменения среднемесячной концентрации катионов кальция.

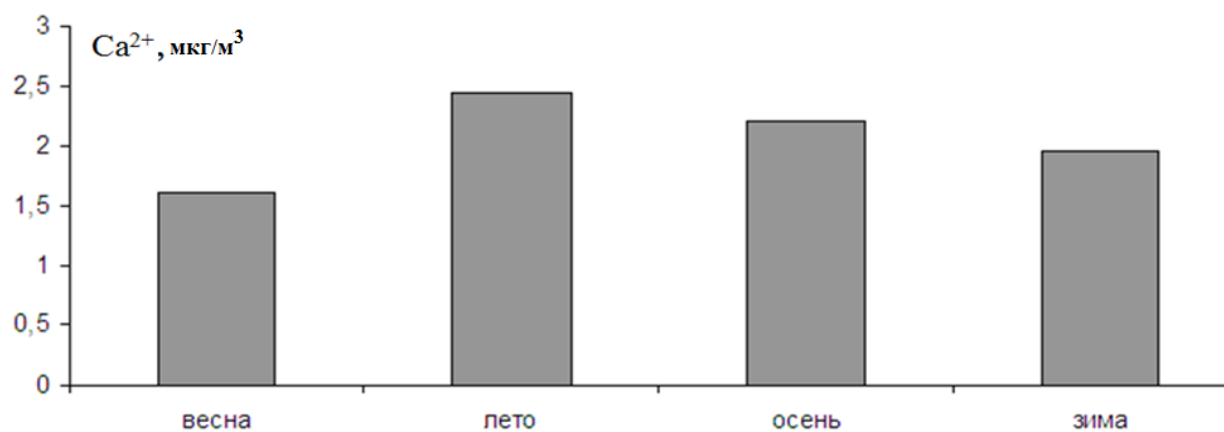


Рисунок 3.45. - Сезонные изменения концентрации катионов кальция.

При максимальном содержании катионов кальция (6.248 мкг/м^3 , 12.03.2016) воздушные потоки, наблюдаемые в г. Душанбе на высоте 1000, 2000 и 3000 м, начинались над Ираком (рисунок 3.46). Среднее содержание катионов аммония ($2.13 \pm 0,0123 \text{ мкг/м}^3$).

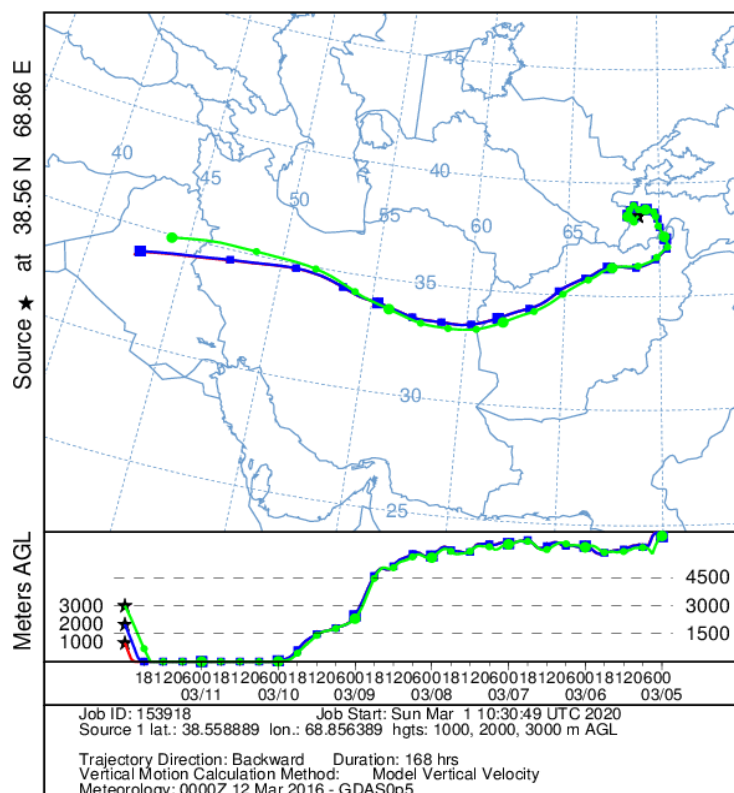


Рисунок 3.46. - Обратная траектория воздушного потока.

Воздушные потоки, пришедшие на всех высотах в Душанбе (рисунок 3.46) - 10.0.2016г., проходили у поверхности Земли в точке с координатами (38,579 с.ш; 68,693 в.д.), где находится Западная ТЭЦ (12 км к западу от точки сбора проб). Это вероятное место захвата катионов кальция.

3.3. Исследование карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны

В предыдущих исследованиях отмечалось, что как ОС, так и ЕС могут формироваться из выбросов угля, ископаемого топлива, биомассы и промышленной деятельности [154, 155].

В рамках проекта CADEX (Central Asian Dust Experiment «Центрально-азиатский эксперимент по изучению пыли») в лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова АН РТ совместно с Институтом тропосферных исследований Германии им. Лейбница (Лейпциг) с марта 2014 по сентябрь 2016 г был развернут комплекс оборудования. В рамках совместного проекта были установлены приборы: лидар для изучения вертикального профиля распределения аэрозоля и идентификации источника

пылевых вторжений, солнечный фотометр для изучения оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля, пробоотборники для частиц до 2.5 мкм (PM2.5) и до 10 мкм (PM10), аэрозольные счетчики частиц, комплексная метеостанция для измерения скорости и направления пылевых вторжений, давления и температуры воздуха и т.д. Изучение карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля проводилось на станции атмосферного мониторинга лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С.У.Умарова НАНТ, координаты: широта 38°33'34''с.ш., долгота 68°51'22''Е, высота 864 м. над уровнем моря. Данная станция расположена в восточной части г. Душанбе на расстоянии 10 км от центра города.

Для оценки аэрозольного загрязнения атмосферы использовались данные станции АЭРОНЕТ г.Душанбе [156]: аэрозольная оптическая толщина и параметр Ангстрема в период измерения.

В таблице 3.1 представлены статистические характеристики содержания карбона в атмосферном аэрозоле. Дневные вариации содержания органического карбона (ОС - organic carbon) в атмосферном аэрозоле в период эксперимента представлены на рисунке 3.47, обнаружено максимум 19.12.2015 (52.1 мкг/м³).

В день с максимальным содержанием всех углеродосодержащих компонентов атмосферного аэрозоля 19.12.2015г. воздушный поток который на всех высотах начинался в пустыне Такла-Макан (рисунок 3.48).

На рисунке 3.47 в представлены сезонные изменения ОС. Обнаружены наибольшие концентрации – зимой, наименьшие – весной и летом.

Максимальное значение ОС зарегистрировано 19.12.2015 (51.1 мкг/м³) минимальные 0.007 мкг/м³ при среднем 11.6 мкг/м³. Рисунок 3.47г показывает месячные изменения состава ОС в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в декабре.

Таблица 3.1. - Статистические характеристики компонентов атмосферного аэрозоля в период эксперимента CADEX

Параметр, мкг/м ³	OC	EC	TC	OM	MC
<C>	12.24	2.89	14.45	18.72	79.67
C _{max}	52.11	8.68	53.88	83.38	433.91
C _{min}	0.01	0.00	0.01	0.01	2.03
σ	9.77	1.31	9.98	15.81	54.42
V	0.80	0.45	0.69	0.84	0.68
S _n	0.05	0.01	0.06	0.09	0.30
N	181	181	181	181	181
t _c	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
p	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
δ	2.43	0.3	2.48	3.92	13.51
D	14.66	2763.16	5281.86	7379.65	213.71

Обнаружена очень высокая корреляция между OC и TC ($r=0.99$) между концентрациями OC и OM ($r=1$); между OC и Cl⁻ ($r=0.94$) и значимая корреляция между OC и NH₄⁺ ($r=0.85$), OC и NO₃⁻ ($r=0.73$), OC и K⁺ ($r=0.73$), (таблица 3.2). Уравнения регрессии при значительном коэффициенте корреляции OC с другими компонентами приведены в таблице 3.3 [157].

Дневные вариации содержания элементарного карбона (EC – elementary carbon) в атмосферном аэрозоле в ходе эксперимента представлены на рисунке 3.47а. Наибольшие концентрации обнаружены зимой, наименьшие – весной и летом. Максимальное значение EC зарегистрировано 19.12.2015г. (8.67 мкг/м³) при среднем значении 2.9 мкг/м³.

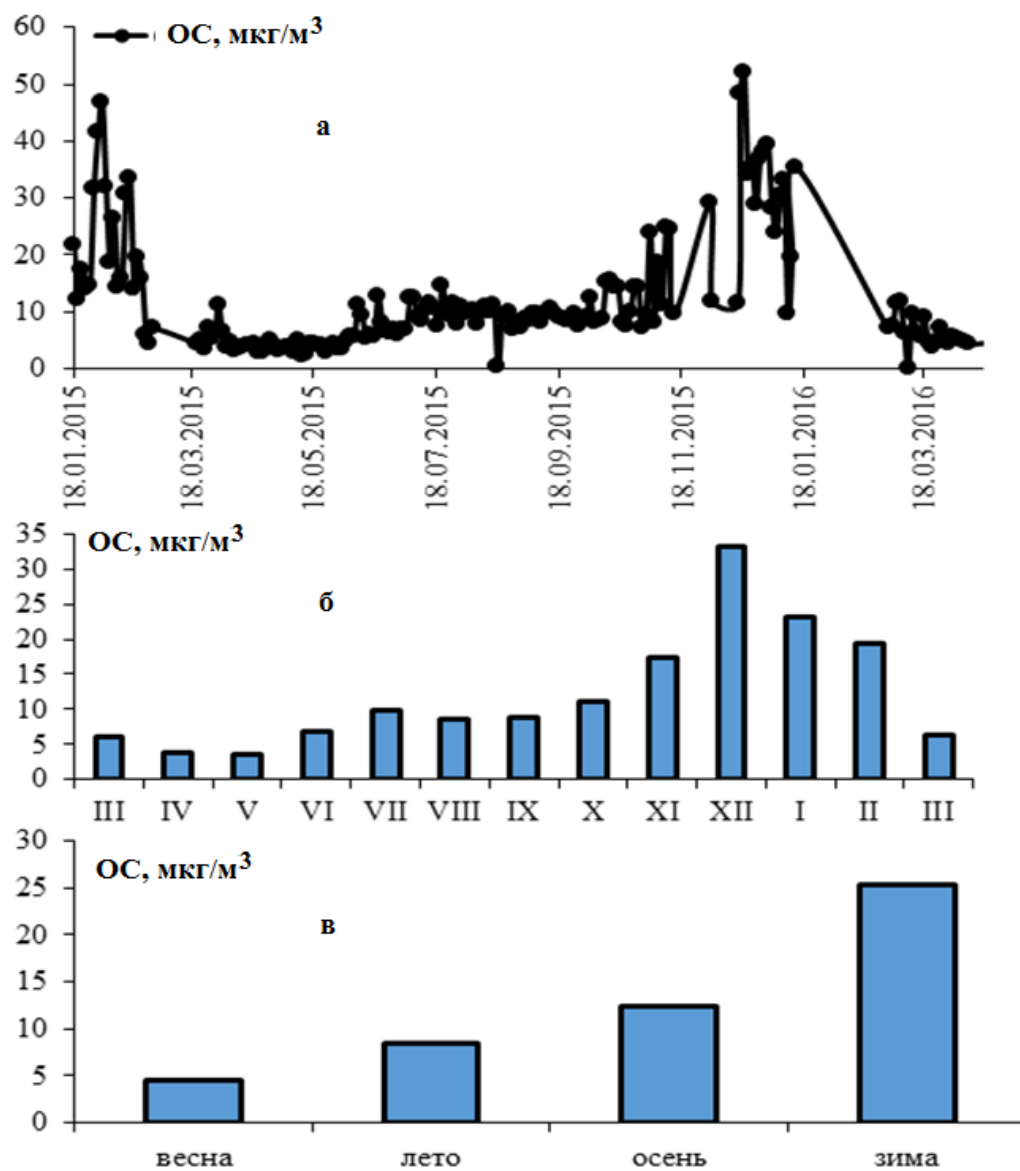


Рисунок 3.47а. - Дневные (а), месячные (б) и сезонные(в) вариации содержания органического карбона

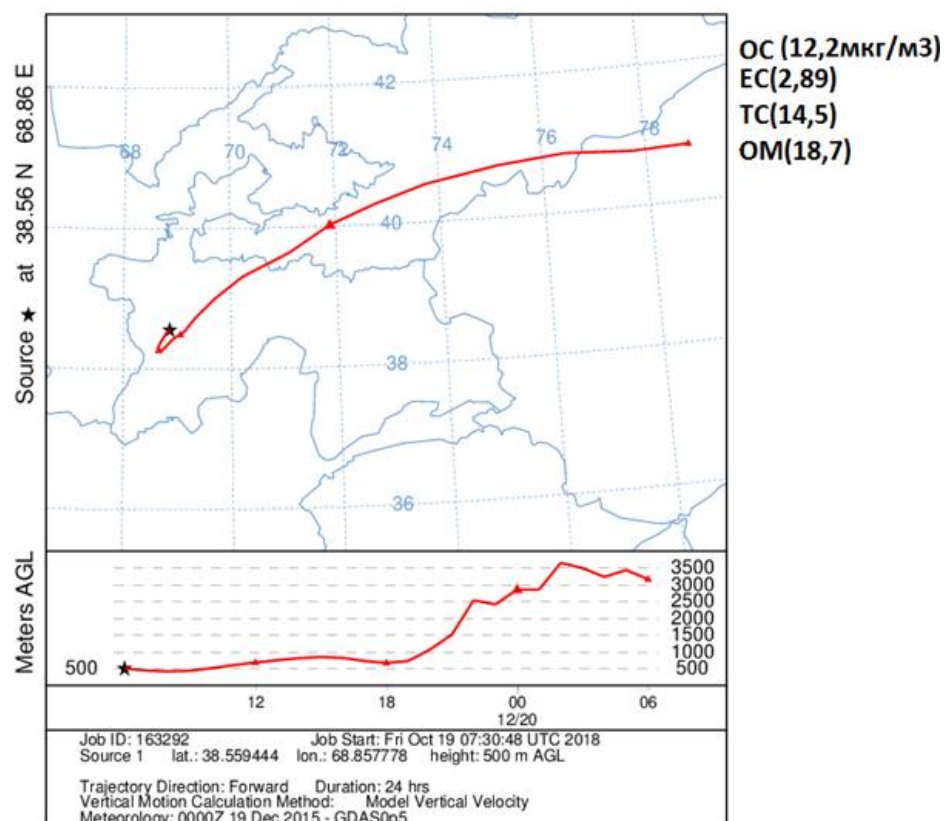


Рисунок 3.48. - Обратная траектория потока атмосферного аэрозоля

Таблица 3.2. - Коэффициент корреляции концентрации компонентов атмосферного аэрозоля и ионов в период эксперимента CADEX

	EC	TC	OM	MC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	OX	NO ₂ ⁻	F ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
OC	0.21	0.99	1.00	0.29	0.94	0.73	0.51	0.39	-0.04	0.21	0.20	0.85	0.73	0.37	0.08
EC		0.34	0.21	0.43	0.04	0.15	0.13	0.10	0.17	0.35	0.33	-0.03	0.38	0.38	0.37
TC			0.99	0.34	0.91	0.72	0.51	0.39	-0.02	0.25	0.24	0.81	0.75	0.09	0.13
OM				0.29	0.94	0.73	0.51	0.39	-0.04	0.21	0.20	0.85	0.73	0.04	0.08
MC					0.17	0.37	0.56	0.45	0.05	0.48	0.76	0.19	0.46	0.88	0.71

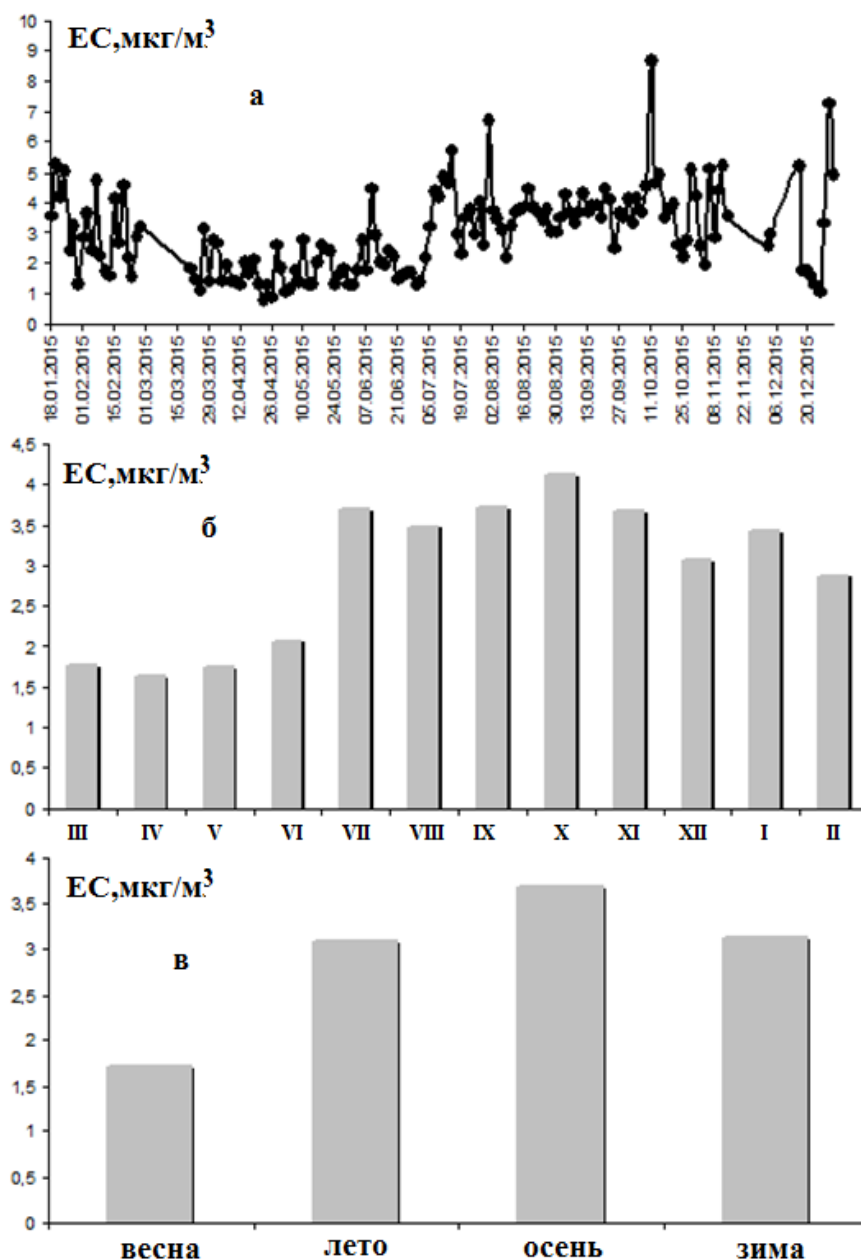


Рисунок 3.49. - Дневные (а), месячные (б) и сезонные (в) вариации содержания элементарного карбона

Рисунок 3.49б показывает среднемесячные изменения состава ЕС в атмосферном аэрозоле. На рисунке 3в представлены сезонные изменения ЕС, показывающие высокие значения осенью. ЕС изменяется в диапазоне 0.003-8.7 мкг/м³, что отличается от значений, полученных в обсерватории Капе Верди [14] (таблица 3.3). Нет значимой корреляции между ЕС и другими компонентами.

Таблица 3.3. - Сравнение компонентов атмосферного аэрозоля в период эксперимента CADEX

Компонента	Кабо-Верде [14]	Душанбе
МС	47.2	2.03-434
Пыль	25.9	1.11-239
Морская соль	1.0	1,6
ОМ	1.02	0.011-83.4
ЕС	0.13	0.083-8.67

Обнаружены сезонные колебания их концентрации, причем наиболее высокий уровень ОС, зимой (52.1 ± 6.6 мкг/м³), и ЕС осенью (8.68 ± 0.63 мкг/м³), соответственно, а самые низкие уровни весной.

Обнаружены сезонные колебания концентрации карбоновых компонентов, причем наиболее высокий уровень ТС и ОМ зимой (53.9 ± 6.6 и 83.4 ± 10.8 мкг/м³), МС летом (434.1 ± 39.7 мкг/м³), соответственно, а самые низкие уровни весной. Среднесезонные концентрации ОС (органический углерод) в РМ10 менялась в порядке зима> осень> лето> весна, в то время как ЕС (элементарный углерод) варьировали в порядке осень> лето> зима> весна. Отношение ОС/ЕС составляли 9.79; 2.9; 2.83 и 2.41 зимой, осенью, летом и весной, соответственно, что указывает на обилие вторичных органических аэрозолей в Душанбе. Источники углеродсодержащего аэрозоля в РМ10 значительно варьировались в зависимости от времени года, среди них, очевидно, преобладают выхлопные газы транспорта в течение всего года и сжигание угля и биомассы – в холодное время года.

В настоящее время характеристики карбоновых аэрозолей широко изучаются во всем мире, включая их массовую концентрацию и источники [158-165], сезонные и пространственные изменения [166-169], распределения размеров [13-16], воздействия на горизонтальной дальности видимости [96], связи с метеорологическими условиями [18-20] и механизмы трансформации [63,177-178]. Авторы [171,176] показали, что доля ОС, способствующая сжиганию биомассы, может быть рассчитана с использованием массовой концентрации ОС и К⁺. Исследования [176] показали, что отношение ОС/ЕС

может быть использовано для определения источников углеродистых аэрозолей в атмосфере. Настоящий параграф посвящен исследованию сезонной вариации карбоновых компонентов аэрозоля. Мы обсуждаем различные роль источников аэрозольного углерода по сезонам. Анализ вариации OC, EC, OC/EC, и SOC позволяет лучше понять источники и механизмы образования и пути контроля карбоновых аэрозолей в загрязненном городе.

Дневные вариации общего содержания карбона (ТС – total carbon) в атмосферном аэрозоле в период эксперимента представлены на рисунке 3.50а. Наибольшие концентрации обнаружены зимой, наименьшие – весной и летом. Максимальное значение ТС зарегистрировано 19.12.2015 (57 мкг/м^3) при среднем 14.8 мкг/м^3 .

Рисунок 3.50б показывает месячные изменения состава ТС в атмосферном аэрозоле. На рисунке 3.50в представлены сезонные изменения ТС. Диапазон изменения ТС варьируется в интервале $0.001\text{-}54 \text{ мкг/м}^3$. Имеется очень высокая корреляция между ТС и OM ($r=0.98$), между ТС и Cl^- ($r=0.91$), между ТС и NH_4^+ ($r=0.81$), значимая корреляция между ТС и NO_3^- ($r=0.72$) и между ТС и K^+ ($r=0.75$) (таблица 3.4). Найдены уравнения регрессии по значимой корреляции ТС с другими компонентами и приведены в таблице 3.4.

Наибольшие значения органических составляющих аэрозоля (OM – organic matter) – осенью-зимой, минимум – весной. Дневные вариации содержания органических компонент в атмосферном аэрозоле за период сбора проб представлены на рисунке 3.50а. Максимальное значение OM зарегистрировано 19.12.2015 (83.4 мкг/м^3) при среднем 19 мкг/м^3 .

Таблица 3.4. -Уравнения корреляционной связи при очень высокой, значимой и высокой корреляции концентраций компонентов атмосферного аэрозоля и ионов

Корреляция между	Уравнение линии	Коэффициент детерминации- R ²	Коэффициент корреляции- r
ОС и ТС	$y = 1.0287x + 2.5416$	0.98	0.99
ОС и Cl ⁻	$y = 0.14x - 0.54$	0.88	0.94
ОС и NO ₃ ⁻	$y = 0.15x + 0.75$	0.53	0.73
ОС и NH ₄ ⁺	$y = 0.12x - 0.23$	0.72	0.85
ОС и K ⁺	$y = 0.02x + 0.29$	0.5	0.73
ТС и ОМ	$y = 1.53x - 3.59$	0.97	0.98
ТС и Cl ⁻	$y = 0.1311x - 0.82$	0.84	0.92
ТС и NO ₃ ⁻	$y = 0.14x + 0.40$	0.52	0.72
ТС и NH ₄ ⁺	$y = 0.11x - 0.45$	0.66	0.81
ТС и K ⁺	$y = 0.02x + 0.23$	0.56	0.75
ОМ и Cl ⁻	$y = 0.08x - 0.54$	0.89	0.94
ОМ и NO ₃ ⁻	$y = 0.094x + 0.75$	0.53	0.73
ОМ и NH ₄ ⁺	$y = 0.67x - 0.22$	0.72	0.85
ОМ и K ⁺	$y = 0.125x + 0.29$	0.53	0.73
Mass и Mg ²⁺	$y = 0.0008x + 0.014$	0.78	0.88
Mass и Ca ²⁺	$y = 0.014x + 0.97$	0.50	0.71
Mass и Na ⁺	$y = 0.0023x + 0.055$	0.58	0.76
NO ₃ ⁻ и SO ₄ ²⁻	$y = 0.7136x + 1.76$	0.53	0.73
NO ₃ ⁻ и NH ₄ ⁺	$y = 0.56x - 0.19$	0.64	0.80
NO ₃ ⁻ и K ⁺	$y = 0.093x + 0.28$	0.49	0.70
SO ₄ ²⁻ и Na ⁺	$y = 0.058x + 0.033$	0.50	0.71
SO ₄ ²⁻ и NH ₄ ⁺	$y = 0.52x - 0.63$	0.52	0.72
F ⁻ и Na ⁺	$y = 0.77x + 0.11$	0.67	0.82
Na ⁺ и Mg ²⁺	$y = 0.24x + 0.02$	0.64	0.80
Na ⁺ и Ca ²⁺	$y = 4.84x + 0.92$	0.57	0.75
Mg ²⁺ и Ca ²⁺	$y = 17.45x + 0.72$	0.66	0.81

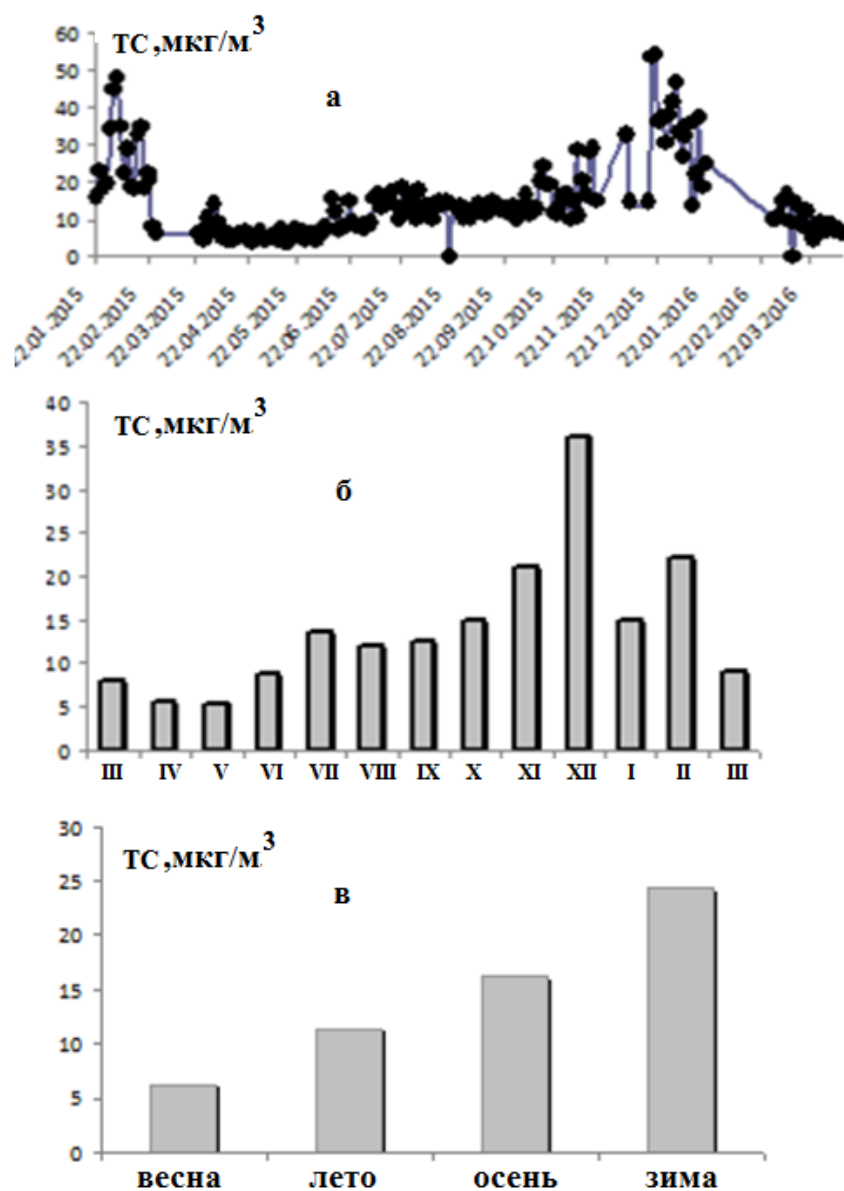


Рисунок 3.50. -Дневные (а), месячные (б) и сезонные (в) вариации общего содержания карбона.

На рисунке 3.51б показаны месячные изменения состава ОМ в атмосферном аэрозоле. На рисунке 3.51в представлены сезонные изменения ОМ показывающие высокие значения зимой. ОМ изменяется в диапазоне 0.011-83.4 мкг/м³ и обнаружено очень высокая корреляция между ОМ и Cl⁻ (r=0.94), значимая корреляция между ОМ и NH₄⁺ (r=0.85) и между ОМ и NO₃⁻ и K⁺ (r=0.73) (таблица 3.4.). Уравнение регрессии этой корреляции приведены в таблице 3.4.

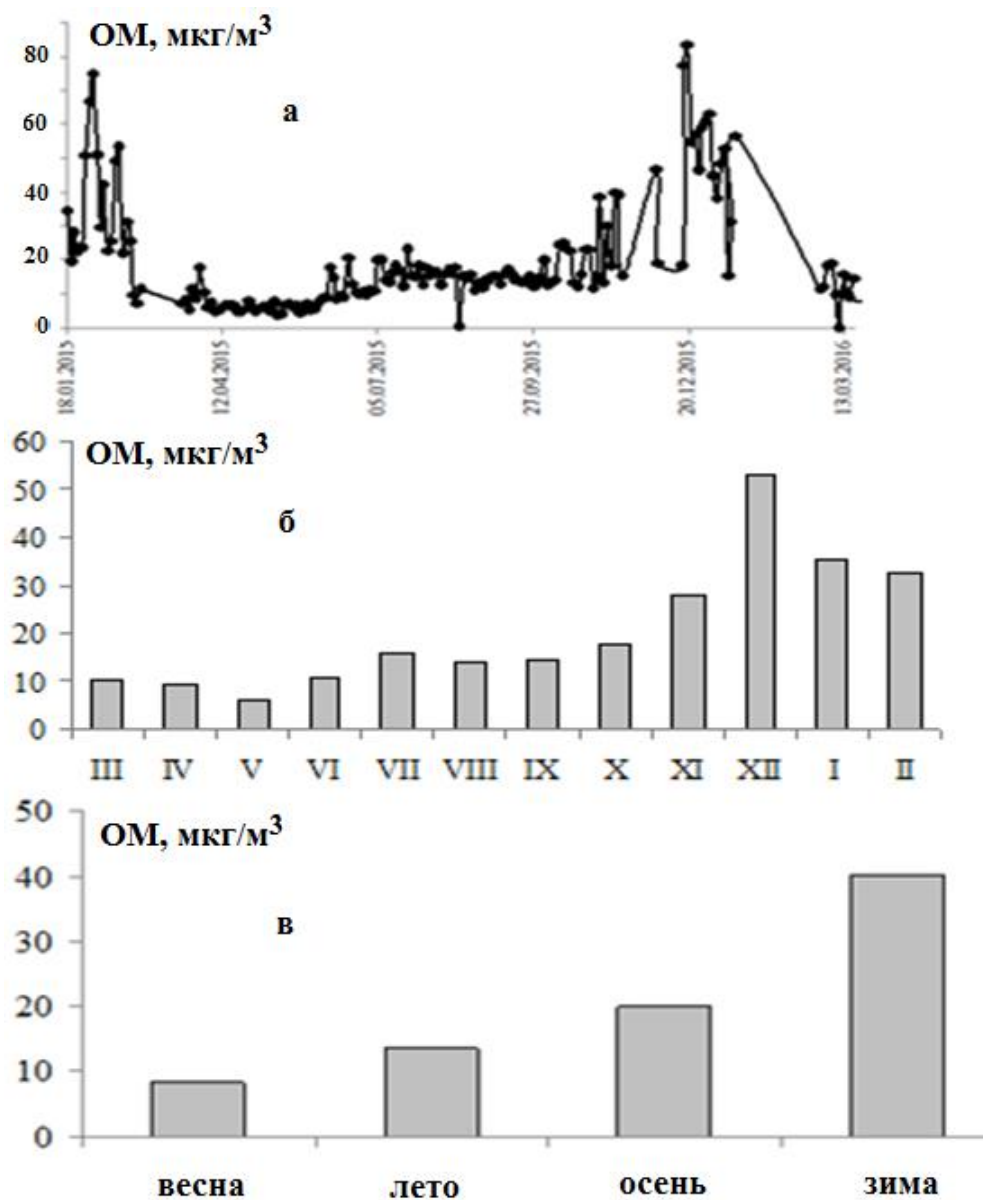


Рисунок 3.51. - Дневные (а), месячные (б) и сезонные (в) вариации содержания органических компонент (ОМ).

Дневные вариации содержания массовой концентрации растворимых компонентов аэрозоля (Mass – mass concentration) в атмосферном аэрозоле на период эксперимента представлены на рис 3.52а, как видно имеется максимум 19.12.2015 (434 мкг/м³).

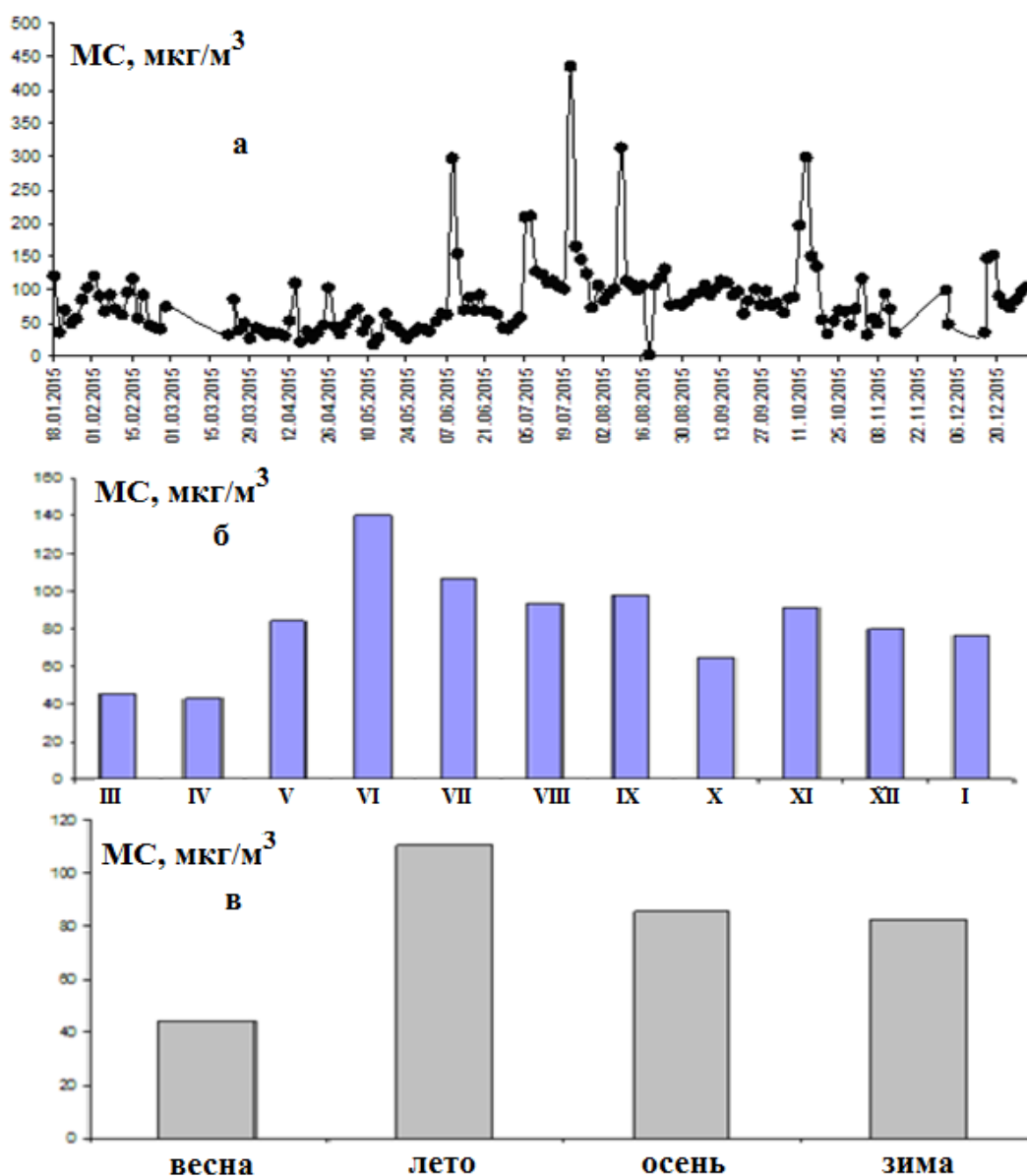


Рисунок 3.52. - Дневные (а), месячные (б) и сезонные (в) вариации содержания МС.

Рисунок 3.52б показывает месячные изменения состава МС в атмосферном аэрозоле. Самое высокое значение зарегистрировано в июле. На рисунке 3.52в представлены сезонные изменения МС, показывающие ее высокие значения летом (таблица 3.5).

Максимальное значение обнаружено летом, а минимум весной. Максимальная концентрация МС зарегистрирована 21.07.2015 (434 мкг/м^3) при среднем значении 82.4 мкг/м^3 .

МС изменяется в интервале $2.03\text{-}434 \text{ мкг/м}^3$. Имеется значимая корреляция между МС и Mg^{2+} ($r=0.88$), между МС и Na^+ ($r=0.76$) и между МС

и Ca^{2+} ($r=0.71$). Уравнение регрессии по значительной корреляции МС с другими компонентами приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.5. - Сезонные вариации содержания МС в аэрозоле в период эксперимента CADEX

	весна	лето	осень	зима
МС: >200 мкг/м ³	-	5	1	-
МС: 90-200 мкг/м ³	2	20	16	7
МС: 20-90 мкг/м ³	33	20	23	16
МС: <20 мкг/м ³	1	1	-	1
Сумма	36	46	40	24

В таблице 3.6 подытожены сезонные вариации компонентов атмосферного аэрозоля в период эксперимента CADEX. Как видно обнаружены высокие значения ОС (52.1 мкг/м³), ТС (53.8 мкг/м³) и ОМ (83.4 мкг/м³) зимой, ЕС (8.7 мкг/м³) осенью и МС (434 мкг/м³) летом. В таблице 3.6 также приведены среднеквадратичные отклонения и доверительный интервал для этих компонентов.

Для определения концентрации вторичного органического углерода (SOC) и первичного органического углерода (POC) использованы соотношения [179]:

$$\text{SOC} = \text{OC}_{\text{total}} - (\text{OC}/\text{EC})_{\text{min}} \quad (1)$$

$$\text{POC} = \text{OC}_{\text{total}} - \text{SOC} \quad (2)$$

На рисунке 3.53 приведены вариации отношения ОС/ЕС, концентрации вторичного органического углерода (SOC) и первичного органического углерода (POC).

Расчеты показали, что коэффициенты ОС/ЕС составляет 9.79; 2.9 и 2.83 и 2.41 зимой, осенью, летом, и весной, соответственно, что указывает на обилие вторичных органических аэрозолей в г. Душанбе. Источники углеродсодержащего аэрозоля значительно варьировались в зависимости от времени года, причем преобладали выхлопные выбросы автотранспорта, а также сжигание угля и биомассы зимой.

Таблица 3.6. - Сезонные вариации компонентов атмосферного аэрозоля в период эксперимента CADEX

Сезон	Зима					Весна				
	<C>	C _{max}	C _{min}	σ	δ	<C>	C _{max}	C _{min}	σ	δ
ОС	28.4	52.1	7	12.6	6.6	4.1	11.1	2.2	1.6	0.9
ЕС	2.9	7.3	1	1.5	0.8	1.7	3.1	0.8	0.6	0.4
ТС	31.3	53.9	10.2	12.8	6.6	5.8	13.9	3.5	2	1.2
ОМ	45.4	83.4	11.2	20.2	10.5	6.6	17.8	3.6	2.5	1.5
Mass	79	152	31.5	31.7	16.4	44.5	108.9	18.4	20	12.1

Сезон	Лето					Осень				
	<C>	C _{max}	C _{min}	σ	δ	<C>	C _{max}	C _{min}	σ	δ
ОС	8.5	14.5	0.2	2.7	14	11	24.9	7.2	4.7	2.6
ЕС	3	6.7	0	1.3	07	3.8	8.7	1.9	1.1	0.6
ТС	11.5	18	0.2	3.7	1.9	15	28.9	9.9	5	2.8
ОМ	13.6	23.1	0.3	4.3	2.2	18	39.8	11.6	7.5	4.2
Mass	110.9	433.9	2	76.7	39.8	90	298.3	31.9	47	26.2

Обнаружены сезонные колебания концентрации, причем наиболее высокий уровень ТС и ОМ зимой (52.1 ± 6.6 , 53.9 ± 6.6 и 83.4 ± 10.8), МС летом ($434.1 \pm 39.7 \mu\text{г}/\text{м}^3$) и соответственно, а самые низкие уровни весной. Среднесезонные концентрации ОС (органический углерод) в РМ10 менялась в порядке зима> осень> лето> весна, в то время как ЕС (элементарный углерод) варьировали в порядке осень> лето> зима> весна. Коэффициенты ОС/ЕС составляли 9.79; 2.9; 2.83 и 2.41 зимой, осенью, летом, и весной соответственно, что указывает на обилие вторичных органических аэрозолей в Душанбе. Источники углеродсодержащего аэрозоля значительно варьировались в зависимости от времени года, и в них преобладали выхлопные газы транспортных средств и сжигание угля и биомассы в РМ10.

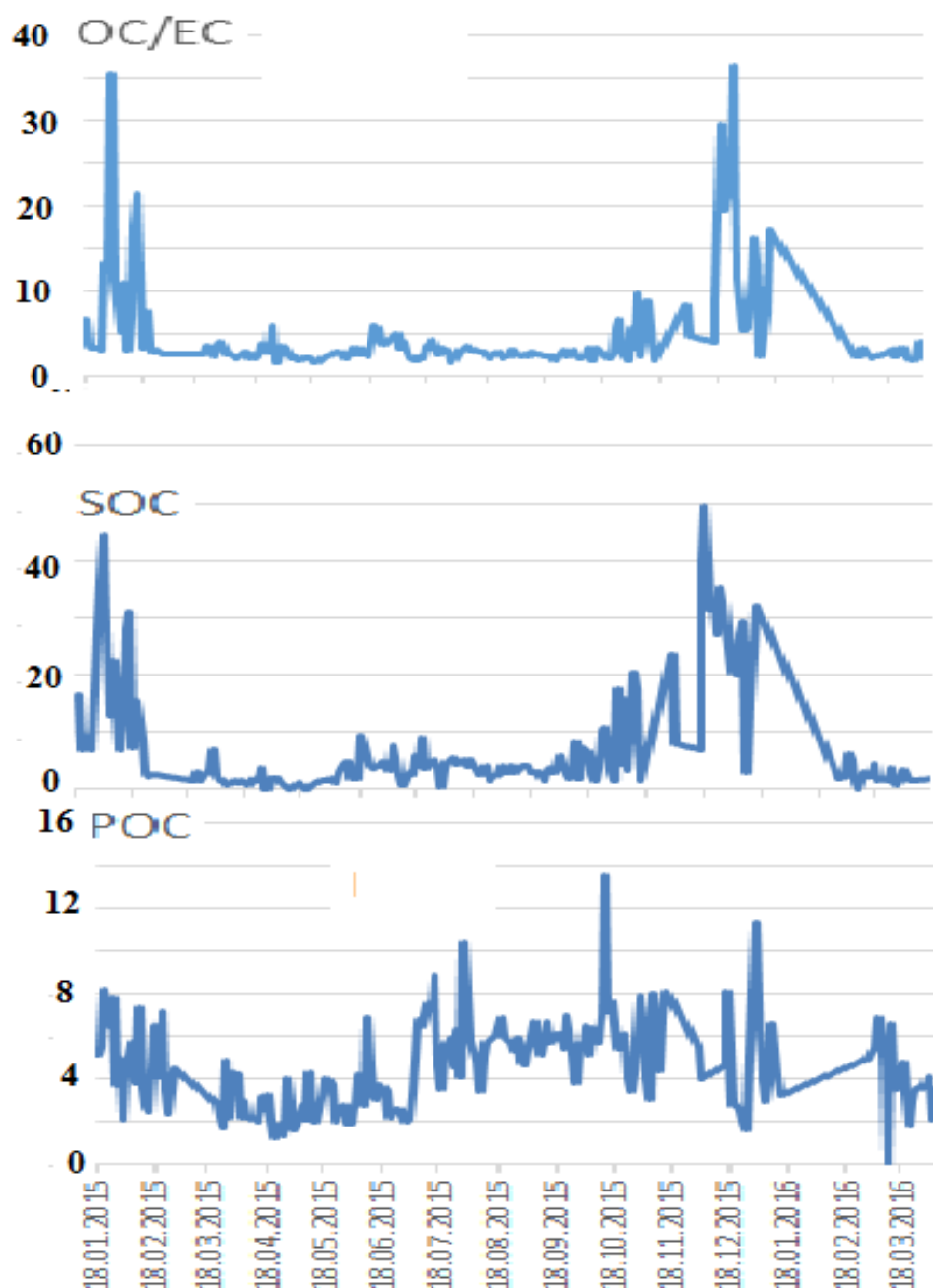


Рисунок 3.53. - Вариации отношения OC/EC, концентрации вторичного органического углерода (SOC) и первичного органического углерода (POC).

В таблице 3.7. показано, какой процент от общего количества собранных образцов составляют образцы, собранные в каждом сезоне. Из таблицы следует, что самая высокая концентрация органического углерода и общего углерода (TC) наблюдается зимой, а элементарного углерода осенью.

Временной ход концентрации EC и OC в аэрозолях с марта 2014 по сентябрь 2016 г., полученный после обработки аэрозольных проб, собранных на фильтрах, показан на рисунок 3.54. Датой измерения концентраций OC и

ЕС считалась середина трехдневного периода отбора соответствующей пробы.

Таблица 3.7. - Сезонное распределение концентрации углеродов.

Сезон	ОС	ЕС	ТС
Весна %	7	12	8
Лето %	20	30	21
Осень %	22	32	24
Зима %	51	26	47

Видно, что (рисунок 3.54а) наибольшие концентрации органического углерода (ОС) наблюдались зимой (19.12.2015). Основные источники аэрозольного углерода – это выбросы продуктов горения биомассы, в том числе при лесных пожарах, происходящих зачастую за тысячи километров от точки наблюдения. В зимнее время возрастает потребление топлива для отопления, что вызывает рост содержания органического углерода в атмосфере. Наибольшая концентрация элементарного углерода (ЕС) (рисунок 3.54б) зафиксирована осенью (11.10.2015). Элементарный углерод, образующийся при неполном сгорании биогенных материалов (древесина, нефтепродукты, уголь), является основным компонентом, сажевого аэрозоля.

Для очистки города осенью сжигают сухие листья деревьев. При этом увеличивается концентрация элементарного углерода в атмосфере. Наибольшая общая концентрация углерода зафиксирована зимой (19.12.2015 г.). Коэффициент корреляции между концентрацией органического и полным содержанием углерода составляет $r = 0.99$, т.е. корреляция очень сильная, и два компонента углерода имеют один и тот же источник образования. Соответственно, наибольшие концентрации этих двух компонентов аэрозоля отмечены в один и тот же период.

Экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке методом полиномиальной регрессии, который является одной из форм регрессионного анализа. При построении регрессии – подбирается такая

линия (т.е. функция), которая наиболее точно аппроксимирует множество экспериментальных точек. Полиномиальная регрессия позволяет определить взаимосвязь концентраций двух углеродных компонентов атмосферного аэрозоля и характерные коэффициенты детерминации и корреляции.

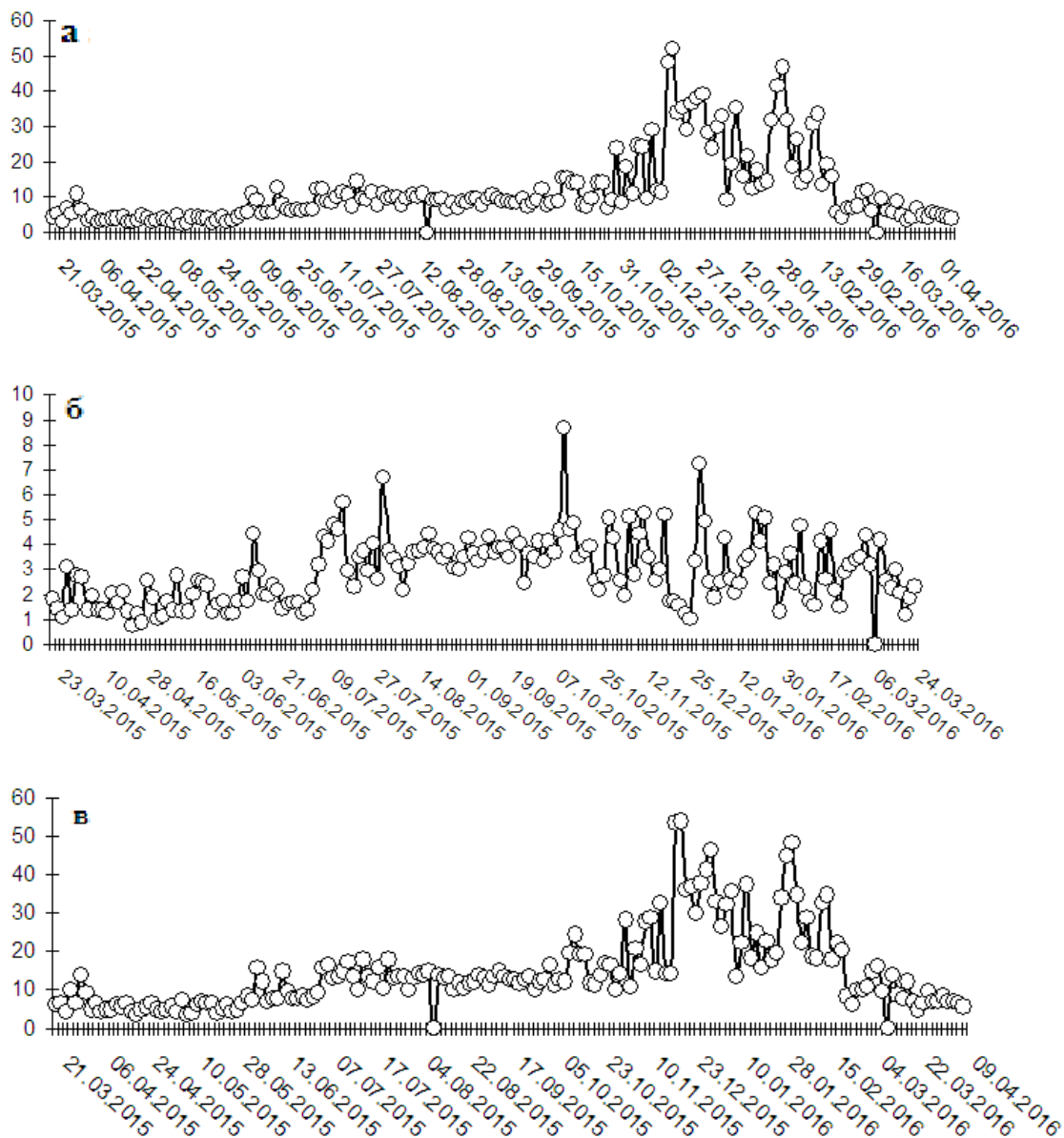


Рисунок 3.54. - Динамика массовой концентрации аэрозольного углерода с марта 2015 по сентябрь 2016 гг. а– органический углерод; б – элементарный углерод; в – общий углерод (ТС).

На рисунке 3.55 приведены результаты применения метода полиномиальной регрессии для оценки взаимосвязи содержания органического углерода и элементарного углерода.

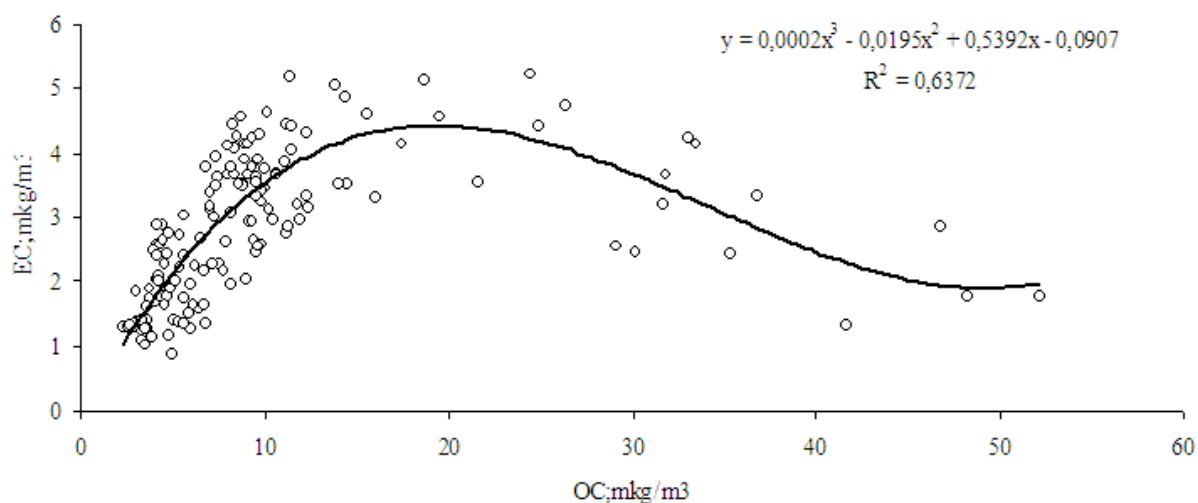


Рисунок 3.55. - Полиномиальная регрессия между концентрациями элементарного и органического углерода.

Взаимозависимость концентраций органического углерода (переменная x) и концентрацией элементарного углерода (переменная y) моделировалась полиномом 3-й степени от x . На рисунке видно, что при концентрациях органического углерода менее 15 мкг/м^3 и элементарного углерода менее 4 мкг/м^3 между ними можно заметить линейную связь. При более высоких концентрациях этих компонентов их связь становится нелинейной. В таблице 3.7 представлено сезонное распределение концентрации карбоновых компонентов аэрозоля в процентах.

Метод обратных траекторий является эффективным инструментом для анализа переноса в атмосфере загрязняющих примесей и определения их возможных источников. Этим методом были исследованы типичные пути дальнего переноса атмосферных примесей во многих регионах земного шара [72-78]. Определение обратной траектории позволяет оценить возможные источники загрязнения воздушных масс, достигающих точки наблюдения на разной высоте.

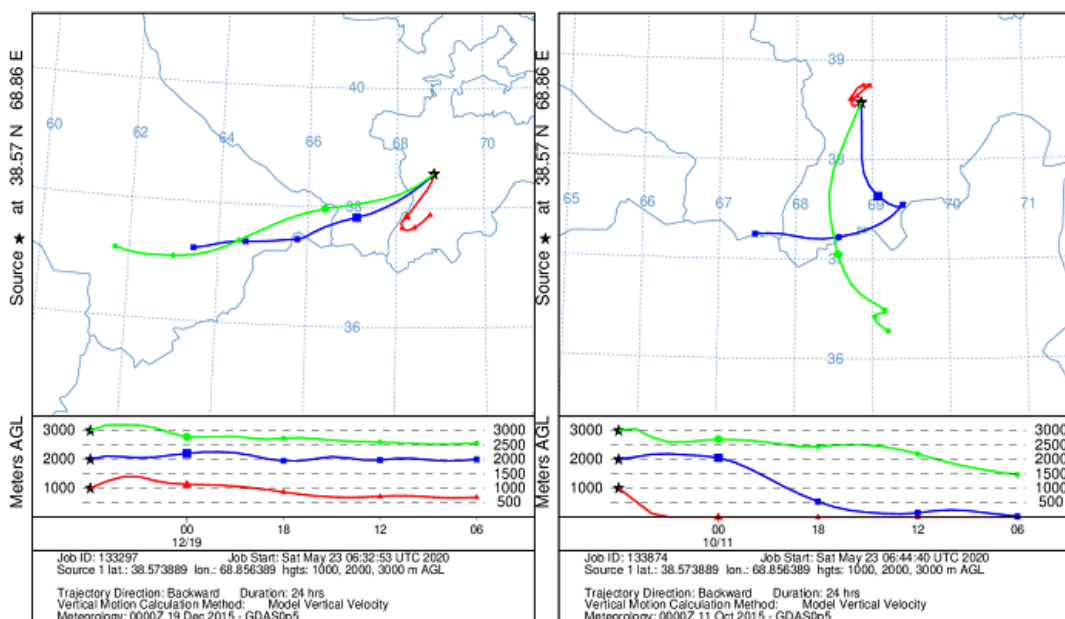


Рисунок 3.56. - Обратные траектории воздушных масс с наибольшими концентрациями органического углерода, элементарного углерода и общего содержания углерода.

Этот метод использован для выяснения расположения возможных источников, создававших максимальные концентрации карбоновых компонентов аэрозоля в Душанбе в период эксперимента (рисунок 3.56.).

Наибольшее содержание ОС (52.11 мкг/м^3) и ТС (53.88 мкг/м^3) зафиксировано 19 декабря 2015 г. Воздушный поток, пришедший в точку наблюдения на высоте 1000м, начинался в Кызыл-Кала (Таджикистан), поток на высоту 2000 м пришел со стороны поселка Лебал (Туркменистан), воздушный поток на высоту 3000 м пришел со стороны города Мары (Туркменистан). В день с максимальным содержанием элементарного углерода (8.67 мкг/м^3) – 11 октября 2015 г. воздушный поток на высоте 1000 м начинался над Харангоном (Таджикистан), на высоте 2000 м – над кишлаком Октеппа (Таджикистан) и на высоте 3000 м – над селением Нарейн (Афганистан).

Результаты анализа состава атмосферных аэрозольных углеродных фракций в г. Душанбе, полученные в ходе двухлетнего исследования (2014-2016 гг.), показали, что наибольшие концентрации органического углерода в атмосфере наблюдались зимой (19.12.2015). Это, скорее всего, связано с

увеличением сжигания топлива для отопления зимой. Наибольшая концентрация элементарного углерода зафиксирована осенью (11.10.2015), что, может быть, связано с сжиганием осенью сухих листьев деревьев. Проведена статистическая обработка результатов методом полиномиальной регрессии. Методом обратной траектории определены возможные направления переноса углеродных компонентов аэрозоля.

3.4. Сравнительный анализ анионного состава атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана

Исследование анионов, входящих в состав атмосферного аэрозоля, и сопоставление с данными из различных регионов мира позволяет глубже понять механизм влияния природных факторов на загрязнение атмосферы. Определение химического состава атмосферного аэрозоля способствует поиску путей предотвращения отравления атмосферы [180].

Для выявления источников анионов и анализа их динамики сопоставлены условия в точке измерения с данными по другим регионам мира. Измерения, проводившиеся в Душанбе в 2015-2016 годах в рамках проекта CADEX [118,119] можно сравнить в первую очередь с проводившимися здесь же, в Центральной Азии измерениями 1983 года [120]. Классификация различных типов аэрозолей, наблюдаемых над Душанбе, Таджикистан, дана в статье [181], на основе соотношения между оптической толщиной аэрозоля (АОТ) и показателем Ангстрема (АЕ).

Выявлено пять основных типов аэрозолей со значительным массовым содержанием: чисто континентальный (16.97%), морской (15.68%), городской/промышленный и сжигание биомассы (7.69%), пустынная пыль (2.71%), смешанный (56.95%) [181].

В таблице 3.8. приведены средние концентрации аэрозольных анионов в полуаридной зоне Таджикистана и других регионах мира с высоким содержанием этих анионов.

Как видно из таблицы 3.8, средние концентрации аэрозольных анионов в Душанбе, полученные в 2015 и в 1983 годах значительно отличаются. Это,

очевидно, отражает изменение экологической ситуации в регионе. Приведенные данные позволяют оценить связь изменений анионного состава аэрозоля в Душанбе через 30 лет с конкретными источниками анионов в стране.

Исследования показали, что из шести протестированных анионов, самую высокую концентрацию в атмосфере имеют ионы сульфатов. Увеличение содержания ионов сульфатов в 3 раза с 1983 по 2016 связано, видимо, не столько с увеличением промышленных выбросов, сколько с резким увеличением количества автотранспорта, так как общее количество автотранспортных средств увеличилось за это время на 30%, в том числе частных автомобилей на 20%. Доля частных автотранспортных средств в 2012 году, по сравнению с 2007 годом, возросла с 76% до 92% от общего количества, зарегистрированного в г. Душанбе. Объем загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в г. Душанбе за один год (2017-2018) увеличился в 2,6 раза [199]. Суммарные выбросы вредных веществ от автомобильного транспорта в 2018 г. в целом по Таджикистану составили 561 тыс. тонн, из них наибольший объем заняли выбросы CO₂ – 380,4 тыс. тонн и выбросы оксидов азота – 108,6 тыс. тонн. Главным источником этих выбросов (соответственно 90% и 97%) является легковой автотранспорт [200]. Частично масштаб загрязнений определяется началом проведения в стране регулярного мониторинга состояния атмосферы, но в целом динамика роста выбросов от автотранспорта очевидна.

Уменьшение содержания ионов нитратов коррелирует с уменьшением применения в сельском хозяйстве Таджикистана азотных удобрений (сократилось от 188 тыс. тонн до 68 тыс. тонн [201]).

Снижение содержания ионов брома определяется несколькими факторами, включая резкое уменьшение применения пестицидов на 15% и инсектицидов на 63% [202] в качестве которых используются и броморганические соединения. Уменьшение использования 1,2-дибромэтана

вместе с тетраэтилсвинцом в качестве антидетонационной присадки к моторным топливам также снизило содержание ионов брома в атмосфере.

Увеличение содержания ионов фтора в воздухе всегда связано с ростом производства алюминия и недостаточными мерами по контролю выбросов. Современный уровень содержания ионов фтора в аэрозоле Душанбе является самым высоким на территории «советской» Центральной Азии и связано это с близостью единственного на этой территории алюминиевого завода. Подтверждением тому служит то, что высокое содержание фтора в воздухе имеет обычно антропогенное происхождение и связано с производством алюминия, как в городах Китая (таблица 3.8.) [5]. Крупное алюминиевое производство находится также в Дубае, недалеко от Мекки [128].

Таблица 3.8. - Средние концентрации анионов АА в Таджикистане и других регионах мира

Регион	Ионы					
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	F ⁻	PO ₄ ³⁻
Таджикистан, 2015	1.08	2.51	3.55	0.01	0.17	0.054
Таджикистан, 1983 [120]	2.12	9.87	1.12	7.28	-	-
Казахстан [20]	4.03	3.16	0.55	1.84	-	-
Туркменистан [120]	2.44	1.63	1.16	3.77	-	-
Узбекистан [120]	3.54	3.04	0.514	4.47	-	-
Киргизстан [120]	1.73	9.65	-	2.46	-	-
Восточная Сибирь [3]	5.98	1.74	0.26	7.23	-	-
Камчатка [120]	0.25		0.24	13.77	-	-
США, Сан-Хосе [122]	0.63	0.18	3.12	-	0.09	0.54
Северная Индия [123]	0.54	0.55	0.56	-	0.04	0.37
Тайвань [124]		13.39	18.08	-	-	-
Китай, северо-запад [125]	8.61	28.23	48.34	0.06	-	-
Китай, Юлинь [126]	3	5.5	12.1	-	0.3	-
Китай, Пекин, 2010 [127]	2.43	14.1	18.1	-	0.32	-
Саудовская Аравия, [128]	20.8	22.27	17.33	0.18	0.4	5.44
Италия, Неаполь [129]	0.4	3.1	4.6	-	-	-

Для подтверждения предложенной интерпретации влияния указанных геоклиматических факторов на ионный состав проанализированы данные по источникам загрязнения атмосферы в наиболее загрязненных аэрозольными анионами городах мира.

Диапазоны концентраций анионов в атмосфере в Душанбе и в других регионах мира представлены в таблице 3.9.

При высокой температуре воздуха, характерной для Таджикистана и других районов аридной и полуаридной зоны, высокая скорость химических реакций в газах обеспечивает интенсивное образование анионов в газовой фазе. Сульфат-ионы поступают в атмосферу при выбросах предприятиями и транспортом сернистых соединений, при выветривании почв, с частицами морской соли и из сточных вод текстильных и пищевых предприятий. Анализ показывает, что высокое содержание сульфатов характерно не только для районов с высоким промышленным потенциалом и высоким выбросом в атмосферу сернистых соединений (Сан-Хосе, Тайвань, Пекин,) [124,127], но и для мест с жарким климатом, находящихся в пустынной и полупустынной зоне (Душанбе, Юлинь, Мекка) [119,126,128].

При малом количестве осадков в летнее время, осаждение ионов происходит преимущественно с аэрозолем, аэрозольные концентрации, видимо, точнее соответствуют содержанию ионов в атмосфере. Высокие концентрации сульфатов и нитратов отмечаются в районах с очень малой площадью лесов. Очевидно, листья деревьев служат естественным стоком и преградой для распространения этих гигроскопичных ионов. Большую часть Саудовской Аравии занимают песчаные пустыни, что приводит к высокой концентрации пыли в воздухе [128].

Высокое содержание в воздухе ионов хлора и брома характерно обычно для приморских городов. Высокое содержание ионов хлора в Центральной Азии и северо-западном Китае связано с высыханием соленых озер, включая Арал. Высокие концентрации ионов брома на Камчатке [120] имеют океаническое происхождение.

Максимальные концентрации ионов нитратов и сульфатов отмечены в северо-западной части Китая [125]. Сульфаты – это наиболее распространенный вид аэрозольных ионов в Китае. Города Китая лидируют по высоким средним концентрациям в атмосферном аэрозоле сульфатов и

нитратов Основными источниками сульфатов и нитратов являются выбросы промышленных предприятий, ТЭЦ и транспорт [120, 125-127]. Сжигание биомассы и вторичные аэрозоли в сельской местности также приводит к высокому содержанию этих солей в аэрозоле [125]. Значительная часть сульфатов имеет и почвенное происхождение.

Причиной высоких концентраций ионов хлора и фосфатов в Саудовской Аравии (Мекка), предположительно, являются высокие объемы дорожного движения и строительные работы [128]. Фосфаты также поступают в атмосферу с удобрениями и необработанными сточными водами. Изменение содержания этих ионов, как правило, имеет антропогенное происхождение.

Таблица 3.9. - Минимальные и максимальные концентрации анионов в аэрозолях в Таджикистане и других регионах мира [мкг/м³]

Регионы	Ионы					
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	F ⁻	PO ₄ ³⁻
Душанбе, Таджикистан, 2015	0.049- 7.64	0.472- 10.9	0.92- 12.15	0.001- 0.04	0.008- 1.05	0.004- 0.44
Улан-Батор, Монголия [131]	1.42- 6.15	1.91- 7.18	7.86- 34.28	-	-	-
Сан-Хосе, США [122]	0.09-2.5	0.07- 0.62	0.81- 6.93	-	0.03-0.3	0.06- 1.36
Китай [125]	2.23- 16.43	2.74- 66.9	5.4- 107.5	0-0.14	-	-
Мекка, Саудовская Аравия [128]	10.1- 35.61	12.8- 39.58	10.8- 38.4	0.01- 0.97	0.01- 1.44	1.12- 10.19
Неаполь, Италия [129]	0-2.1	2-5.3	3-6.4	-	-	-

Сопоставление данных, полученных в Душанбе, с составом аэрозольных ионов над городами с аналогичными климатическими условиями, то есть находящимися в континентальной пустынной зоне, указывает на относительно более низкий уровень содержания ионов в городе.

Основными причинами высоких концентраций анионов в атмосферном аэрозоле Таджикистана являются антропогенные источники, малое количество лесов и относительно высокая температура воздуха. Это

позволяет надеяться на возможность прогнозирования ионного состава атмосферного аэрозоля. Сравнение с данными по другим регионам мира позволило выявить факторы, влияющие на анионный состав аэрозоля. Концентрации фтора, являющегося выбросом алюминиевого завода (ТАЛКО), и сульфатов оказались наиболее высокими в Центрально-азиатском регионе.

3.5. Сравнительный анализ катионного состава атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана

Измерения, проводившиеся в Душанбе в 2015-2016 годах в рамках проекта CADEX [118,119] можно сравнить (таблица 3.10), в первую очередь с проводившимися здесь же, в Центральной Азии измерениями 1983 года [10].

Классификация различных типов аэрозолей, наблюдаемых над Душанбе, Таджикистан, дана в статье [121], на основе соотношения между оптической толщиной аэрозоля (АОТ) и показателем Ангстрема (АЕ). Выявлено пять основных типов аэрозолей со значительным массовым содержанием: чисто континентальный (16.97%), морской (15.68%), городской/промышленный и сжигание биомассы (7.69%), пустынная пыль (2.71%), смешанный (56.95%).

Цель настоящего параграфа - изучение катионного состава аэрозоля, обнаружение его источников, а также сравнение временных вариаций концентраций в Таджикистане и других регионах мира. Как видно из таблицы 3.10, средние концентрации аэрозольных анионов в Душанбе, полученные в 2015 и в 1983 годах значительно отличаются. Это, очевидно, отражает изменение экологической ситуации в регионе. Приведенные данные позволяют оценить связь изменений катионного состава аэрозоля в Душанбе через 30 лет с конкретными источниками катионов в стране.

Таблица 3.10. - Средние концентрации атмосферных катионов в Таджикистане и других регионах мира.

№	Источник / Катион	Na ⁺	NH ⁴⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
1	Таджикистан (2016)	0.247	1.282	0.551	0.081	2.13
2	Таджикистан (1983) [10]	1.27	3.38	0.48	1.58	0
3	ЕТС [10]	0.852	1.5749	0.1255	0.1606	0.3372
4	Россия (Урал) [10]	0.81	0.495	0.1175	0.1781	0.711
5	Казахстан [10]	0.4183	1.0096	0.0383	0.2472	0.3011
6	Туркменистан [10]	1.5807	0.8454	0.4243	0.4528	2.9871
7	Узбекистан [10]	0.7823	2.4614	0.2179	0.2287	3.015
8	Киргизстан [10]	0.063	1.88	0.09	0.1274	0.5022
9	Россия (Западная Сибирь) [10]	0.6803	1.2372	0.1128	0.1304	0.1538
10	Россия (Восточная Сибирь) [10]	0.4072	1.0262	0.1451	0.0896	0.2093
11	Россия (Дальний Восток) [10]	0.4767	0.9422	0.101	0.3149	0.2129
12	Россия (Камчатка) [10]	0.915	1.7313	0.8565	0.0906	0.9096
13	США (Сан-Хосе) [122]	0.75	0.35	0.29	0.06	0.41
14	Северная Индия [123]	0.84	0.46	0.1	0.18	0.68
15	Китай, северо-запад [9]	3.33	20.48	7.96	0.75	0.71
16	Китай (Юлинь) [126]	3.7	2.4	0.7	0.5	7.4
17	Китай (Пекин) [127]	0.91	10.2	1.39	0.46	3.92
18	(Макка) [128]	-	3.6	2	-	-
19	Италия (Неаполь) [129]	1.7	0.3	0.4	0.2	1.5
20	Африка (Сапе Верде) [183]	3.7	0.09	0.13	0.4	0.64
21	Испания (Эльче) [184]	0.45	0.58	0.21	0.07	0.93
22	Испания (Гранада) [185]	0.5	-	0.5	0.7	3

Резкое сокращение концентрации фтора и катионов магния также связано с уменьшением выбросов алюминиевого завода, так как объем производства первичного алюминия упал с 348,8 тысячи тонн в 2010 году до 139,1 тысячи в 2015 году, т.е. производство металла упало на 209,7 тысячи тонн, или на 39,8% [203]. Проектная мощность - 517 тыс. тонн в год, но в 2019 году произведено 100,8 тыс. тонн [204], производство алюминия за это период сократилась в 4 раза. Сократились значительные выбросы Яванского электрохимического завода [205] в связи с его закрытием.

Снижение средней концентрации катионов (в таких соединениях, как нитрат натрия, сульфат аммония и сульфат магния) в атмосфере г. Душанбе связано, видимо, с сокращением использования в стране удобрений на 15-

37% [201]. На Вахшском азотно-туковом комбинате основную продукцию составляли: синтетический аммиак объемом 123,6 тыс. тонн/год и карбамид 180000 тонн/год. С декабря 2008г. из-за роста цен на газ и перебоев с подачей электроэнергии работа предприятия была приостановлена [206] в связи с уменьшением производства и проведением экологических мероприятий по сокращению выбросов. Уменьшился выброс ионов в атмосферу и из-за общего снижения площади обрабатываемых с помощью удобрений земель. Согласно данным [186], в 1980-1986 годах количество орошаемых земель составляло 662 тысячи гектаров, а по данным [187] до 2014 году количество орошаемых земель уменьшилось до 592,3 тысячи гектаров, т.е. из-за роста населения и перераспределения земли площадь орошаемых земель сократилась примерно на 70 тысяч гектаров. Соответственно, сократилось и использование удобрений в сельском хозяйстве по сравнению с 80-ми годами прошлого века.

Увеличение среднего значения концентрации катионов калия в аэрозоле Таджикистана может быть связано с высыханием Аральского моря, поскольку катионы калия попадают в атмосферу ветрами с сухого дна Аральского моря. Увеличение концентрации катионов кальция в аэрозоле г. Душанбе может быть связано с заводом Таджикцемент и другими предприятиями, производящими или перерабатывающими цемент.

В таблице 3.11 приведены средние концентрации аэрозольных катионов в полуаридной зоне Таджикистана и предыдущие данные по Таджикистану и 20 регионам мира. Как видно из таблицы 3.11, максимальные средние значения концентрации катионов натрия, аммония и калия в Китае (Юлинь, северо-запад и Пекин) [125-127], магния в Таджикистане (1983) [10], кальция в Китае (Пекин) [126], Узбекистан [10], Туркменистан [10] и в Таджикистан (2016). Согласно данным [186], одной из причин высокой средней концентрации большинства катионов в китайской атмосфере является: Китай занимает первое место среди мировых производителей продуктов питания, цемента, а также среди пользователей

угля, древесины, удобрений и табака. С соответствующе высоким количеством выбросов в атмосферу, включая растворимые соли. 16 городов Китая входят в число 20 самых загрязненных городов на земле. Количество загрязняющих веществ, таких как оксиды азота и углекислый газ, увеличивается из-за увеличения числа машин и выработки электроэнергии с преобладанием угольных электростанций. Уголь обеспечивает Китай 68,7% всей потребляемой энергии. Китай является одной из наименее покрытых лесом стран в мире с 0,3akra леса на душу населения по сравнению со средним мировым показателем в 1,6akra; леса покрывают только 16 процентов Китая (по сравнению с 74 процентами в Японии) [186]. В табл.3.11 можно сравнить данные по Таджикистану (настоящие и 1983г.) по концентрации катионов. Сравнение изменений концентрации катионов в атмосфере от минимума до максимума в полуаридной зоне Таджикистана с другими регионами мира представлено в таблице 3.11.

Как видно из таблицы 3.11., максимальную концентрацию катионов натрия и магния наблюдается в аэрозоле монгольской столицы Улан-Батор. **Таблица 3.11.** - Концентрации аэрозольных катионов в Душанбе и других регионах мира.

Источник\катион	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Таджикистан (Душанбе)	0.01-0.87	0.09-8.696	0.126-1.65	0.01- 0.41	0.35- 6.25
Монголия (Улан-Батор) [9]	3.55-10.16	0-13.18	-	-	-
Монголия (Южная Гоби)[9]	3.38-9.13	-	0.78-1.96	#	1.74-6.07
США (Сан-Хосе) [122]	0.21-2.07	0.03-1.95	0.01-2.84	0.02-0.2	0.03-1.82
Китай (Северо-запад)[125]	2.12-5.56	0.78-49.32	1.32-15.34	0.55- 1.26	0.07-4.27
Мекка [127]	-	0.5-8.88	0.33-9.31	-	-
Италия (Неаполь) [128]	1.1-3.3	0-0.9	0.3-0.5	0.1- 0.4	0.9-2.2
Африка (Кабо-Верде) [129]] 0.25- 12.74	0-0.76	0-0.86	0.05- 1.34	0-4.44
Испания (Эльче) [183]	0.06-2.13	0.06-2.59	0.04-2.07	0.01-0.32	0.26-5.5

По данным статьи [131] проведенные расчеты дали оценку вклада только ТЭЦ в общее загрязнение атмосферного воздуха. Но в городе

имеются и другие теплоисточники: котельные, печи юртовых поселений. Перегруженность автотранспортом, плохие дороги, горное окаймление с трех сторон, пыление гольцов и карьеров, малое количество осадков, слабые ветра, стремительный рост населения, еще более осложняют экологическую обстановку города, что приводит к отрицательным последствиям. Максимальная концентрация катионов магния и кальция обнаружена в аэрозоле атмосферы Душанбе. Как упоминалось ранее, его основными источниками являются морская соль, удобрения, ТЭЦ, цементный завод и транспорт.

Проведенный анализ показывает, что социально экономические перемены в стране привели к серьёзным изменением антропогенного вклада в катионное загрязнение атмосферного аэрозоля.

При сравнении концентраций катионов атмосферного аэрозоля (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) в полуаридной зоне Таджикистана и других регионах мира установлено, что среди пяти протестированных катионов, самая высокая концентрация у ионов кальция. Причиной высокой концентрации кальция являются, видимо, ТЭЦ, завод «Таджикцемент» и транспорт.

3.6. Сравнение карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана

В настоящем параграфе приведены результаты сравнения экспериментальных данных, собранные за два года (2015-2016) по средней концентрации органического и элементарного углерода в пробах атмосферного аэрозоля, с данными из других регионов мира, что помогает выявить источники и способы предотвращения загрязнения воздуха.

В таблице и рис. 3.57 (а, б, в, г) приведены средние концентрации аэрозольных карбонов и их вариации в полуаридной зоне Таджикистана и других регионах мира с высоким содержанием этих карбонов в атмосфере.

Как видно из таблицы 3.12 и рисунки 3.57, самые высокие средние концентрации органического и элементарного углерода наблюдаются в

пробах атмосферного аэрозоля некоторых китайских городов юго-восточной Азии (Сиань, Тайвань).

Возможные причины: в Тайване высока концентрация ОС и ЕС, в основном, из-за развитого сельского хозяйства [187]. В городе Сиань транспорт является постоянным источником загрязнения, при сельскохозяйственных работах проводится осеннее сжигание соломы, что увеличивает содержание углерода в атмосфере. Зимой в Сиане работает отопление, плохая циркуляция воздуха и затрудненное распространение загрязняющих веществ.

Таблица 3.12. - Средние концентрации карбонов и его вариации отношения ОС/ЕС в пробах атмосферного аэрозоля в г.Душанбе и других регионах мира

Регион	ЕС, мкг/м ³	ОС, мкг/м ³	ТС, мкг/м ³	ОС/ЕС
Таджикистан (Душанбе)	2,89	12,24	15,14	4,23
Китай (Чанчунь) [190]	1,85	21,7	23,55	11,72
Китай (Гуанчжоу) [190]	4,1	17,5	21,6	4,27
Китай (Тайвань)[190]	23,5	65,2	88,7	2,8
Китай (Сйянь) [190]	8,3	40,6	48,9	4,9
Китай (Юлинь) [126]	6,6	21,3	27,9	323
Китай (Пекин) [127]	1,34	6,ss	-	5,13
Индия [191]	4	30	34	7,5
Россия (Томск) [192]	-	14,8	-	4,35
Испания Эльче[185]	1,46	6,86	8,32	4,7
Нидерландия [190]	0,68	2,3	2,98	3,4
Польша (Краков) [198]	3,9	15,2	19,1	3,9

Высокой концентрацией ОС отличаются северные города, где большое количество ОС образуется при сжигании угля [187]. Результаты анализа состава атмосферных аэрозольных углеродных фракций в г.Душанбе, полученные в ходе двухлетнего исследования (2015-2016 гг.), показали, что наибольшие концентрации органического углерода в атмосфере наблюдались зимой (19.12.2015).

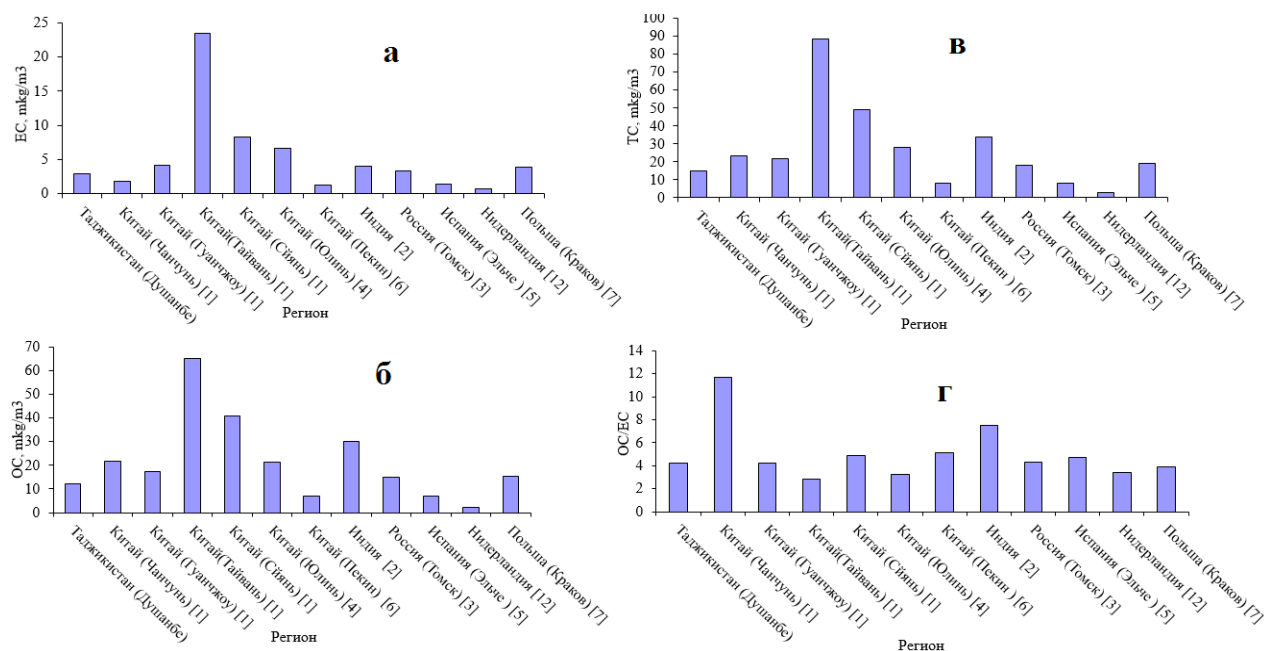


Рисунок 3.57. - Средние концентрации карбонов и его отношения ОС/ЕС для атмосферного аэрозоля в г.Душанбе и других регионах мира: *а* - средние концентрации ЕС, *б* – ОС, *в* – ТС, *г*- вариации отношения ОС/ЕС.

Это, очевидно, объясняется увеличением сжигания топлива для отопления. Наибольшая концентрация элементарного углерода зафиксирована осенью (11.10.2015), что, видимо, связано со сжиганием осенью сухих листьев деревьев [191].

Для выявления роли процессов дальнего переноса карбонов были проведены расчеты траекторий движения воздушных масс методом обратных траекторий.

Этот метод использован для выяснения расположения возможных источников, создававших максимальные концентрации карбоновых компонентов аэрозоля в г. Душанбе в период эксперимента (рисунок 3.58). Наибольшее содержание ОС (52.11 мкг/м^3) и ТС (53.88 мкг/м^3) зафиксировано 19 декабря 2015 г.

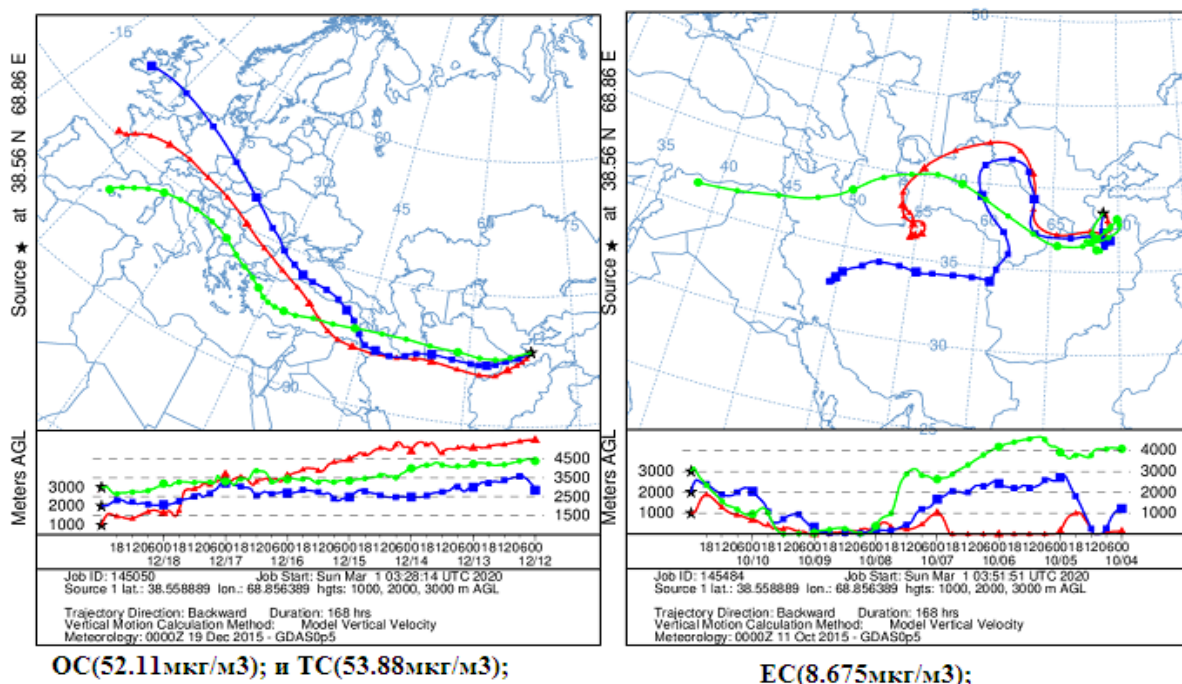


Рисунок 3.58. - Обратные траектории воздушных масс с наибольшим содержанием органического углерода (OC), элементарного углерода (EC) и полным содержанием углерода (TC).

Анализ состава атмосферных аэрозольных углеродных фракций в полуаридной зоне Таджикистан, измерявшегося в ходе двухлетнего мониторинга (2015-2016 гг.) позволил оценить факторы, влияющие на содержание карбонов. Наибольшие концентрации органического углерода (OC) в атмосфере зимой (19.12.2015) коррелируют с увеличением сжигания топлива в отопительных системах в зимнее время. Наибольшая концентрация элементарного углерода (EC) осенью (11.10.2015) может быть связана с сезонным сжиганием травы и листьев деревьев. Применение метода обратной траекторий (модель HYSPLIT) показало, что преобладающее направление движения воздушных масс за 7 суток в дни с наибольшим содержанием карбонов в атмосфере происходило с территории Европы и не сопровождалось пересечением территорий с повышенной задымленностью. Проведенное сравнение дальних и ближних источников атмосферных карбонов в городе Душанбе определенно указывает на местные источники – от транспорта и сжигания органики.

3.7. Статистический анализ результатов

Параметры, полученные при статистической обработке результатов измерений для выборок, состоящих из 181 элемента (проб аэрозоля), приведены в таблице 3.13. ($\langle C \rangle$, C_{\max} , C_{\min} – среднее, максимальное и минимальное содержание элементов в пробах атмосферного аэрозоля; σ – среднеквадратическое отклонение, V – коэффициент вариации, S_n – погрешность (σ/N), N – количество проб. I – индекс уровня загрязнения.)

Таблица 3.13. - Статистические характеристики компонентов атмосферного аэрозоля и ионов в период эксперимента CADEX

Параметр, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\langle C \rangle$	C_{\max}	C_{\min}	σ	δ	V	S_n	I	N
OC	11,574	52,112	0,007	0,009	0,0015	0,001	0,00005	10,094	181
EC	2,914	8,675	0,003	0,099	0,0160	0,034	0,0005	19,926	181
TC	14,759	53,882	0,01	0,756	0,1222	0,051	0,0042	9,914	181
Mass	82,387	433,908	2,03	4,018	0,6495	0,049	0,0222	4,758	181
Cl^-	1,113	7,642	0,049	0,108	0,0175	0,097	0,0006	3,917	181
NO_3^-	2,603	10,902	0,472	0,15	0,0242	0,058	0,0008	1,879	181
SO_4^{2-}	3,647	12,155	0,923	0,147	0,0238	0,04	0,0008	1,398	181
NO_2^-	0,004	0,014	0,002	0,0003	0,0000	0,061	-	4,563	101
Br^-	0,011	0,038	0,001	0,001	0,0002	0,06	0,00001	3,985	121
F^-	0,172	1,052	0,008	0,013	0,0021	0,073	0,00007	3,873	181
PO_4^{3-}	0,009	0,439	0,004	0,004	0,0006	0,071	0,00003	3,03	150
Na^+	0,247	0,87	0,009	0,012	0,0019	0,049	0,00007	4,128	181
NH_4^+	1,282	8,696	0,088	0,107	0,0173	0,083	0,00059	3,278	181
K^+	0,551	1,65	0,126	0,02	0,0032	0,036	0,00011	1,544	181
Mg^{2+}	0,081	0,406	0,013	0,004	0,0006	0,045	0,00002	2,079	181
Ca^{2+}	2,13	6,248	0,348	0,076	0,0123	0,036	0,00042	2,031	181

Наибольшее различие наблюдается между органическими и неорганическими компонентами ионов аэрозоля. Отношение максимальной и минимальной концентраций для ионов: от 7 раз (нитриты) до значения 120 (фтор). Для органики и карбона это отношение гораздо выше и меняется от 5000 до 7400.

Коэффициенты корреляции компонентов атмосферного аэрозоля и ионов в период эксперимента приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14. - Коэффициент корреляции компонентов атмосферного аэрозоля и ионов в период эксперимента CADEX

	EC	TC	Mass	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
OC	0,21	0,99	0,29	0,94	0,73	0,51	-0,04	0,21	0,20	0,85	0,73	0,37	0,08
EC		0,34	0,43	0,04	0,15	0,13	0,17	0,35	0,33	-0,03	0,38	0,38	0,37
TC			0,34	0,91	0,72	0,51	-0,02	0,25	0,24	0,81	0,75	0,09	0,13
Mass				0,17	0,37	0,56	0,05	0,48	0,76	0,19	0,46	0,88	0,71
Cl ⁻					0,72	0,50	-0,09	0,23	0,18	0,86	0,63	0,06	0,02
NO ₃ ⁻						0,73	-0,04	0,53	0,52	0,80	0,70	0,26	0,37
SO ₄ ²⁻							-0,21	0,65	0,71	0,72	0,56	0,53	0,50
NO ₂ ⁻								-0,07	-0,05	-0,14	-0,08	0,09	0,19
F ⁻									0,82	0,26	0,41	0,56	0,69
Na ⁺										0,25	0,49	0,80	0,75
NH ₄ ⁺											0,57	0,00	-0,04
K ⁺												0,36	0,41
Mg ²⁺													0,82

Высокая корреляция концентраций ионов означает, что соответствующие ионы имеют общее происхождение, либо входят в состав одних и тех же химических соединений. То есть органический карбон входит в органические соединения вместе с ионами нитратов, хлора, аммония, калия. Такие же примерно корреляции для общего содержания органических веществ.

Органических веществ в аэрозоле меньше, чем неорганических, поэтому корреляции общего массового содержания ионов – совершенно другие. Основной вклад в неорганическую часть ионного состава дают сульфат-ионы, нитрат-ионы, ионы натрия, магния, кальция и частично калия.

В таблице 3.15 приведены результаты определения места происхождения аэрозоля пылевых вторжений. Максимальные и минимальные значения концентрации каждого компонента аэрозоля приведены в таблице 3.8. Наименьшее содержание всех ионов зафиксировано весной. Причиной этого может быть либо сезонное изменение розы ветров в Гиссарской долине, где находится город Душанбе, либо изменение состава переносимого аэрозоля, либо быстрое вымывание ионов осадками.

Таблица 3.15. - Источники образования, сезонные максимумы и минимумы для компонентов аэрозоля, полученные с использованием обратной траектории наиболее мощных вторжений

Параметр, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Минимум	Максимум	Дата максимума	Источник
ОС	весна	осень-зима	19.12.2015	Такла-Макан
ЕС	весна	осень-зима	11.10.2015	Такла-Макан
ТС	весна	осень-зима	19.12.2015	Такла-Макан
ОМ	весна	осень-зима	19.12.2015	Такла-Макан
Mass	весна	лето	21.07.2015	Бекабад
Cl^-	весна	зима	19.12.2015	Такла-Макан
NO_3^-	весна	зима	19.12.2015	Такла-Макан
SO_4^{2-}	весна	зима	15.12.2015	Такла-Макан
Oxalate	весна	зима	15.12.2015	Такла-Макан
NO_2^-	весна	зима	21.02.2015	Афганистан
Br^-	весна	лето-зима	17.12.2015	Афганистан
F^-	весна	лето-зима	18.01.2015	Алматы
Formiate	весна	лето-зима	15.12.2015	Такла-Макан
MSA	весна	лето-зима	01.02.2015	Алматы
PO_4^{3-}	весна	лето-зима	31.12.2015	Синьцзян
Na^+	весна	лето-зима	21.07.2015	Киргизстан
NH_4^+	весна	лето-зима	01.02.2015	Бекабад
K^+	весна	лето-зима	19.12.2015	Такла-Макан
Mg^{2+}	весна	лето-зима	21.07.2015	Бекабад
Ca^{2+}	весна	лето-зима	18.01.2015	Киргизстан

*Максимальные и минимальные значения приведены в таблице 3.8.

Максимумы содержания ионов распределяются по оставшимся трем сезонам года. При этом приток аэрозоля из каждого региона имеет свой сезонный характер. Так, пылевые вторжения из пустыни Такла-Макан, приносящие наиболее мощные потоки карбона и органики – происходят зимой, в декабре.

Установлено, что в полуаридной зоне Таджикистана среднее содержание ОС ($11.574 \pm 0.0015 \text{ мкг}/\text{м}^3$); ЕС ($2.914 \pm 0.0160 \text{ мкг}/\text{м}^3$); ТС ($14.759 \pm 0.1222 \text{ мкг}/\text{м}^3$) и МС ($82.387 \pm 0.6495 \text{ мкг}/\text{м}^3$).

Сопоставление с известными данными по химическому составу аэрозоля, полученными в Сибири, в Монголии и в Китае позволяет заключить, что водорастворимый аэрозоль в Душанбе формируется за счет местного и переносного происхождения и не имеет аналогов среди анализировавшихся данных. Особенностью измерений в Душанбе является, в частности, низкое по сравнению с традиционными местами распространения пылевых вторжений, содержание сульфатов и нитратов. Но содержание этих веществ выше, чем в лесах Сибири. Еще одним существенным отличием ионного состава аэрозоля в Душанбе является высокое содержание ионов фтора 19 мкг/м^3 , более чем в 10 раз превышающее содержание фтора в других местностях, даже таких экологически загрязненных, как Пекин. Причина этого отличия известна – это алюминиевый завод, расположенный к западу от Душанбе, преобладающие ветры от которого как раз направлены вглубь Гиссарской долины, к Душанбе.

Таким образом, в работе изучена вариация ионного состава атмосферного аэрозоля, сезонное изменение всех изучавшихся компонентов максимально зимой и минимально весной. Выявлена что источником вторжения в атмосфере г. Душанбе карбонатов ОС, ЕС, ТС, ОМ, ионов Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} оксалатов, формиатов и K^+ является пустыня Такла - Макан источниками других компонентов являются соседние страны Центральной Азии. Приведены статистические характеристики и пределы вариации концентрации компонентов, коэффициенты корреляции между компонентами. Для наиболее значимой вариации между компонентами найдены уравнение линии регрессии, коэффициенты детерминации и корреляции. Для наиболее высокой концентрации вторжения потоков установлен возможный источник образования с использованием программы обнаружения обратной траектории HYSPLIT [72-78].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Пределы изменения концентраций ионов в атмосферном аэрозоле за период 2015-2016 гг с максимальными значениями в зимний период: анионов хлора ($0.049-7.64 \text{ мкг/м}^3$), нитрата ($0.472-10.902 \text{ мкг/м}^3$), сульфата ($0.923-12.155 \text{ мкг/м}^3$), нитрита ($0.002-0.014 \text{ мкг/м}^3$), брома ($0.001-0.038 \text{ мкг/м}^3$), фтора ($0.008-1.052 \text{ мкг/м}^3$), фосфата ($0.004-0.439 \text{ мкг/м}^3$), катионов натрия ($0.009-0.87 \text{ мкг/м}^3$), магния ($0.013-0.406 \text{ мкг/м}^3$), аммония ($0.088-8.696 \text{ мкг/м}^3$), калия ($0.126-1.65 \text{ мкг/м}^3$) и кальция ($0.348-6.248 \text{ мкг/м}^3$) ([9-A], [10-A], [11-A], [12-A]);
2. Пределы изменения концентраций карбоновых компонентов в атмосферном аэрозоле за период 2015-2016 гг: ОС ($0.007-52.112 \text{ мкг/м}^3$), ЕС ($0.003-8.675 \text{ мкг/м}^3$), ТС ($0.01-53.882 \text{ мкг/м}^3$) и МС ($2.03-433.908 \text{ мкг/м}^3$) с максимальными значениями в зимний период (ОС, ТС), осенью (ЕС) и летом (МС). Самые низкие уровни зарегистрированы весной ([1-A], [2-A], [3-A], [8-A]);
3. Обнаружены высокие концентрации фтора и кальция по сравнению содержания ионных и карбоновых компонентов в пробах аэрозоля в других регионах мира ([1-A], [11-A], [12-A]);
4. Проведен статистический анализ содержания ионов и карбоновых компонентов в пробах аэрозоля, вычислены их коэффициенты корреляции. Обнаружена очень высокая корреляция между концентрациями ОС и ОМ ($r=1$), между ОС и ТС ($r=0.99$), между ТС и ОМ ($r=0.98$), между ОС и Cl^- и между ОМ и Cl^- ($r=0.94$), между ТС и Cl^- ($r=0.91$), между МС и Mg^{2+} ($r=0.88$) значимая корреляция между ОС и NH_4^+ между ОМ и NH_4^+ ($r=0.85$), между ТС и NH_4^+ ($r=0.81$), средняя корреляция между МС и Na^+ ($r=0.76$), между ТС и K^+ ($r=0.75$). Рассчитаны среднеквадратичные отклонения и доверительный интервал для всех компонентов ([1-A], [2-A], [3-A], [8-A], [9-A], [10-A]);
5. Среднесезонные концентрации ОС (органический углерод) в PM10 менялась в порядке зима > осень > лето > весна, в то время как ЕС (элементарный углерод) варьировали в порядке осень > лето > зима > весна.

Отношение ОС/ЕС составляли 9.79; 2.9; 2.83 и 2.41 зимой, осенью, летом и весной, соответственно, что указывает на обилие вторичных органических аэрозолей в г. Душанбе. Источники углеродсодержащего аэрозоля в PM10 значительно варьировались в зависимости от времени года, среди них преобладают выхлопные газы транспорта и продукты сжигания угля и биомассы ([11-А], [12-А], [14-А], [18-А]);

6. Показано, что основная часть ионного и карбоновой концентрации аэрозоля в г. Душанбе обусловлена местными источниками загрязнителей атмосферы (промышленными, аграрными, бытовыми) ([3-А], [8-А], [9-А]).

7. Выявлено, что дальний воздушный перенос ионов и карбонов г. Душанбе имеет источники: источниками ОС, ЕС, ТС, ОМ, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ и K⁺ является пустыня Такла-Макан, источниками других компонентов являются соседние страны Центральной Азии ([1-А], [2-А], [3-А], [8-А], [9-А], [10-А], [11-А], [12-А]).

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы при математическом моделировании переноса загрязнения воздушными потоками, для оценки загрязнения воздушной среды районов полуаридной зоны Республики Таджикистана ионами и карбоновыми компонентами. Результаты проведенных экспериментальных исследований предполагается использовать в качестве базы данных при дальнейшем изучении загрязнения АА ионами и карбоновыми компонентами. Полученные результаты по фоновым концентрациям ионов и карбонов в АА полуаридной зоны Таджикистана могут служить критерием оценки степени загрязнения территории региона указанными компонентами. Результаты исследования могут быть использоваться в учебном процессе в ВУЗах для подготовки специалистов в области метеорологии и климатологии, экологии, физике и химии атмосферы.

СПИСОК литературы

Список использованных источников

[1]. Рапута, В. Ф. Оценка содержания нитратов и сульфатов в снегу окрестностей нефтегазового факела/ В. Ф. Рапута, Б. С. Смоляков, К. П. Куценогий// Сибирский экологический журнал. - 2000. - №1. - С.103-107с.

[2]. Mikhailov, E.F. Long-term measurements (2010-2014) of carbonaceous aerosol and carbon monoxide at the ZOTINO tall tower observatory (ZOTTO) in Central Siberia / E.F. Mikhailov, D.Walter , U. Pöschl, M.O. Andreae, S. Mironova, G.Mironov , S.Vlasenko, A.Panov., X.Chi, S.Carbone , P.Artaxo P, M.Heimann, J. Lavric // Atmospheric Chemistry and Physics. 2017. -V. 17. -N23. - p. 14365-14392.

[3]. Konovalov, I.B. Estimation of black carbon emissions from Siberian fires using satellite observations of absorption and extinction optical depths.I.B.Konovalov, D.A.Lvova, M.Beekmann, H.Jethva, E.F.Mikhailov, P.Ciais, B.D. Belan, V.S.Kozlov, M.O. Andreae //Atmospheric Chemistry and Physics. 2018. -V. 18.-N20.-P. 14889-14924.

[4]. Волкова, К.А. Сезонная и суточная изменчивость концентраций аэрозольных частиц вблизи Санкт-Петербурга / К.А.Волкова, С.С.Аникин, Е.Ф.Михайлов, Д.В.Ионов, С.С.Власенко, Т.И.Рышкевич // Оптика атмосферы и океана. 2020.- Т. 33. -№ 5. - С. 407-414.

[5]. Смоляков, Б.С. Ионный состав и кислотность атмосферных аэрозолей на юге Западной Сибири в 1996–2004 гг. /Б.С. Смоляков, М.П. Шинкоренко, Л.А. Павлюк и С.Н. Филимонова //Экологическая химия 2006, 15(1): 1–12

[7]. Антохина, О.Ю. Исследование состава воздуха в различных воздушных массах / О.Ю.Антохина, П.Н.Антохин, В.Г.Аршинова, М.Ю.Аршинов, Б.Д.Белан, С.Б.Белан, Д.В.Симоненков, Т.К.Скляднева, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофонов / Оптика атмосферы и океана // 2018. -Т. 31. -№ 9. - С. 752-759.

[8]. Симоненков, Д.В. База данных химического и приведенного к нему дисперсного состава тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири

Д.В.Симоненков, Б.Д.Белан, Г.Н.Толмачев, А.В.Козлов, С.Б.Белан
Свидетельство о регистрации базы данных 2022620036, 10.01.2022. Заявка №
2021623295 от 27.12.2021.

[9]. Жамсуева, Г.С. Результаты исследований ионного состава аэрозолей в атмосфере Монголии/ Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, А.В. Стариков, и др.// Оптика атмосферы и океана. - 2013. – Т.26, № 6. – С.472-477.

[10]. Толмачев, Г.Н. Горизонтальное распределение ионно-элементного состава атмосферного аэрозоля над территорией СССР/ Г.Н. Толмачев// Сбор. мат. кон. «Естественные и антропогенные аэрозоли». – 2018. - С.142-151

[11]. Аршинов, М.Ю. Взаимосвязь концентрации атмосферных ионов и радона по данным измерений в обсерватории "Фоновая" / М.Ю.Аршинов, Б.Д.Белан, О.В.Гармаш, и др. // Оптика атмосферы и океана. 2022. - Т. 35. -№ 1 (396). - С. 12-18.

[12]. Власенко, С.С. Изменчивость углеродсодержащей фракции атмосферного аэрозоля вблизи Санкт-Петербурга./ С.С. Власенко, К.А. Волкова, Д.В. Ионов и др. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. – 2019. - Т. 55, № 6. – С. 147–156.

[13]. Губанова, Д. П. Временные вариации состава атмосферного аэрозоля в Москве весной 2020 года/Д.П. Губанова, А.А. Виноградова, М.А. Иорданский, А.И. Скороход //Физика атмосферы и океана. - 2021, Т. 57, № 3. С. 334-348.

[14]. Du, W. Chemical characterization of submicron aerosol and particle growth events at a national background site (3295 m asl) on the Tibetan Plateau/ W. Du, Y. L. Sun, Y. S. Y. S. Xu, et. al. // Atmospheric Chemistry and Physics. - 2015. –V.18. – P.10811-10824.

[15]. Gautam, R. Aerosol and rainfall variability over the Indian monsoon region: distributions, trends and coupling/ R. Gautam, N. C. Hsu, K. M. Lau, et. al. // Annales Geophysicae. – 2009. V.27. - № 9. - P. 3691-3703.

[16]. Gautam, R. Accumulation of aerosols over the IndoGangetic plains and southern slopes of the Himalayas: distribution, properties and radiative effects during the 2009 pre-monsoon season/ R. Gautam, N. C. Hsu, S. C. Tsay, et. al. // Atmospheric Chemistry and Physics. -2011. – V.11 -№24. - P.12841-12863.

[17]. Kaskaoutis, D. G. Variability and trends of aerosol properties over Kanpur, northern India using AERONET data (2001–10)/ D. G. Kaskaoutis, R. P. Singh, R. Gautam, et. al. // Environmental Research Letters. – 2012. – V. 7. - № 2 . Article P. 24003-09.

[18]. Lau, K. M. Observational relationships between aerosol and Asian monsoon rainfall, and circulation/ K. M., Lau, K. M. Kim // Geophysical Research Letters. -2006. V. 33. -№ 21. -Article ID: L21810, 05pp.

[19]. Lau, W. Possible influences of air pollution, dust and sandstorms on the Indian monsoon/ W. K. Lau, K. M. Kim, C. N. Hsu, et. al. // WMO Bulletin. – 2009. – V.58. - № 1.- P.22-30.

[20]. Lawrence, M. G. Atmospheric pollutant outflow from southern Asia: a review/ M. G. Lawrence, J. Lelieveld // Atmospheric Chemistry and Physics. - 2010. - V.10. - №22. - P.11-017.

[21]. Panda, J. Study of regional-scale boundary layer characteristics over Northern India with a special reference to the role of the Thar Desert in regional-scale transport/ J. Panda, M. Sharan, S. G. Gopalakrishnan // Journal of Applied Meteorology and Climatology.- 2009. - V.48. - №11.- P.2377-2402.

[22]. Ramanathan, V. C. Crutzen, P. J., Kiehl, J. T., & Rosenfeld, D. (2001). Aerosols, climate, and the hydrological cycle/ V. C. Ramanathan, P. J., Crutzen, J. T., Kiehl, et. al.// Science. – 2001. – V.294. -№5549. - P.2119-2124.

[23]. Ramanathan, V. Atmospheric brown clouds: Impacts on South Asian climate and hydrological cycle/ V. Ramanathan, C. Chung, D. Kim, et. al. // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2005. – V.102. - №15. – P.5326-5333.

[24]. Ramanathan, V. The Indian Ocean experiment and the Asian brown cloud/ V. Ramanathan, P. J. Crutzen, A. P. Mitra, et. al. // Current Science – 2002. –V.83 - №8. – P.947-955.

[25]. Ramanathan, V. Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption/ V. Ramanathan, M. V. Ramana, G. Roberts, et. al. // Nature. – 2007.- V.448. -№ 7153. – P.575-578.

[26]. Satheesh, S. K., & Moorthy, K. K. (2005). Radiative effects of natural aerosols: A review/ S. K. Satheesh, K. K. Moorthy, et. al. // Atmospheric Environment. - V.39. - №11. –P. 2089-2110.

[27]. Satheesh, S. K. Chemical, microphysical, and radiative effects of Indian Ocean aerosols/ S. K. Satheesh, V. Ramanathan, B. N. Holben, et. al.// Journal of Geophysical Research: Atmospheres. - 2002. - V.107.- №23. P.13.

[28]. Stocker, T. F. Climate Change 2013: the physical science basis/ T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, et. al. // Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University press. – P.1552.

[29]. Tao, W. K. Impact of aerosols on convective clouds and precipitation/ W. K. Tao, J. P. Chen, Z. Li, et. al. // Reviews of Geophysics. -2012. –V.50. -№2. – P.62.

[30]. Verma, S. Origin of surface and columnar Indian Ocean Experiment (INDOEX) aerosols using source - and region - tagged emissions transport in a general circulation model/ S., Verma, C., Venkataraman, O.Boucher // Journal of Geophysical Research: Atmospheres-2008. – V.113. – P.13.

[31]. Vinoj, V. Short-term modulation of Indian summer monsoon rainfall by West Asian dust/ V. Vinoj, P. J. Rasch, H.,Wang, et. al. // Nature Geoscience. – 2014. –V.7 - № 4. - P.308-313.

[32]. Intergovernmental Panel on Climate Change. Clouds and Aerosols. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change;

Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA. – 2014. – P.571–658.

[33]. Haywood, J. Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols/ J. Haywood, O.Boucher// A review. *Rev. Geophys.* – 2000. – V.38. – P.513–543.

[34]. Boucher, O. *Atmospheric Aerosols: Properties and Climate Impacts*; Springer/ O. Boucher // Netherlands. – 2015. – P. 227–246.

[35]. WMO, *Aerosols and Climate, WCP 12 (World Climate Research Program Report No. 12)*, 1980, International Council of Scientific Unions. Available online: <https://library.wmo.int/index.php?lvl=auth>

[36]. Wang, C. Anthropogenic aerosols and the distribution of past large-scale precipitation change/C. Wang // *Geophys. Res. Lett.* – 2015. – V.42. – P.10876–10884.

[37]. Charlson, R.J. Perturbation of the northern hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic sulfate aerosols/ R.J. Charlson, J.Langner, H. Rodhe, et. al. // *Tellus A Dyn. Meteorol. Oceanogr.* – 1991. – V.43. - P.152–163.

[38]. Kiehl, J.T. The Relative Roles of Sulfate Aerosols and Greenhouse Gases in Climate Forcing/ J.T. Kiehl, B.P. Briegleb // *Science.* – 1993. – V.260. – P.311.

[39]. Wang, C. Impact of anthropogenic aerosols on Indian summer monsoon/ C. Wang, D. Kim, A.M.L. Ekman, et. al. // *Geophys. Res. Lett.* -2009. - V.36. –P. L 21704.

[40]. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA. – 2014. – P.659–740.

[41]. Baker, L.H. Climate responses to anthropogenic emissions of short-lived climate pollutants. Atmos/ L.H. Baker, W.J. Collins, D.J.L. Olivié, et. al. // Chem. Phys. – 2015. – V.15. – P.8201–8216.

[42]. Shindell, D. Spatial scales of climate response to inhomogeneous radiative forcing/ D. Shindell,; M. Schulz,; Y. Ming, et. al.// J. Geophys. Res. – 2010. - V.115. - P.D19110.

[43]. Undorf, S. Detectable Impact of Local and Remote Anthropogenic Aerosols on the 20th Century Changes of West African and South Asian Monsoon Precipitation/ S. Undorf, D.Polson, M.A. Bollasina, et. al. // J. Geophys. Res. Atmos. – 2018. – V.123. – P.4871–4889.

[44]. Westervelt, D.M. Connecting regional aerosol emissions reductions to local and remote precipitation responses/ D.M. Westervelt, A.J. Conley, A.M. Fiore, et. al.// Atmos. Chem. Phys. – 2018. – V.18. – P.12461–12475.

[45]. Liu, L. A PDRMIP Multimodel Study on the Impacts of Regional Aerosol Forcings on Global and Regional Precipitation/ L. Liu, D.Shawki, A.Voulgarakis, et al. // J. Clim. – 2018. – V.31. – P. 4429–4447.

[46].Krishnan, R. Deciphering the desiccation trend of the South Asian monsoon hydroclimate in a warming world/ R. Krishnan,; T.P. Sabin,; R.Vellore, et al.// Clim. Dyn. – 2016. – V.47 – P.1007–1027.

[47]. Dong, B. Preferred response of the East Asian summer monsoon to local and non-local anthropogenic sulphur dioxide emissions/ B. Dong, R.T. Sutton, E.J. Highwood, et al. // Clim. Dyn. – 2016. – V .46. – P.1733–1751.

[48]. Bartlett, R.E. Do differences in future sulfate emission pathways matter for near-term climate? A case study for the Asian monsoon/ R.E. Bartlett, M.A. Bollasina, B.B.B. Booth, et al. // Clim. Dyn. – 2018. – V.50. - P.1863–1880.

[49]. Tang, T. Dynamical response of Mediterranean precipitation to greenhouse gases and aerosols. Atmos/ T.Tang,; D. Shindell,; B.H.Samset, et al.// Chem. Phys. – 2018. – V.18. – P.8439–8452.

[50]. Hodnebrog, Ø. Local biomass burning is a dominant cause of the observed precipitation reduction in southern Africa/ Ø. Hodnebrog, G. Myhre, P.M. Forster, et al.// *Nat. Commun.* -2016. – V.7. – P.11236.

[51]. Bozzo, A.; Remy, S.; Benedetti, A.; Flemming, J.; Bechtold, P.; Rodwell, M.J.; Morcrette, J.-J. Implementation of a CAMS-Based Aerosol Climatology in the IFS; ECMWF Tech. Memo. 801: Reading, UK, 2017; Available online: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2017/17219-implementation-cams-based-aerosolclimatology-ifs.pdf> (accessed on 1 October 2019).

[52]. Nieminen, T. Parameterization of ion-induced nucleation rates based on ambient observations/ T. Nieminen, P. Paasonen, H. E. Manninen, et al.// *Atmos. Chem. Phys.* – V. 11. - P. 3393–3402.

[53]. Bazilevskaya, G. A. Cosmic ray induced ion production in the Atmosphere/ G. A. Bazilevskaya, I. G. Usoskin, E. O. Flückiger, et al.// *Space Sci. Rev.* – 2008. – V.137. – P. 149–173.

[54]. Berresheim, H. Chemical ionization mass spectrometer for longterm measurements of atmospheric OH and H₂SO₄/ H. Berresheim, T. Elste, C. Plass-Dülmer, et al. // *Int. J. Mass. Spectrom.* – 2000. –V. 202. - P.91–109.

[55]. Enghoff, M. B. The role of atmospheric ions in aerosol nucleation – a review/ M. B. Enghoff, H. Svensmark // *Chem. Phys.* - 2008. – V.8. – P.4911–4923.

[56]. Harrison, R. G. Ion-aerosol-cloud processes in the lower atmosphere/ R. G. Harrison, K. S. Carslaw// *Rev. Geophys.* – 2003. –V.41. - №3. – P.1012.

[57]. Hirsikko, A. Annual and size dependent variation of growth rates and ion concentrations in boreal forest/Boreal Environ. Res. – 2005. – V.10. – P.357–369.

[58]. Кондратьев, К.Я. Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы.1 Физические свойства и химический состав/ К.Я. Кондратьев // *Оптика атмосферы и океана.* – 2002. – Т.15. -№2 . – С.123-146.

[59]. Виноградова, А.А. Антропогенное загрязнение природных сред в районе Костомукшского заповедника (Карелия) при дальнем переносе аэрозольных примесей в атмосфере/ А.А.Виноградова, Ю.А. Иванов // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т.24.- №6. – С.493-501.

[60]. Quinn, P. K. Sheridan Aerosol optical properties during INDOEX 1999: Means, variability, and controlling factors / P. K. Quinn, D. J. Coffman, T. S. Bates, T. L. Miller, J. E. Johnson, E. J. Welton, C. Neusüss, M. Miller, P. J. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2002. - V.107. – P.19-25

[61]. Patier, R. F. The ionic composition of the atmospheric aerosols in industrial areas of the north of Spain/R. F. Patier, M E. Lefler, J G. Sánchez, et al//. Rev Sanid Hig Publica. -1992. - V.66.- №1. – P.49-64.

[62]. Reddy, M. K. Major inorganic ion composition of atmospheric aerosols at the coastal site in Visakhapatnam City—India/M. K. Reddy, K. G. Rama Rao, P. Murahari Rao.// - Indian J Environ Health. – 2003. - V.45. - №4. – P.305-310.

[63]. Fomba, K. W. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007 to 2011/ K. W. Fomba, D. van Pinxteren, K. Müller, et al. // Atmos Environ. – 2018. - V.176. – P. 60-70.

[64]. Fomba, K. W. Aerosol size-resolved trace metal composition in remote northern tropical Atlantic marine environment: case study Cape Verde islands/ K. W. Fomba, K. Müller, D. van Pinxteren, et al.// Atmos. Chem. Phys. – 2013. – V.13. – P.4801–4814.

[65]. Fomba K. W. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007 to 2011/ K. W. Fomba, Müller, K., D.van Pinxteren, et al.// Atmos.Chem.Phys. – 2014. –V.14. – P.8883-8904.

[66]. Zhang, T. Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in Xi'an, China: Seasonal variations and sources / T.Zhang, J.J. Cao, X.X.Tie, et al.// Atmos. Res. – 2011. – V. 102. - №1–2. – P. 110–119.

[67]. Sun, Y. The airborne particulate pollution in Beijing – concentration, composition, distribution and sources / Y. Sun, G.Zhuang, Y.Wang, et al. // Atmos. Environ. 2004. - V. 38. - N 35. - P. 5991–6004.

[68]. Шарипов, С.Р. Концентрации элементарного и органического углерода в аэрозоле полуаридной зоны Таджикистана/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов и др. // Республиканской научно – теоретической конференции на тему «Основные средства развития и изучения естественных точных и математических наук: проблемы и пути их решения ». Тадж.Агр.Унив. им. Ш. Шотемур – 2021.- С.162 –164/

[69]. Смоляков, Б.С. Филимонова Ионный состав и кислотность атмосферных аэрозолей на юге Западной Сибири в 1996–2004 гг. / Б.С. Смоляков, М.П. Шинкоренко, Л.А. Павлюк и др. // Экологическая химия. – 2006. – Т.15. - №1. - С.111–121.

[70]. Назаров, Б.И. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии./ Б.И.Назаров, С.Ф.Абдуллаев, В.А Маслов // Душанбе: Дониш, 2017. 416 с

[71]. Hofer, J. Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies / J. Hofer, D. Althausen, S. F, Abdullaev, , et al. //Atmos. Chem. Phys. – 2017. – V. 17. – P.14559-14577.

[72]. Draxler, R.R. Horizontal dispersion parameters for long-range transport modeling / R. R. Draxler., A. D. Taylor // Journal of Applied Meteorology. -1982. - P.367-372.

[73]. Draxler, R.R. Description of the HYSPLIT-4 Modeling System / R.R. Draxler, G.D. Hess // Silver Spring: Air resources Laboratory, NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224.-1997. - P.1-22.

[74]. Draxler, R.R. The accuracy of trajectories during ANATEX calculated using dynamic model analyses versus rawinsonde observations / R.R. Draxler // Journal of Applied Meteorology. -1991. - P.1446-1467.

[75]. Hurley, P. PARTPUFF - A Lagrangian particle-puff approach for plume dispersion modeling applications / P. Hurley // Journal of Applied Meteorology. -1994. - P. 285- 294.

[76]. Moody, J.L. The use of atmospheric transport pattern recognition techniques in understanding variation in precipitation chemistry / J.L. Moody., J.A. Galusky, J.N. Galloway // Atmospheric Deposition. IAHS Publ. No. 179.- 1989. - P.119-125.

[77]. Электронный ресурс: <https://ready.arl.noaa.gov/index.php> _[Дата обращения 16.10.2019].

[78]. Stein, A. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system / A. Stein., R.R. Draxler., G.D. Rolph., B. J. Stunder., M. Cohen., F. Ngan // Bull. Am. Meteorol. - V.96. -2015. -P. 2059–2077.

[79]. Liebezeit, G.: Meereschemie und globaler Wandel. In: Warnsignal Klima - Die Meere – Änderungen & Risiken, edited by: Lozán, J. L., Graßl, H., Karbe, L, and Reise, K., Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 2011. - P.32,

[80]. Ковалев, С. П. WEB-система управления знаниями об окружающей среде/ С. П. Ковалев, Ю. И. Молородов, А. М. Федотов// Вычислительные технологии- 2005.- С.12-19.

[81]. Губарева, Т.В. Спектры поглощения щелочно-галоидных частиц морского аэрозоля/ Т.В. Губарева// Известия ТПУ- 2010.-№2- С.157-161.

[88]. Петренчук, О. П. Концентрация и дисперсный состав аэрозолей на морском побережье Крыма/ О. П. Петренчук, В. А. Ионин//ГГО-1974.- С.1-62.

[82]. Котова Е. И. Формирование химического состава осадков на севере европейской территории России/ Е. И. Котова // Вес. Сев. (аркт.) федер. унив. сер: естественные науки-2012. - №4. - С.116-122.

[83]. Тентюков, М.П. Особенности формирования загрязнения снежного покрова:морозное конденсирование техногенных эмиссий (на примере районов нефтедобычи в большеземельской тундре)/ М.П. Тентюков// Криосфера земли.-2007.- №4. - С.31-41.

[84]. Gnauk, T. Size-segregated particulate chemical composition in Xinken,

Pearl River Delta, China: OC/EC and organic compounds, / Gnauk, T., Muller, K., van Pinxteren, D., He, L. Y., Niu, Y. W., Hu, M., and Herrmann, H.// Atmos. Environ., 42, 6296– 6309, doi:10.1016/j.atmosenv.2008.05.001, 2008.

[85]. Ивлев Л.С. Аэрозоли и глобальные изменения климата/ Л.С. Ивлев// Региональная экология - 2011. - С.83-93.

[86]. Sun Y. The air-borne particulate pollution in Beijing – concentration, composition, distribution and sources/ Y. Sun, G. Zhuang, Y. Wang, L. Han// Atmos. Environ. – 2004. – V.38. - № 35. – P. 5991–6004.

[87]. Zhou, C.W. Summary of basic characteristics of atmospheric aerosol carbonaceous/ C.W. Zhou,; H. Huang,; J.J. Cao // Environ. Pollut. Control. – 2006. - V.28. – P.270–274.

[88]. Gray, H.A. Source contribution to atmospheric fine carbon particle concentrations/ H.A. Gray, G.R. Cas. // Atmos. Environ. – 1998. – V.32. – P.3805–3825.

[89]. Duan, F.K. Progress of carbonaceous aerosols: Black carbon and organic carbon/ F.K. Duan,; K.B. He,; X.D. Liu, et al. // J. Environ. Eng. – 2007. - V.1. – P.1–8.

[90]. Cai, S. Golden Year of Environmental Protection Industry/ S. Cai.// China New Era. – 2014. - V.2. – P.26.

[91]. Lin, X.N. Study on Carcinogenic Heavy Metals and Carbon Components in PM_{2.5} in Guiyang City/ X.N. Lin// Guizhou Normal University: Guizhou, China, - 2017.

[91]. Menon, S. Climate effects of black carbon aerosols in China and India/ S. Menon,; J. Hansen,; L. Nazarenko, et al. // Science. – 2002. – V.297. – P.2250–2253.

[92]. Viana, M. Comparative analysis of organic and elemental carbon concentrations in carbonaceous aerosols in three European cities/ M. Viana, W. Maenhaut, H.M. Ten Brink, et al. // Atmos. Environ. -2007. - V.41. – P. 5972–5983.

[93]. Srinivas, B. PM_{2.5} EC and OC in atmospheric outflow from the Indo-Gangetic Plain: Temporal variability and aerosol organic carbon-to-organic mass conversion factor/ B. Srinivas, M.M. Sarin. // *Sci. Total Environ.* – 2014. - V.487. - P.196–205.

[94]. Ham, J. Potential source of PM₁₀, PM_{2.5}, and OC and EC in Seoul during spring 2016 / J. Ham, H.J. Lee, J.W. Cha, et al. // *Atmosphere.* – 2017. - V.27. - P.41–54.

[95]. Gao, J.J. Temporal-spatial characteristics and source apportionment of PM_{2.5} as well as its associated chemical species in the Beijing-Tianjin-Hebei region of China/ J.J. Gao, K. Wang, Y. Wang, et al. // *Environ. Pollut.* – 2018. – V.233. – P.714–724.

[96]. Cao, J.J. Seasonal variations and sources of mass and chemical composition for PM 10 aerosol in Hangzhou, China / J.J.Cao, Z. Shen, J.C. Chow, et al.// *Particuology.* – 2009. – V. 7. – P.161–168.

[97]. Turpin, B.J. Species contributions to PM_{2.5} mass concentrations: Revisiting common assumptions for estimating organic mass./ B.J.Turpin, H.J. Lim // *Aerosol Sci. Technol.* – 2001. - V. 35. - P. 602–610.

[98]. Абдуллаев, С.Ф. Исследование карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана (часть 1)/ С.Ф.Абдуллаев, С.Р. Шарипов, К.В. Фомба и др.// *Вестник ТТУ.* – 2018. Т. 44. - №4. - С.36-40.

[99]. Попова, С.А. Определение концентраций вторичного органического углерода в аэрозолях континентальной территории./ С.А. Попова, В.И. Макаров. // *ИХКГ СО РАН, Новосибирск.* – 2009. – С.1-5.

[100]. Кондратьев, К.Я. Лесные пожары как компонент природной экодинамики. / К.Я. Кондратьев // *Оптика атмосферы и океана.* – 2004. - Т.17. - № 4. - С. 279–292.

[101]. Arneth, A., Clean the Air, Heat the Planet / A. Arneth, N. Unger // *Science* – 2009. - V. 326. - № 5953. - P. 672–673.

[102]. Bond, T.C. A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion./ T.C.Bond, G.Streets, K.F. Yarber et al. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2004. - V.109. - D14203, doi: 10.1029/2003JD003697.

[103]. Cao, J.J. Characteristics and sources of carbonaceous aerosols from Shanghai ./ J.J.Cao, C.S. Zhu, X.X. Tie, et al.// Atmos. Chem. Phys. – 2013. - V. 13. - № 2. - P. 803–817.

[104]. Cheng, Y. Ambient organic carbon to elemental carbon ratios: Influence of the thermal-optical temperature protocol and implications./ Y.Cheng, HeK., F.Duan et al.// Sci. Total. Environ, 2014. - V. 468. - P. 1103–1111.

[105]. Carpenter, L. J., Seasonal characteristics of tropical marine boundary layer air measured at the Cape Verde Atmospheric Observatory / Carpenter, L. J., Fleming, Z. L., Read, K. A., et all // J. Atmos. Chem., V.67. – P.87–140, doi:10.1007/s10874-011-9206-1, 2010.

[106]. Pasquale, A. Carbonaceous components in atmospheric aerosol: measurement procedures and characterization/ A. Pasquale , B. Domenico , C. Angelo , et al. // Ann Chim. –2002. - V.92. - №4. – P.333-341.

[107]. Pasquale, A. Description of the carbonaceous particulate matter evolution in an urban area/ A. Pasquale , B. Domenico // Ann Chim. – 2003. - V.93. - №1-2. – P.21-26.

[108]. Pasquale, A. Carbonaceous aerosol in the breathable particulate matter (PM₁₀) in urban area / A. Pasquale , B. Domenico // Ann Chim. – 2004. - V.94. - №9-10. – P.647-653.

[109]. Ren-Jian, Z. Carbonaceous aerosols in PM₁₀ and pollution gases in winter in Beijing/ Z. Ren-Jian , C. Jun-Ji , L. Shun-Cheng // J Environ Sci (China). – 2007. - V.19. - №5. - P.564-71.

[110]. Jian-Jun, L. Day-night variation of carbonaceous aerosols in PM₁₀ during winter and spring over Xi'an/ L. Jian-Jun , S.Zhen-Xing , T. Zhi , et al. // Huan Jing Ke Xue. 2009. –V.30. - №5. - P.1506-13.

[111]. Gui-xiang, Z. Composition and variation characteristics of atmospheric carbonaceous species in PM_{2.5} in Taiyuan, China/ Z. Gui-xiang , Y. Yu-long , G. Li-li, et al. // Huan Jing Ke Xue. - 2015. –V.36. - №3. - P.780-786.

[112]. Changlin, Z. Characterization of carbonaceous fractions in PM_{2.5} and PM₁₀ over a typical industrial city in central China/ Z. Changlin , Z. Jiaquan , Z. Jingru, et al. // Environ Sci Pollut Res Int . –2019. - V.26. - №17. - P.16855-16867.

[113]. Zhang, Ren-Jian Carbonaceous aerosols in PM₁₀ and pollution gases in winter in Beijing /Ren-Jian Zhang, Jun-Ji Cao, Shun-Cheng Lee, Zhen-Xing Shen, Kin-Fai Ho//J Environ Sci (China). - 2007. - V.19.-No.5. – P.564-571.

[114]. Xuehua, Z. Concentrations, correlations and chemical species of PM_{2.5}/PM₁₀ based on published data in China: Potential implications for the revised particulate standard/ Z. Xuehua , C. Zhaoyu , M. Yujie , et al. // Chemosphere. – 2016. – V.144. - P.518-26.

[115]. Mengxi, Q. Analysis of the Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosols in PM_{2.5} in the Beijing, Tianjin, and Langfang Region, China/ Q. Mengxi , J. Lei , L. Yixuan, et al. // Int J Environ Res Public Health – 2018. - V.15. - №7. - P. 1483.

[116]. Zhaosu, M. Empirical Analysis of Carbon Emission Accounting and Influencing Factors of Energy Consumption in China/ M. Zhaosu, W. Huan, W. Baona et al. // Int J Environ Res Public Health –2018. - V.15. - №11. - P. 2467.

[117]. Yi-hua Z. Characteristics and sources of organic carbon and elemental carbon in PM_{2.5} in Shanghai urban area/ Z. Yi-hua , W. Dong-fang , Z. Qian-biao , et al. // Huan Jing Ke Xue. – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=%22Huan+Jing+Ke+Xue%22%5Bjour%5D2014>. - V.35. - №9. - P.3263-3270.

[118]. Абдуллаев, С.Ф. Мониторинг ионного состава атмосферного аэрозоля частиц до 10 мкм (PM₁₀) полуаридной зоны Таджикистана. - ФТИ им. С.У. Умарова АН РТ, г. Душанбе / С.Ф. Абдуллаев, С.Р. Шарипов, К.В. Фомба и др. // 2018, 14 с. Деп. в ГУ НПИЦентр 2018 г. 05.11.18. №990/013.

[119]. Абдуллаев, С.Ф., Ионный состав атмосферного аэрозоля в период CADEX (2014 - 2016) в Таджикистане / Абдуллаев С.Ф., Шарипов С.Р., Фомба К.В. и др. Вестник ТНУ, - 2018, - №4, - т.264, - с. 115-122.

[120]. Толмачев, Г.Н. Горизонтальное распределение ионно-элементного состава атмосферного аэрозоля над территорией СССР. - Сбор. матер. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли», 1983. - с.142-151.

[121]. Rupakheti, D., Columnar aerosol properties and radiative effects over Dushanbe, Tajikistan in Central Asia. / Rupakheti, D., Kang S., Rupakheti M., Abdullaev S., Yin X. // Environmental Pollution 265(2020) 114872 doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114872.

[122]. Herrera J. Chemical Composition and Sources of PM₁₀ Particulate Matter Collected in San José, Costa Rica. / Herrera J., Rodriguez S., Baez A. P. // - Atmos. Sci. J.- 2009.- V.3. – P.124-130.

[123]. Salve, P.R., A study on major inorganic ion composition of atmospheric aerosols. / Salve P.R., Krupadam R.J., Wate S.R. //- J. of Environ. Biology. - 2007. - V.28. - №2. - P.241-244.

[124]. Ying, I. T. Atmospheric aerosol composition and source apportionments to aerosol in southern Taiwan. / Ying I. T., Chien-Lung C - Atmos. Env. – 2006. – V.40. P.4751-4763.

[125]. Chong-Shu Indoor and Outdoor Chemical Components of PM_{2.5} in the Rural Areas of Northwestern China. / Chong-Shu Z., Jun-Ji C., Zhen-Xing S. et al.// - Aerosol and Air Qual. Res. – 2012. - V.12. -P.1157-1165.

[126]. Yali, L. Aerosols chemical composition, light extinction, and source apportionment near a desert margin city, Yulin, China. / Yali L., Zhenxing S., Zhuoyue T., et. al. // Peer. J, 2020. - P.1-18.

[127]. Yan-Ju, Liu., Seasonal Variation of physical and Chemical Properties in TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} at a Roadside Site in Beijing and Their Influence on Atmospheric Visibility Yan-Ju Liu., Ting-Ting Zhang., Qing-Yang Liu., et. al.// - Aerosol and Air Quality Res. – 2014. -V.14.-P.954-969.

[128]. Turki, M.A. Habeebullah. Source apportionment of PM_{2.5} emissions in Makkah, Saudi Arabia: using a positive matrix factorization model/ Turki, M.A. Habeebullah// - Ass. Univ. Bull. Environ. Res. – 2017. –V. 20. - P.21-34.

[129]. Chianese, E. PM_{2.5} and PM₁₀ in the urban area of Naples: chemical composition, chemical properties and influence of air masses origin / Chianese E., Tirimberio G., Riccio A.//- J. of Atmos. Chem. – 2019. -V.76. –P.151-169.

[130]. Шарипов С.Р. Вариация состава углеродсодержащей фракции атмосферного аэрозоля в полуаридной зоне Таджикистан(часть 2)/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов// Материалы VII Международной конференции «Современные проблемы физики». Душанбе: изд-во «Дониш». – 2020. - С.340 – 342.

[131]. Аргучинцев, В.К. Распределение примесей в атмосфере г. Улан-Батора. / Аргучинцев В.К., Ариунсанаа Б.Э., Аргучинцева А.В. //- Известия Иркутского Гос. Унив. - 2013. – Т.6. - №2. – С. 35-46.

[132]. Cao, J.J. Seasonal variations and sources of mass and chemical composition for PM 10 aerosol in Hangzhou, China. / Cao J.J., Shen Z., Chow J.C., Qi G., Watson J.G. //Particuology. – 2009.- V.7. –P.161–168.

[133]. Turpin, B.J. Species contributions to PM_{2.5} mass concentrations: Revisiting common assumptions for estimating organic mass. / Turpin B.J., Lim H.J. //- Aerosol Sci. Technol. – 2001. V. 35. - P. 602–610.

[134]. Абдуллаев, С.Ф. Исследование карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана (часть 1) / С.Ф. Абдуллаев, С.Р. Шарипов, К.В. Фомба, В.А. Маслов и др. // - Вестник ТТУ. - 2018.- Т. 44. - №4. - С.36-40.

[135]. Попова, С.А. Определение концентраций вторичного органического углерода в аэрозолях континентальной территории / С.А. Попова, В.И. Макаров // ИХКГ СО РАН, Новосибирск, 2009. - с.1-5.

[136]. Fomba, K.W. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007

to 2011 / K.W. Fomba, K. Müller, D. van Pinxteren et al. // Atmos. Chem. Phys.– 2014. – 14.- P.8883-8904.

[137]. Holben, B.N. AERONET–A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization, Rem.35 Sens./ B.N. Holben, I. Slutsker et al. // Environ. – 1998. - V.66. - P.1–16.

[138]. Кондратьев, К.Я. Лесные пожары как компонент природной экодинамики.\ К.Я. Кондратьев //Оптика атмосферы и океана. – 2004.- Т.17.- № 4. - С.279–292.

[139]. Arneth, A. Clean the Air, Heat the Planet / A. Arneth, N. Unger // Science. – 2009. - V.326. – No. 5953. - P. 672–673.

[140]. Bond, T.C. A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion / T.C. Bond, G. Streets, K.F. Yarber et al. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2004. - V.109. - D14203.- doi: 10.1029/2003JD003697.

[141]. Cao, J.J., Characteristics and sources of carbonaceous aerosols from Shanghai / J.J. Cao, , C.S. Zhu, X.X. Tie et al. // Atmos. Chem. Phys. – 2013.- V. 13. –No. 2. - P. 803–817.

[142]. Cheng, Y. Ambient organic carbon to elemental carbon ratios: Influence of the thermal-optical temperature protocol and implications / Y. Cheng, K. He, F. Duan et al. // Sci. Total. Environ. – 2014. - V. 468–469. - P. 1103–1111.

[143]. Шарипов, С.Р. Вариация состава углеродсодержащей фракции атмосферного аэрозоля в полуаридной зоне Таджикистана/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов // Доклады НАНТ - 2020. - Том 63. - №3-4 - С.199 - 205.

[144]. Абдуллаев, С.Ф. Сезонные вариации ионного состава атмосферного аэрозоля в полуаридной зоне Таджикистана / Абдуллаев С.Ф., Шарипов С.Р., Фомба К.В // Ученые записки. Серия естественных и экономические науки. Худжанд. – 2019 - №1(48) - С.19-28.

[145]. Абдуллаев, С.Ф. Ионный состав атмосферного аэрозоля в период CADEX (2014-2016) в Таджикистане /Абдуллаев С.Ф., Шарипов С.Р., Фомба К.В//Вестник ТНУ.- 2018. – №4 (264). - С.115-122.

[146]. Абдуллаев, С.Ф. Исследование карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана (часть 2)/ Абдуллаев С.Ф., Шарипов С.Р., Фомба К.В // Вестник ТТУ. – 2018 - №4(44) - С.40-44.

[147]. Cao, J.J. Characterization and source apportionment of atmospheric organic and elemental carbon during fall and winter of 2003 in Xi'an, China/ Cao, F. J.J., J.C. Wu Chow, et al // Atmos. Chem. Phys. - 2005. – V.5. - P.3127–3137.

[148]. Chow, J.C. PM_{2.5} carbonate concentrations at regionally representative Interagency Monitoring of Protected Visual Environment sites/ J.C. Chow, J.G. Watson // J. Geophys. Res. - 2002. - P.27–37.

[149]. Chow, J.C. Aerosol light absorption, black carbon, and elemental carbon at the Fresno Supersite, California/ J.C. Chow, J.G. Watson, P. Doraiswamy, et al // Atmos. Res. – 2009. - V.93. - P. 874–887.

[150]. Jaffrezo, J.L. Size distribution of EC and OC in the aerosol of Alpine valleys during summer and winter / J.L. Jaffrezo, G.Aymoz, J. Cozic // Atmos Chem. Phys. - 2005. - V.5. - P. 2915–2925.

[151]. Ramanathan, V. Global and regional climate changes due to black carbon/ V. Ramanathan, G. Carmichael // Nat. Geosci. – 2008. - V.1. - P.221–227.

[152]. Seinfeld, J.H. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change; JohnWiley & Sons / J.H. Seinfeld; S.N. Pandas, //Hoboken, NJ, USA. - 2012.

[153]. Turpin, B.J. Identification of secondary organic aerosol episodes and quantization of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS/ B.J.Turpin, J.J. Huntzicker //Atmos. Environ. – 1995. - V.29. - P.3527–3544.

[154]. Cao, J.J. Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 winter period / J.J. Cao, S.C. Lee, K.F. Ho, et al // Atmos. Environ. – 2003. - V.37. - P.1451–1460.

[155]. Park, S.S. Tracking sources and behaviors of water-soluble organic carbon in fine particulate matter measured at an urban site in Korea/ S.S. Park, S.Y. Cho, // Atmos. Environ. – 2011. - V.45. - P.60–72.

[156]. Holben, B. N. AERONET—A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization, Rem.35 Sens/ B. N. Holben, T. F. Eck, I. Slutsker // Environ. – 1998. – V.66. – P.1–16.

[157]. Fomba, K. W. Long-term chemical characterization of tropical and marine aerosols at the Cape Verde Atmospheric Observatory (CVAO) from 2007 to 2011/ K. W. Fomba, K.Müller, L. D.van Pinxteren, et al //Atmos. Chem. - 2014. - V.14. – P.8883-8904.

[158]. Абдуллаев, С.Ф. Мониторинг ионного состава атмосферного аэрозоля частиц до 10мкм (PM10) полуаридной зоны Таджикистана / С.Ф. Абдуллаев, С.Р. Шарипов, К.В Фомба и др.; ФТИ им.С.У.Умарова АН РТ.- г.Душанбе, 2018. – 14 с. – Библиограф.: 30 назв. – Рус. – деп. в ГУ НПИЦентр 2018г.05.11.18. №990/013д1и.

[159]. Castro, L.M. Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: Estimation of secondary organic carbon concentrations/ L.M. Castro, C.A. Pio, R.M. Harrison, et al // Atmos. Environ. – 1999. - V.33. - P. 2771–2781.

[160]. Ho, K.F. Variability of Organic and Elemental Carbon, Water Soluble Organic Carbon, and Isotopes in Hong Kong/ K.F. Ho, S.C. Lee, et al // Atmos. Chem. Phys. – 2006. - V.6. - P.4569–4576.

[161]. Chen, Y. Measurement of Emission Factors for Primary Carbonaceous Particles from Residential Raw-Coal Combustion in China/ Y. Chen, G. Zhi, Y. Feng //Geophys. Res. Lett. - 2006. - P.69–76.

[162]. Chow, J.C. Chemical composition of PM2.5 and PM10 in Mexico City during winter 1997/ J.C. Chow, J.G. Watson, S.A. Edgerton, // Sci. Total Environ. – 2002. – V.287. - P.177–201.

[163]. Duan, F. Characteristics of carbonaceous aerosols in Beijing, China/ F. Duan, K. He, Y. Ma, et al // *Chemosphere*. - 2005. – V.60. – P. 355–364.

[164]. Pandis, S.N. Secondary organic aerosol formation and transport-II. Predicting the ambient secondary organic aerosol size distribution/ S.N. Pandis, A.S. Wexler, J.H. Seinfeld // *Atmos. Environ.* – 1993. – V.27. - P.2403–2416.

[165]. Turpin, B.J. Secondary formation of organic aerosol in the Los Angeles Basin: a descriptive analysis of organic and elemental carbon concentrations / B.J. Turpin, J.J. Huntzicker // *Atmos. Environ.* – 1991. - V.25. - P.207–215.

[166]. Wang, G. Source apportionment and seasonal variation of PM_{2.5} carbonaceous aerosol in the Beijing-Tianjin-Hebei Region of China/ G. Wang, S. Cheng, J. Li, et.al.// *Environ. Monit. Assess.* – 2015. - V.187. - P.1–13.

[167]. Cong, Z. Carbonaceous aerosols on the south edge of the Tibetan Plateau: Concentrations, seasonality and sources / Z. Cong, S. Kang, K. Kawamura, et.al // *Atmos. Chem. Phys.* – 2015. - V.15. – P.1573–1584.

[168]. Li, B. Seasonal variation of urban carbonaceous aerosols in a typical city Nanjing in Yangtze River Delta, China / B.Li, J. Zhang, Y. Zhao, et al.// *Atmos. Environ.* – 2015. - V.106. - P.223–231.

[169]. Philip, S. Spatially and seasonally resolved estimate of the ratio of organic matter to organic carbon / S. Philip, R.V. Martin, J.R. Pierce, et al.// *Atmos. Environ.* – 2014. – V.87. – P.34–40.

[170]. Zhang, F. Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM_{2.5} in Xiamen, China/ F. Zhang, J. Zhao, J. Chen, et al. // *J. Environ. Sci.* – 2011. - V.23. - P.1342–1349.

[171]. Lan, Z.J. Modal characteristics of carbonaceous aerosol size distribution in an urban atmosphere of South China/ Z.J. Lan, D.L. Chen, X. Li, et al. // *Atmos. Res.* – 2011. – V.100. – P.51–60.

[172]. Li, P.H. Characterization, meteorological influences and source identification of carbonaceous aerosols during the autumn-winter period in Tianjin,

China/ P.H. Li, B. Han, J. Huo, et al // *Aerosol Air Qual. Res.* – 2012. – V.12. – P.283–294.

[173]. Wan, X. Size distribution of carbonaceous aerosols at a high-altitude site on the central Tibetan Plateau (Nam Co Station, 4730ma.s.l.) / X.Wan, S.Kang, Y. Wang, et al. // *Atmos. Res.* – 2015. - V.153. - P.155–164.

[174]. Andreae, M.O. Optical properties and chemical composition of the atmospheric aerosol in urban Guangzhou, China/ M.O. Andreae, O. Schmid, H. Yang, et.al. // *Atmos. Environ.* – 2008. – V.42. – P.6335–6350.

[175]. Chow, J.C. Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles / J.C. Chow // *J. Air Waste Manag.* – 1995. - V.45. - P.320–382.

[176]. Ni, H. Emission characteristics of carbonaceous particles and trace gases from open burning of crop residues in China/ H. Ni, Y. Han, J.Cao, et al. // *Atmos. Environ.* – 2015. – V.123. - P.399–406.

[177]. Andreae, M.O. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning/ M.O. Andreae, P. Merlet // *Global Biogeochem. Cycles.* – 2001. - V.15. – P.955–966.

[178]. Castro, L.M. Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: Estimation of secondary organic carbon concentrations/ L.M. Castro, C.A. Pio, R.M. Harrison // *Atmos. Environ.* – 1999. - V.33. - P.2771–2781.

[179]. Ho, K.F. Variability of Organic and Elemental Carbon, Water Soluble Organic Carbon, and Isotopes in Hong Kong/ K.F. Ho, S.C. Lee; Cao, et al // *Atmos. Chem. Phys.* – 2006. – V.6. – P.4569–4576.

[180]. Cheng, Y. The characteristics of brown carbon aerosol during winter in Beijing/ Y. Cheng, K. He, & Du, et al. // *Atmospheric Environment.* – 2015. – V.127. - P.355-364.

[181]. Покровский, В.А. Гигиена. / В.А. Покровский // - М.: Медицина. - 1979. - 497с.

[182]. Безуглая, Э.Ю. Мониторинг состояния и загрязнения атмосферы в городах / Э.Ю. Безуглая. // Л.Гидрометеиздат – 1986. –200с.

[183]. Электронный ресурс: <https://gnoom63.livejournal.com/11731.html> - [Дата обращения-11 ноября 2022г].

[184]. Golobokova, L. P. Long-term investigations of atmospheric aerosol and gaseous impurities in Southern Pribaikalye, East Siberia (Russia)/ L. P. Golobokova, T. V. Khodzher, V. A. Obolkin et. al. // IJESNR. – 2018. – V.10. – No.3. - P.74-84.

[185]. Lorena, Moreno M.C. Ambientales. Variabilidad de la composición química mayoritaria de la fracción PM10 en Elche/ M.C. Lorena Moreno // Miguel Hrándz Univ – 2016. - P.1-40.

[186]. Titos, G. Identification of fine (PM1) and coarse (PM10-1) sources of particulate matter in an urban environment/ Titos G., Lyamani H., Pandolfi, M., et. al. //Atmospheric Environment. – 2014. – V.14. - P.1-54.

[187]. Шарипов, С.Р. Катионный состав атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана. - Рес. научно-пр. конфер. «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики»/ С.Р Шарипов., С.Ф Абдуллаев., В.А Маслов // ТНУ. – 2020. – С.300-303.

[188]. Электронный ресурс: [ru.wikipedia.org/wiki/ Сельское хозяйство Таджикистана](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сельское_хозяйство_Таджикистана) – [Дата обращения-11 ноября 2022г.].

[189]. Электронный ресурс: www.mfa.tj/tg/main/tojikiston/malumoti-umumi.- [Дата обращения-11 ноября 2022г].

[190]. Wang, Ju. Research on Organic Carbon and Elemental Carbon Distribution Characteristics and Their Influence on Fine Particulate Matter (PM2.5) in Changchun City / Ju Wang, Yu Anan., Le Yang et al. // – Environments. – 2019. - V.6. - P.2- 9.

[191]. Pachauri, T. Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosols in PM2.5 during Wintertime in Agra, India/ T. Pachauri, A. Satsangi, V. Singla et al.// Aerosol and Air Quality Research. – 2013. - V.13. - P.977–991.

[192]. Бизин, М.А. Влияние лесных пожаров на массовую концентрацию, дисперсный и химический состав атмосферного аэрозоля в

региональном масштабе/ М.А. Бизин, С.А. Попова, О.В. Чанкина, и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2013. - № 6. - С. 484 – 489.

[193]. Szramowiat, K. Carbonaceous species in atmospheric aerosols from the Krakow area (Malopolska District): carbonaceous species dry deposition analysis. / K. Szramowiat // E3S Web of Conferences. – 2016. – V.10. – P.1-8.

[194]. Шарипов, С.Р. Вариация состава углеродсодержащей фракции атмосферного аэрозоля в полуаридной зоне Таджикистан/ С.Р. Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов и др. // ДАН РТ. – 2020. - Т.63. - № 3-4. - С. 199 – 205.

[195]. Электронный ресурс: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php> - [Дата обращения-14 декабря 2022г.].

[196]. Seibert, P. Trajectory analysis of aerosol measurements at high alpine sites // In Transport and Transformation of Pollutants in the Troposphere / P. Seibert, H. Kromp-Kolb, U. Baltensperger et al. // Academic Publishing. Den Haag. – 1994. – P. 689-693.

[197]. Tosittia, L., Short-term climatology of PM10 at a high altitude background station in southern Europe / L. Tosittia, A. Ricciob, S. Sandrinia et al.// - Atmospheric Environment. – 2012. - V.10. – P.142-152

[198]. Dusek, U., Sources and formation mechanisms of carbonaceous aerosol at a regional background site in the Netherlands: insights from a year-long radiocarbon study/ U. Dusek, R. Hitzemberger, A. Kasper-Giebl et. al.// Atmos. Chem. Phys. – 2017. - V.17. - P.3233–3251.

[199]. Электронный ресурс: <https://cabar.asia/ru/kak-mozhno-uluchshit-kachestvo-vozduha-v-stolitse-tadzhikistana>. - [Дата обращения- 14 декабря 2022г.].

[200]. Транспорт и связь в Республике Таджикистан. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. Душанбе, -2019. - 50с.

[201]. Электронный ресурс: <http://faostat.fao.org>. - [Дата обращения-14 декабря 2022г.].

[202]. Электронный ресурс: <http://handle.net/10419/149626> –[Дата обращения-14 декабря 2022г.],

[203]. Электронный ресурс: <https://tj.sputniknews.ru/20170804/talko-tadjikistan-alyuminiy-1022993820.html> - [Дата обращения-14 декабря 2022г.].

[204]. Электронный ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki-> [Дата обращения-16 декабря 2022г.].

[205]. Электронный ресурс: <https://tj.sputniknews.ru/20170804/talko-tadjikistan-alyuminiy-1022993820.html> - [Дата обращения-16 декабря 2022г.].

[206]. Электронный ресурс: <https://www.tajik-gateway.org/wp/industry/himicheskaya-promyshlennost/zao-sp-tadzhik-azot-vahshskij-azotno-tu/> - [Дата обращения - 16 декабря 2022г.].

Список публикаций соискателя ученой степени

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[1-А]. Абдуллаев, С.Ф. Ионный состав атмосферного аэрозоля в период CADEX (2014-2016) в Таджикистане / С.Ф. Абдуллаев, **С.Р. Шарипов**, К.В. Фомба // Вестник ТНУ. - 2018. – №4(264). - С.115-122.

[2-А]. Абдуллаев, С.Ф. Исследование карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана (часть 1)/ С.Ф. Абдуллаев, **С.Р. Шарипов**, К.В. Фомба // Вестник ТТУ. – 2018. - №4(44) - С.36-40.

[3-А]. Абдуллаев, С.Ф. Исследование карбоновых компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана (часть 2)/ С.Ф. Абдуллаев, **С.Р. Шарипов**, К.В. Фомба // Вестник ТТУ. – 2018. - №4(44) - С.40-44.

[4-А]. Абдуллаев, С.Ф. Сезонные вариации ионного состава атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана/ С.Ф.Абдуллаев, **С.Р. Шарипов**, К.В. Фомба // Ученые записки. Серия естественных и экономические науки. Худжанд.-2019. - №1(48) - С.19-28.

[5-А]. **Шарипов, С.Р.** Вариация состава углеродсодержащей фракцииатмосферного аэрозоля в полуаридной зоне Таджикистан/

С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов//Доклады НАНТ-2020. - Том 63. - №3-4. - С.199 -205.

[6-А]. Шарипов, С.Р. Исследование неорганического ионного состава атмосферных аэрозолей/ С.Р.Шарипов// «Кишоварз» - 2021. - Том 93. - №4. - С.14 - 20.

[7-А]. Шарипов, С.Р. Анализ катионного состава атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана/ С.Р.Шарипов// Известия НАНТ – 2022. - Том 187. - №2. - С. 55 – 61.

[8-А]. Шарипов, С.Р. Органический И элементарный углерод в городской среде города Душанбе / С.Р.Шарипов// «Кишоварз» - 2022. - Том 96. - №3. - С.122-127.

Депонированные научные работы

[9-А]. Абдуллаев, С.Ф. Мониторинг ионного состава атмосферного аэрозоля частиц до 10мкм (PM10) полуаридной зоны Таджикистана/ С.Ф. Абдуллаев, **С.Р. Шарипов**, К. В. Фомба/ ФТИ им. С.У. Умарова АН РТ.- г.Душанбе, 2018. – 14 с. – Библиограф.: 30 назв. – Рус. – деп. в ГУ НПИЦентр 2018г.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[10-А]. Шарипов, С.Р. Состав атмосферного аэрозоля/ С.Р. Шарипов, С.Ф.Абдуллаев, К.В. Фомба // IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химий». ТНУ - 2019. – С. 322-326.

[11-А]. Шарипов, С.Р. Ионный состав атмосферного аэрозоля. / С.Р. Шарипов, С.Ф.Абдуллаев, К.В. Фомба // IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии». ТНУ - 2019. – С. 326-329.

[12-А]. Шарипов, С.Р. Мониторинг катионного состава атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов //международной научной конференции «Гидроклиматические

факторы использования водных ресурсов Центральной Азии» ХГУ - 2019. – С. 439-445.

[13-А]. Шарипов, С.Р. Сравнительный анализ изменения анионных компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана (часть 1)/ С.Р. Шарипов, С.Ф.Абдуллаев, К.В. Фомба // Международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования. Часть2» ТТУ - 2019. – С. 310-313.

[14-А]. Шарипов, С.Р. Сравнительный анализ изменения анионных компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана (часть 2)/ С.Р. Шарипов, С.Ф.Абдуллаев, К.В. Фомба // Международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования. Часть2». ТТУ - 2019. – С.313-315.

[15-А]. Шарипов, С.Р. Вариации анионных компонентов атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов // Филиал МГУ имени М.В.Ломоносова в г. Душанбе. МАТЕРИАЛЫ X-ой научно-практической конференции «Ломоносовские чтения», посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне (1941-1945 гг.). Ч.I. Естественные науки. (25-26 сентября 2020г.) - С. 177-180.

[16-А]. Шарипов, С.Р. Анализ анионного состава атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана/ С.Р. Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов // Российско-таджикский (славянский) Университет естественнаучный факультет «актуальные вопросы естественных наук и технологий» Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (Душанбе, 28 октября 2020 года) - С.320 -322.

[17-А]. Шарипов, С.Р. Сезонные изменения массовой концентрации атмосферного аэрозоля и динамика аэрозоля/ С.Р. Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов // Российско-таджикский (славянский) Университет

естественнонаучный факультет «актуальные вопросы естественных наук и технологий» Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (Душанбе, 28 октября 2020 года) - С.322 -324.

[18-А]. Шарипов, С.Р. Катионный состав атмосферного аэрозоля полуаридной зоны Таджикистана / С.Р. Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов //Республиканская научно-практическая конференция посвященной «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» на тему «Современные проблемы физики конденсированного состояния и ядерной физики» (г. Душанбе, 19 февраля 2020) - С.300 -303.

[19-А]. Шарипов, С.Р. Вариация состава углеродсодержащей фракции атмосферного аэрозоля в полуаридной зоне Таджикистан (часть 1)/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов// Материалы VII Международной конференции «Современные проблемы физики». Душанбе: изд-во «Дониш», - 2020. - С.250 – 253.

[20-А]. Шарипов, С.Р. Вариация состава углеродсодержащей фракции атмосферного аэрозоля в полуаридной зоне Таджикистан (часть 2)/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов// Материалы VII Международной конференции «Современные проблемы физики». Душанбе: изд-во «Дониш». – 2020. - С.340 – 342.

[21-А]. Шарипов, С.Р. Концентрации элементарного и органического углерода в аэрозоле полуаридной зоны Таджикистана/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов, Р.Р. Вахобов// Республиканской научно – теоретической конференции на тему «Основные средства развития и изучения естественных точных и математических наук: проблемы и пути их решения». ТАУ им. Ш. Шотемур - 2021, -С.162 – 163.

[22-А]. Шарипов, С.Р. Аэрозольные ионы и происхождение аэрозолей /С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов, Р.Р. Вахобов // Материалы

международной научно-практической конференции «Электроэнергетика Таджикистана. Проблемы энергосбережения, энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии. ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ» филиал в г. Душанбе» - 2021. - С.170 – 174.

[23-А]. Шарипов, С.Р. Зависимость концентраций NO_3^- и NH_4^+ , измеренных в аэрозолях в полуаридной зоне Таджикистан/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов// Материалы респуб. конф. БГУ. Имени Носири Хусрава. – 2021. – С. 31 – 33.

[24-А]. Шарипов, С.Р. Катионный состав атмосферного аэрозоля г.Душанбе// С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов // Материалы Симпозиума ФТИ. им. С.У. Умарова. – 2021. – С. 136 – 140.

[25-А]. Шарипов, С.Р. Сравнительный анализ неорганических аэрозольных ионов в полуаридной зоне Таджикистана/ С.Р.Шарипов, С.Ф. Абдуллаев, В.А Маслов, А.М. Джураев // Материалы меж. конф. ТТУ. им. академика М.С. Осими. – 2021. – С.200-203.

[26-А]. Шарипов, С.Р. Сравнительный анализ концентрации углеродных компонентов в атмосферном аэрозоле г. Душанбе/ С.Р. Шарипов, С. Ф. Абдуллаев, К. Нодиров // Материалы меж. конф. «Современные проблемы физики» ФТИ. им. С.У. Умарова. – С. 2022. - С. 252-256.

[27-А]. Шарипов, С.Р. Вариация концентрации элементарного углерода в атмосфере города Душанбе/ С.Р.Шарипов, С. Ф. Абдуллаев, К. Нодиров // Материалы меж. конф. «Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации» ТНУ-2022. – С. 84-87.

[28-А]. Шарипов, С.Р. Вариация концентрации элементарного углерода в атмосфере города Душанбе / С.Р. Шарипов, С. Ф. Абдуллаев, К. Нодиров // Международная научная конференция «Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации». ТНУ - 2022. – С. 84-87с.

[29-А]. Шарипов, С.Р. Углеродные компоненты атмосферного аэрозоля / С.Р. Шарипов, С. Ф. Абдуллаев, Д.С. Шерматов, А.М. Джураев, Р.Р.Вахобов

// Научно-практической конференции «Современная медицина: традиции и инновации», том III. ТГМУ им. Абуали ибни Сино – 2022. – С. 603 -604.

[30-А]. Шарипов, С.Р. Катионный состав атмосферного аэрозоля/ С.Р. Шарипов, С. Ф. Абдуллаев, С.Т. Рахимов, М.Т. Розикова // Научно-практической конференции «Современная медицина: традиции и инновации», том III. ТГМУ им. Абуали ибни Сино – 2022. – С. 604 -605.

[31-А]. Шарипов, С.Р. Влияние атмосферных аэрозолей на здоровье и окружающую среду - изменение климата/ С.Р. Шарипов, С. Ф. Абдуллаев, С.Т. Рахимов, М.Т. Розикова // Научно-практической конференции «Энергетика состояние и перспективы развития» - 2022. – С. 153 -157.