

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

На правах рукописи



УДК 551.576. 551.521.3(575.3)

**ХАЛИФАЕВА ШОХИНА ХУРШЕДЖОНОВНА  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНОГО  
АЭРОЗОЛЯ И ПОЧВ ЮЖНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЕЙ  
ТАДЖИКИСТАНА**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание ученой степени**

**доктора философии (PhD)**

**(физико-математических наук)**

**по специальности 25.00.30 — метеорология, климатология и**

**агрометеорология**

**Научный руководитель:**

**доктор физико-математических наук,  
профессор Абдуллаев Сабур Фузайлович**

**Душанбе – 2023**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕМЕНТНОМУ СОСТАВУ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ПОЧВ .....	14
1.1. Характеристика физико-географических и климатических условий южной и центральной частей Таджикистана.....	14
1.2. Обзор исследования ТМ в составе проб АА и почв.....	15
1.3. Распространения ТМ в атмосферной пыли и почвах.....	24
ГЛАВА II. ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	31
2.1. Методика отбора проб АА и почв.....	31
2.2. Характеристика объектов исследования .....	33
2.3. Методы исследования элементного состава аэрозоля и почв.....	41
2.4. Экспериментальная установка для измерения содержания тяжелых металлов в атмосферном аэрозоле и почв .....	42
2.5. Статистические методы анализа содержания ТМ в составе атмосферной пыли и почв .....	44
2.6. Методы оценки индексов загрязнения .....	46
2.7. Применение метода обратных траекторий воздушных масс в модели HYSPLIT для определения источников загрязнений.....	48
ГЛАВА III. ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ТМ В ПРОБАХ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ПОЧВ ЮЖНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА.....	51
3.1. Содержание As, Pb, Zn в атмосферном аэрозоле и почвах .....	51
3.2. Концентрации Co, Ni, Cu и Cr.....	56
3.3. Вариации содержания Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , MnO, Sr и V.....	61
3.4. Межгодовые вариации концентрации ТМ в АА и почвах .....	69
ГЛАВА IV. МУЛЬТИВАРИАЦИОННЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ .....	77
4.1. Статистический анализ вариации концентрации ТМ в пробах атмосферного аэрозоля и почв и оценки индекса загрязнений.....	77
4.2. Сравнительный и корреляционный анализ содержания ТМ в аэрозоле и почвах Таджикистана и других регионах мира .....	90
4.3. Расчёт обратных траекторий воздушных масс с наибольшим содержанием Zn, As и Pb в атмосферном аэрозоле.....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	103

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АА	Атмосферный аэрозоль
ТМ	Тяжелые металлы
ВМ	Воздушные массы
I <sub>гео</sub>	Индекс геоаккумуляции
ФЗ	Фактор загрязнения
ИНЗ	Индекс нагрузки загрязнения
ЗВ	Загрязняющие вещества
CV	Коэффициент вариации
ЭР	Экологический риск
ИР	Индекс риска
ПДК	Предельно допустимая концентрация
РФА	Рентгенофлуоресцентный анализ
ОС	Окружающие среды
HYSPPLIT	Hybrid single-particle lagrangian Integrated trajectory
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PM	Particulate Matter
PPM	Parts per million (единица измерения концентрации)
ТЭЦ	Теплоэлектроцентр
ТАЛКО	Таджикский алюминиевый завод «ТАЛКО»
Цементзавод	Цементный завод
ПАД	Парк «Ахмада Дониш»
ВГК	Ворота города Кургантюбе
ЖДВ	Железнодорожный вокзал
ВГВ	Ворота города Вахдата
ПКК	Парк «Куруш Кабир»
БСИ	Ботанический сад «Ирам»
МЖК	Масложиркомбинат
МКБ	Мясокомбинат

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность работы.* Атмосферный аэрозоль (АА), представляет собой взвесь мелких твердых частиц или капель жидкости в воздухе. Аэрозоли появляются как в природных явлениях (испарение воды, выветривание почвы, извержения вулканов, лесные пожары), так и из антропогенных источников, например, при сжигании биомассы или ископаемого топлива [1-3]. АА в аридной зоне часто появляется при пылевых бурях [4].

Южная и центральная части Таджикистана находятся в глобальном пылевом поясе, на эту территорию через южную границу страны переносится пыль от таких источников, как пустыни Аралкум, Кызылкум, Каракум, Гоби и Такла-Макан, иранские пустыни Дашти лут и Дашти Кабир, а также от высыхающего Аральского моря. Горные долины часто окутаны облаками пыли и страдают от ее последствий [5].

Диссертационная работа исследует важнейшие вопросы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) и техногенного загрязнения природы ТМ, относящимися к группе особо опасных веществ. Для решения данной задачи проводится геохимический анализ количественных и качественных параметров загрязнения окружающей среды [6].

Изучение содержания ТМ в атмосферном аэрозоле и почвах особенно важно из-за их токсичности для человека [2]. Некоторые ТМ (шестивалентный хром (Cr), мышьяк (As), кадмий (Cd) и никель (Ni)) были внесены в список канцерогенов. Тяжелые металлы из атмосферы могут накапливаться в растениях и животных и попадать в организм человека через пищевую цепочку [3].

В отличие от органических загрязнителей, ТМ не разрушаются, а переходят из одной формы в другую, в частности, включаются в состав солей, оксидов, металлоорганических соединений [7, 8].

Исследование аэрозольного загрязнения атмосферы Таджикистана необходимо для изучения и решения проблем регионального и глобального

трансграничного переноса пыли. Атмосфера южной и центральной части страны в холодное время года загрязняется выбросами транспорта, ТЭЦ, цементного завода и ЖКХ частного сектора, а в теплое время – также и сильными пылевыми вторжениями с юга и запада страны [9, 10].

Изучение состава атмосферного аэрозоля и почв южной и центральной частей Таджикистана позволяет дать оценку антропогенным воздействиям на природную среду, которые представляют опасность здоровью и хозяйственной деятельности человека, и роли воздушного переноса веществ на эту территорию.

Исследованиями состава аэрозоля PM10 и PM2.5 занимаются ученые и исследователи многих стран мира (Китай, Индия, Россия, Иордания, Греция, США, Германия и др.) [1-12]. Для проведения таких исследований в последние годы расширяются сети наземных станций мониторинга атмосферного аэрозоля по всему миру [11].

На фоне происходящих климатических изменений и повышения антропогенного воздействия на окружающую среду исследование уровня загрязненности атмосферного аэрозоля и почв Таджикистана тяжелыми металлами, изучение генезиса этих загрязнений становится весьма актуальным.

***Необходимость проведения исследования.*** Поступление вредных веществ в окружающую среду оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека, продуктивность сельского хозяйства и экосистемы [12]. Источники ТМ в пыли и почвах часто связаны с антропогенной деятельностью (выбросы транспорта, сточные воды и промышленные отходы) [13, 14]. Промышленное развитие и урбанизация приводят к поступлению тяжелых металлов в почвы. Часто указывают на необходимость изучения загрязнения пыли и почв микроэлементами [15].

За последние 30 лет количество пылевых эпизодов в Таджикистане увеличилось как минимум в 10 раз. В начале 90-х годов они происходили всего два-три раза в год, а в последние годы регистрируется до 35 пылевых эпизодов каждый год.

В южном и центральном Таджикистане пылевые вторжения стали более частыми явлениями за последние десятилетия, причем пыль содержит в себя множество загрязнителей, включая ТМ, поэтому очень важны исследования элементного состава атмосферной пыли и почв.

***Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основы исследований.*** Самые ранние детальные исследования состава аэрозоля Таджикистана проведены в 1989 году [16]. Задачей советско-американского эксперимента было установление особенностей физических и химических свойств аэрозоля в пустынных районах на юге Таджикистана. Были изучены пробы аэрозоля и почв, собранные на фильтры в Шаартузском районе после пылевой бури 20 сентября 1989 г. Обнаружено, что концентрации Ti, Al, Cu, As выше в составе аэрозоля, концентрации Sr, Ca выше в составе почв, а концентрация Fe, Co, Cr в составе аэрозоля и почв почти одинаковы. Недавно проведено изучение элементного состава атмосферной пыли и почв Северного Таджикистана [17].

Пылевые вторжения проникают на территорию страны через южные границы; Айвадж является “воротами” для пылевых потоков, которые пройдя через южные города и районы, добираются до центральной части Таджикистана. Эта пыль надолго остается в воздухе до осаждения в виде пылевой мглы из-за орографических условий местности. Пыль содержит много микроэлементов, многие из ТМ негативно влияют на здоровье человека.

В данном исследовании рассмотрены временные и межгодовые вариации ТМ в пыли и почвах, проведен статистический и мультивариационный анализ концентрации ТМ, степени загрязнённости атмосферного аэрозоля и почв с использованием методов оценки загрязнения, определены экологические риски и индексы риска ТМ. Рассчитаны обратные траектории воздушных потоков с наибольшим содержанием ТМ в пыли и выявлены источники загрязнения.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

***Цель работы*** – исследование элементного состава атмосферного аэрозоля и почв южной и центральной частей Таджикистана.

**Объектами исследования** являются атмосферный аэрозоль и почва южной и центральной частей Таджикистана.

**Предметы исследования:** пробы атмосферного аэрозоля и почв, отобранные на территории южного и центрального Таджикистана в период с 2007 по 2022 гг.

**Основные задачи:**

1. Исследовать временные вариации концентрации ТМ и аэрозольного загрязнения тяжелыми металлами почв и АА;
2. Определить степень загрязнённости территории южной и центральной частей Таджикистана тяжелыми металлами;
3. Выявить вклад антропогенных и природных источников загрязнения с помощью коэффициента вариации концентрации ТМ;
4. Оценить возможности совместного использования данных о приземном содержании элементов и траекторий движения воздушных масс для выявления источников загрязнения атмосферы и почв ТМ;
5. Методами статистического и корреляционного анализа изучить закономерности состава ТМ в атмосферном аэрозоле и почвах южной и центральной частей Таджикистана;
6. Оценить экологические риски и индексы риска ТМ в пыли и почвах.

**Методы исследования.** Методом рентгенофлуоресцентного анализа измерено содержание двенадцати ТМ (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO). Методами мультивариационного статистического анализа и оценки индекса загрязнения оценены разброс концентрации ТМ и степень загрязнённости атмосферной пыли и почв ТМ. Методом обратных траекторий выявлены возможные источники загрязнения ТМ.

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

**Этапы исследования** включают отбор и подготовку проб аэрозоля и почв, измерение элементного состава проб. Изучены временные вариации концентрации ТМ. Проведен статистический анализ для оценки степени разброса полученных значений относительно средних. Оценен уровень загрязнённости аэрозолей и почв ТМ и количественно выражены потенциальные экологические риски загрязняющих тяжелых металлов. Выполнен сравнительный анализ концентрации ТМ с другими регионами мира и корреляционный анализ для оценки взаимосвязи содержания ТМ в атмосферной пыли и почвах южной и центральной частей Таджикистана.

**Основная информационная и экспериментальная база.** Для определения элементного состава АА и почв и использована экспериментальная установка: волно-дисперсионный рентгено-флуоресцентный спектрометр «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» (ООО «СПЕКТРОН», г. Санкт-Петербург). Статистический анализ и оценка степени загрязненности пыли и почв ТМ выполнялись в среде пакета прикладной статистики стандартных программ Excel. Для выявления возможных источников опасных ТМ путем расчета обратных траекторий переноса воздушных масс, переносящих загрязнения, использована модель HYSPLIT.

**Достоверность полученных результатов.** Для обработки результатов исследования использованы методы математической статистики. Проведенные исследования элементного состава являются репрезентативными. Достоверность результатов подтверждена статистической обработкой данных. Экспериментальные результаты хорошо соотносятся с данными, полученными другими исследователями или методами.

**Научная новизна работы состоит в том, что впервые:**

1. Создан банк данных по элементному составу АА и почв южной и центральной частей Таджикистана;
2. Изучены временные вариации содержания ТМ в атмосферном аэрозоле за период 2007–2022 г. и в почве с 2009 по 2021 г. Определены



минимальные концентрации ТМ в АА и почвах с целью оценки вклада аэрозоля в загрязнение почв ТМ;

3. Выявлены вклады антропогенных и природных источников в загрязнения по коэффициенту вариации концентраций тяжелых металлов, методом обратных траекторий воздушных масс выявлены возможные источники загрязнений ТМ;

4. Проанализированы степень разброса концентраций элементов и вариации их распределения на территории южной и центральной частей Таджикистана методом статистического анализа. Определен уровень загрязнённости атмосферной пыли и почв ТМ с использованием метода оценки индекса загрязнений: фактор загрязнения (ФЗ), индекс нагрузки загрязнения (ИНЗ), геохимический индекс загрязнения ( $I_{geo}$ ). Выявлены экологические риски (ЭР) тяжелых металлов и индексы риска (ИР) в пыли и почвах;

5. Обнаружено повышенное содержание As, Co, V в пробах атмосферной пыли города Душанбе и Pb, Cr, Ni, V и MnO в пробах АА Айваджа, As, Co, V, Pb, TiO<sub>2</sub>, Sr и MnO в пробах почв, дана оценка на их содержание в составе АА с различной степенью антропогенной нагрузки;

6. Рассчитаны коэффициенты корреляции концентрации ТМ в пробах аэрозоля и почв, проведен сравнительный анализ с другими регионами.

#### ***Теоретическая ценность исследования.***

– Определение коэффициента вариации и временных вариаций содержания ТМ в атмосферном аэрозоле и почв позволило оценить влияние антропогенных воздействий на окружающую среду (ОС) данный результат может быть использован в теоретических задачах моделирования;

– Обнаружение высокой положительной корреляции между концентрациями Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Co (0,96), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiO<sub>2</sub> (0,95 ) в пробах АА и значительная положительная связь V с Cr (0,68), Ni (0,66) и MnO (0,76) в почвах указывает на общий источник этих загрязнителей;

– Анализ данных по ФЗ, ИНЗ,  $I_{\text{гео}}$  показал вклад каждого ТМ в загрязнении атмосферной пыли и почв, учеты которых могут быть использованы при расчетах загрязнения окружающей среды;

– Уровни экологического риска As (100) в АА Душанбе и Pb (83,5) в атмосферной пыли Айваджа – самые высокие. В пробах почв мощным загрязнителем является As (855). В атмосферной пыли Душанбе и Айваджа для ТМ характерен умеренный индекс риска, но в почвах обнаружен самый высокий ИР. Данные результаты необходимо использовать при оценке экологического состояния региона;

– Траектории движения воздушных масс над поверхностью Земли показали, что основные источники аэрозольного загрязнения ТМ находятся на территории Центральной Азии.

#### ***Практическая ценность исследования:***

1. При дальнейшем исследовании загрязнения атмосферной пыли и почв южной и центральной частей Таджикистана результаты проведенных исследований могут быть использованы в качестве базы данных;

2. Данные по фоновым концентрациям, ФЗ, ИНЗ и  $I_{\text{гео}}$  ТМ: Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MnO, Cr, V и  $\text{TiO}_2$  в атмосферной пыли и почвах южной и центральной частей Таджикистана являются критерием степени загрязнения территории региона;

3. Показано, что при мониторинге экологического состояния почвы региона следует учитывать степень загрязнённости почвы тяжелыми металлами и вклад антропогенных источников, расположенных в исследуемом регионе.

4. Моделирование переноса загрязнения воздушными потоками следует использовать при выявлении источников загрязнений.

#### ***Основные положения, выносимые на защиту:***

1. Систематически исследована временная вариация содержания ТМ в составе АА и почв южного и центрального Таджикистана.

2. Изучены особенности распределения концентрации ТМ в почвах и атмосферном аэрозоле региона.

3. Определены наиболее опасные загрязнители почв и АА региона по индексу нагрузки загрязнения, по индексу геоаккумуляции.

4. Экологические риски для As в пыли Душанбе и Айваджа, для Pb в пыли Айваджа, а также As, Pb, V и Co в почвах региона были самими высокими. Индекс риска для Душанбе составил ИР=202, для Айваджа ИР=245, а для почвы региона ИР=1463,5. По ИР As, Pb, Co, Ni, Cr в пыли, а As и Co в почве представляют потенциальную опасность для местной экосистемы.

5. В атмосферной пыли корреляции  $Fe_2O_3$  с Co ( $r = 0,96$ ) и с  $TiO_2$  (0,95) были положительно высокими. Относительно сильная положительная связь As обнаружено с Cu ( $r = 0,5$ ) и Sr ( $r = 0,54$ ), что указывает на их общее происхождение. В почвах V имеет значительную положительную корреляцию с Cr (0,68), Ni (0,66) и MnO (0,76).

6. Обратные траектории воздушных масс показали, что возможными источниками ТМ являются южная часть Таджикистана, Афганистан и южная часть Узбекистана.

**Личный вклад автора:** Автор непосредственно участвовала в подготовке материала (отбор проб АА и почв, подготовка проб к физико-химическому анализу), в проведении экспериментальных исследований, в статистической обработке результатов анализа и сопоставлении с литературными данными, в обсуждении результатов. Автором лично даны интерпретации результатов измерений, подготовлены статьи и тезисы докладов по материалам диссертации.

**Апробация диссертации и информация об использовании её результатов.** Основные результаты диссертационной работы доложены на семинарах ФТИ (г. Душанбе, 2019–2022 гг.), на Республиканских и Международных конференциях: Симпозиум физиков Таджикистана, посвященный 85-летию академика НАНТ – Р. Марупова (г. Душанбе, 25-26 ноября 2021 г.); II-ой Международной научно-практической конференции «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий» (г. Гулистан, 16-20 августа 2021г.); Международной научно-практической (68-ой

годовой) конференции, посвященной «Годам развития села, туризма и народных ремёсел» (г. Душанбе, 27 ноября 2020 г.); Научно-практической конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инновации и технологий» (г. Душанбе, 22 октября 2020 г.); VII-ой международной конференции «Современные проблемы физики» (г. Душанбе, 9-10 октября 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования» (г. Душанбе, 27-28 ноября 2019 г.), Международном симпозиуме «Проблемы и вклад естественно-математических наук в развитие медицины» (г. Душанбе, 25 ноября 2022 г.); XV-международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов ГОУ ТГМУ им. Абуали ибни Сино, посвященной годам развития села, туризма и народных ремесел (г. Душанбе, 24 апреля 2020 г.), VIII-ой международной конференции «Современные проблемы физики» (г. Душанбе, 21-22 октября 2022 г.); X-ой научно-практической конференции «Ломоносовские чтения», посвященной 75-летию Победы в Великой отечественной войне (г. Душанбе 25-26 сентября 2020 г.); Республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (г. Душанбе, 28 октября 2020 г.); Республиканской научно-практической конференции посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук» на тему «Современные проблемы физики конденсированное состояние и ядерная физика» (г. Душанбе, 19 февраля 2020 г.); Республиканской научно-практической конференции посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук» на тему «Вклад физики в развитии современной техники и технологии» (г. Худжанд, 16-17 марта 2023 г.)

**Опубликование результатов диссертации.** По результатам диссертационной работы опубликованы 20 научных работ, в т.ч. 6 статей в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с подразделами, заключения, списка использованной

литературы и глоссария. Диссертационная работа изложена на 121 страницах компьютерного текста, из них 21 таблиц, 46 рисунка и 137 библиографических ссылок.

## ГЛАВА I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕМЕНТНОМУ СОСТАВУ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ПОЧВ

### 1.1. Характеристика физико-географических и климатических условий южной и центральной частей Таджикистана

Пылевые потоки приходят на территорию южной и центральной частей Таджикистана из соседних стран и ближающих пустынь. Образующиеся в этих пустынях пылевые потоки в частности вторгаются через окрестности поселка Айвадж, расположенного в Шаартузском районе, граничащем с Афганистаном. Скорость воздушного потока в Айвадже усиливается за счет орография местности. При вторжении холодного воздуха с запада и северо-запада смещение фронтов на восток на некоторое время замедляется перед южными отрогами хребта Бабатаг, воздушные массы накапливаются, а затем к востоку от Термеза - прорываются в устье реки Пяндж, недалеко от которого расположены метеостанции Айваджа и Шаартуза. К востоку и северу долина расширяется, а скорость ветра уменьшается. Пыльный поток распространяется не только за холодным фронтом, но и переносится с территории Туркменистана и Узбекистана воздушными потоками верхних слоев [18].

Душанбе располагается в Гиссарской долине, в месте слияния двух рек: Варзоб и Кафирниган. На севере и востоке город окружен Гиссарским хребтом, высота которого достигает 4 км над уровнем моря, а на юге ограничен горами Бабатаг, Актау, Рангонтау и Каршатау, высотой до 1,4-1,7 км над уровнем моря. Город окружен преимущественно холмистым рельефом. [19]. В горной долине после пылевых вторжений пылевые частицы могут находиться в атмосфере долгое время.

Душанбе находится на широте Средиземного моря, но климат его резко континентальный, полуаридный – сухой летом и влажный зимой, смягченный находящимися вблизи горными хребтами и ледниками [20]. В городе жаркое лето и периодически холодная зима. Среднегодовое количество осадков более

500 миллиметров (20 дюймов), поскольку зимой и весной влажный воздух направляется из окружающей долины. Зимы теплее, чем к северу от Гиссарского хребта, благодаря горной защите города от холодного воздуха происходящего из Северных широт. Окружающие горы препятствуют проникновению в город сильных ветров, хотя дует постоянный легкий бриз.

Айвадж находится недалеко от городов Уртанобад, Арык Айвадж и Развалины Айвадж. Также недалеко находятся Гора Куштур-Мулла и река Вахш. Широта Айваджа составляет 36,98511 с.ш., а долгота — 68,03738 в.д. Он находится на стыке границ, разделяющих Таджикистан, Афганистан и Узбекистан. Это самая южная точка страны, где летом регистрируются самые высокие температуры. Айвадж – один из основных проходов на территорию Таджикистана при проникновении пылевых вторжений через южные границы страны [17].

## **1.2. Обзор исследования ТМ в составе проб АА и почв**

Атмосферные аэрозоли можно рассматривать как неоднородные образования, возникающие в результате атмосферных гетерогенных процессов, происходящих в масштабе частиц [21]. Воздействие атмосферных аэрозолей на видимость и изменение климата, а также их токсичность зависят от размера, химического состава и состояния химического перемешивания (т. е. пространственного распределения видов частиц в пределах одной частицы) аэрозолей [21, 22, 23].

Атмосферный аэрозоль играет важную роль в химическом, радиационном и гидрологическом балансе атмосферы. Частицы генерируются на поверхности Земли при сгорании, при выбросах органических веществ, при вулканической деятельности и преобразовании газообразных соединений в частицы. Они существуют в размерах от 0,001 до 100 мкм, в массовых концентрациях порядка микрограммов на м<sup>3</sup>, с составом, включающим сульфаты, нитраты, аммоний, коревые материалы, органические вещества, углерод и воду. Удаление аэрозолей из атмосферы происходит за счет процессов осаждения и коагуляции. Время пребывания в тропосфере обычно менее 30 дней – меньше,

чем время атмосферного перемешивания, – что приводит к значительным масштабам пространственной и временной структуры. Стратосферный аэрозоль хорошо перемешан, время пребывания составляет несколько лет [24, 25].

Загрязняющие вещества могут переноситься с аэрозолем в атмосфере быстро и на более дальние расстояния, чем в других средах, таких, как вода, почва и биота; тем не менее, лишь немногие исследования четко оценили экологические последствия этого фундаментального, но недостаточно изученного транспортного механизма. Среди множества природных и антропогенных процессов, создающих выбросы аэрозолей и повышающих уровень загрязнения окружающей среды, добыча полезных ископаемых выделяется по количеству образующихся частиц, общей площади воздействия и токсичности загрязнителей, связанных с выбросами [26, 27].

### **1.2.1. Содержание тяжелых металлов в составе атмосферного аэрозоля**

При движении воздушных масс твердые частицы переносят на большие расстояния от места их образования; при этом переносятся радиоактивные загрязнения и ТМ [28].

В зоне сбора проб пылевого аэрозоля обнаружено увеличение содержания Ca, Zn и Sr в образцах атмосферного аэрозоля по сравнению с почвой. В 2008–2010 гг. наблюдалось снижение концентрации элементов в почве зоны распространения пылевой дымки для Cr, Rb, Eu, Cs, Co и увеличение для Mn, Ba, Ce, La, Yb и Th; максимум содержания элементов наблюдался в 2009 г. [9].

В работе [29] рассматривалась аэрозольная миграция тяжелых металлов. Выявлена сильная миграция Zn, As, Co, Sr и Rb в атмосфере. Небольшое количество K, Ti, Ni, V и Cr было обнаружено в образце аэрозоля пылевой дымки относительно Кларка почв (среднее содержание элемента в земной коре) и означает, что у этих элементов слабая миграция в атмосфере. Накопление токсичных металлов таких, как Zn, Sb и As является тревожным, содержание которых превышает Кларк почти в десять раз.

Концентрации тяжелых металлов (ТМ) во взвешенных в воздухе твердых частицах (ТЧ) из фоновых областей в Центральной Азии (ледник Абрамова,



Сары-Челекский биосферный заповедник и Чаткальский биосферный заповедник), изучались с помощью высокочувствительного нейтронного активационного анализа. Было обнаружено, что концентрации ТМ в ПМ на леднике Абрамова варьировались от 5 960 нг/м<sup>3</sup> для Fe до 0,0005 нг/м<sup>3</sup> для Au. Высокие концентрации Au, Cr, Sb, Sc, Fe, Co и РМ наблюдались в летний сезон из-за вклада почвенной пыли с засушливых территорий. Полученные результаты важны для оценки фонового уровня загрязнения атмосферного воздуха отдаленных районов Центральной Азии тяжелыми металлами [30].

Концентрации тяжелых металлов измерялись в пробах атмосферного аэрозоля, собранных с июля 2004 года по апрель 2006 года на территории восточного Памира на высоте 4430 м. Было установлено, что концентрация As и других ТМ в регионе заметно ниже, чем в Арктике, и даже ниже, чем в густонаселенных или промышленных районах. Отмечены сезонные колебания концентрации ТМ на востоке Памира, с летним максимумом и зимним минимумом. Установлено, что антропогенные примеси мало влияют на атмосферу в отдельных районах Памира [31].

С нашей точки зрения, данный вывод нельзя распространить на территории узких горных долин, где аэрозоли бытового происхождения в периоды радиационного выхолаживания приземного слоя воздуха, буквально заполняют смогом дно долины.

Элементный анализ состава аэрозольных частиц в атмосфере города Габороне был выполнен с помощью сканирующего электронного микроскопа (ESEM). Результаты ясно показывают, что состав наблюдаемых частиц был очень сложным. Он также показал наличие элементов Al, Si, Fe, K, Ca, Mg, Zn, Na, Cu, Pb, Ti, Ni, Pt, Au и Cr [32].

Добыча полезных ископаемых является потенциальным источником переносимых по воздуху металлических и металлоидных загрязнений, как из-за прямых выбросов, так и из-за ветровой эрозии хвостов шахты [33]. В работе [34] атмосферные концентрации отдельных тяжелых металлов, включая свинец (Pb), железо (Fe), кадмий (Cd), медь (Cu), никель (Ni), марганец (Mn) и цинк

(Zn), были измерены для двух разных участков отбора проб (городской и сельский) в северной части Иордании (город Ирбид). Все тяжелые металлы в городских и сельских районах достигли максимальных концентраций в июне, июле и августе. Это согласуется с активностью, ведущей к выбросам твердых частиц в летний период.

Авторами [35] исследованы сезонные изменения массовых концентраций твердых частиц (PM) и состава тяжелых металлов в PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> в пробах, собранных в типичном городском жилом районе в Ульсане, Корея. Содержание PM в воздухе было проанализировано на наличие таких тяжелых металлов: Fe, Zn, Cd, Mn, Pb, Cu, Cr и Ni. Все металлы в PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> имели более высокие концентрации весной, чем летом, за исключением Cr в PM<sub>10</sub>, для которого близки концентрации весной и летом.

Атмосферная пыль – один из важнейших загрязнителей окружающей среды. Пыль может включать в себя широкий спектр химических веществ, от элементарных отходов до органических и неорганических соединений. Поэтому исследования пыли важны для определения происхождения, распространения в окружающей среде и воздействие тяжелых металлов на здоровье. В статье [36] приведены исследования листьев *Platanus orientalis* L., как возможный биомонитор тяжелых металлов в атмосферной пыли, чтобы найти вероятный источник загрязнения в Исфахане, Иран. Концентрацию Zn, Cu, Ni и Mn и магнитную восприимчивость определяли в промытых и немых листьях, ежемесячно отбираемых с мая по ноябрь 2012 года. Подобное исследование проводилось и в городе Мохаммедия, Королевство Марокко. Изучалось содержание тяжелых металлов в составе пыли сухих листьев и в сухой почве. Результаты работы показали, что концентрации тяжелых металлов в почве ниже, чем в листьях деревьев [37].

Пробы аэрозольных частиц и следовых газов были собраны в пяти местах в городских районах Бангладеш. Места отбора проб были отобраны в городских районах вблизи автомашин с интенсивным движением. Средние концентрации общего количества взвешенных частиц в атмосферном воздухе

города составляли 413,02; 292,63; 671,65; 184,09 и 301,13 мкг/м<sup>3</sup> в Дакке, Ноахали, Читтагонге, Фаридпуре и Кустии, соответственно, что было выше среднесуточного значения, определяемого как Стандарт ЕРА, ВОЗ и США.

Загрязнения атмосферы твёрдыми частицам таких как PM 10, PM 2,5, PM1 и PM 4 серьёзно воздействуют на ОС и играют важную роль в глобальном климатическом изменении [38,39,40]. Исследования в этой области важны, из-за сильной корреляции PM с неблагоприятными последствиями для здоровья. В [41] были исследованы сезонные изменения и источники микроэлементов в тонких атмосферных аэрозолях (PM2.5). Образцы PM2.5, собранные в течение четырех сезонов, были проанализированы на содержание 17 металлов. Использовался МС-ИСП (масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой) для определения элементного состава аэрозоля.

Основными целями исследования [42] было определение концентраций и источников тяжелых металлов, включая Zn, Cu, Pb, Fe, Ni, Cr, Co и Mn, и уровней загрязнения металлами в пыли Бушер (городской район) и Ассалуе (промышленный район), расположенные в провинции Бушер на юго-западе Ирана. В [43] дается подробный всесторонний обзор атмосферной оценки твердых частиц и тяжелых металлов.

В Южной Африке было проведено всего несколько исследований концентраций следовых металлов в атмосфере. Целью этого исследования было определение концентраций следовых металлов в аэрозолях, собранных на региональном фоновом участке, то есть в Вельгегунде, Южная Африка. Образцы PM1, PM1–2.5 и PM2.5–10 были собраны в течение 13 месяцев; был обнаружен 31 вид металла в аэрозоле [44]. Ещё одна работа [45] проведена в западном Бушвельдском комплексе в Марикане в северо-западной провинции. Суточные образцы PM2.5 и PM10 были собраны в течение 1 года. Всего было определено 27 видов следовых металлов. За исключением Ni, ни один из микроэлементов, обнаруженных в течение периода отбора проб, не превысил местные или международные стандартные предельные значения качества воздуха.

Для аэрозоля характерна высокая временная и пространственная изменчивость, что увеличивает необходимость и важность подробных физических и химических характеристик в региональном масштабе для оценки их воздействия. Восемнадцать образцов придорожной пыли (состоящих из 6 штук каждый) были собраны в трех местах: в Монте-Кристо, Виндхук, и проанализированы на концентрацию тяжелых металлов с помощью спектрофотометра с индуктивно-связанной плазмой и оптической эмиссией (ICP: Perkin Elmer Optima 7000 DV) [46].

Целью исследования [47] являлось определение содержания отдельных тяжелых металлов (Pb, Zn, Cd, Fe и Cr) в десяти дошкольных учреждениях в Селангоре, Малайзия. Образцы пыли из внутренних помещений классных комнат и поверхностных загрязнений собирали с помощью мягких кистей, а влажные салфетки Kimwipes – для сбора образцов пыли с внутренних стен и детских ладоней. Тяжелые металлы в образцах пыли определялись с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Химические характеристики аэрозолей изучались путем измерения концентраций общего количества взвешенных твердых частиц и их элементного состава на промышленных, городских и жилых объектах на западном побережье Саудовской Аравии. Средняя концентрация частиц составляла 225, 121 и 98 мкг/м<sup>3</sup> на промышленных, городских и жилых объектах соответственно. Анализ основных компонентов показал, что основным источником Al, Ca, Mg, Fe, Mn и K является дорожная пыль (автомобильные выбросы); Cu – истирание транспорта; Zn и V – остаточное сгорание масла, а Ni – металлическое покрытие [48]. Полная оценка тяжелых металлов в Соединенном Королевстве приведена в [49].

Исследование [50] было проведено с целью изучения сезонного распределения PM10 и его содержания тяжелых металлов в атмосфере жилого района северной части Джидды в течение 2011-12 годов. Была проведена оценка потенциального риска для здоровья от воздействия тяжелых металлов. Концентрации 15 элементов (Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Sr, Cd

и Pb) в PM10 были определены с помощью рентгеновской флуоресценции. Среднегодовая концентрация PM10 (65 мкг/ м<sup>3</sup>) была намного выше, чем стандарт ВОЗ для PM10 (20 мкг / м<sup>3</sup>).

### 1.2.2. Тяжелые металлы в составе проб почв

Механизмы трансформации ТМ в почвах очень сложны и разнообразны. В почвах формируется система соединений, которые термодинамически стабильны в данных условиях, что в наибольшей степени соответствует естественной сбалансированной циркуляции веществ [51]. Наиболее важными источниками тяжелых металлов в почвах являются антропогенные виды деятельности, такие как добыча полезных ископаемых, процессы плавки, сталелитейная и металлургическая промышленность, химическая промышленность, транспорт, сельское хозяйство, а также бытовая деятельность. Химическая и металлургическая промышленность являются наиболее важными источниками тяжелых металлов в почвах. Присутствие тяжелых металлов в почве может влиять на качество пищи, грунтовых вод, активность микроорганизмов, рост растений и др. [52].

Для грубых форм ТМ в почве, разработано значительное количество стандартов ПДК. ТМ подразделяются на 3 класса по степени опасности воздействия на живые организмы: первый класс – особо опасные элементы - Zn, Cd, Hg, As, Pb, Se, Ti; второй класс – токсичные элементы - Ni, Sb, Mo, Cu, Co, Cr; третий класс – слабо токсичные элементы – W, Ba, V, Mn, Sr. Многие элементы являются минералообразующими. Минералы превращаются в почве: выветриваются, окисляются, растворяются и т. д. Вторичные минералы, образующиеся, в основном, из глины, определяют минеральную часть почвы [53].

В [54] рассмотрено современное состояние знаний о причинах и последствиях выщелачивания многочисленных микроэлементов из природных и антропогенных аэрозолей. Аэрозольное осаждение рассматривается как в короткие периоды времени, в течение которых фитопланктон реагирует непосредственно на вход аэрозольного металла, так и в более длительные

периоды времени, в течение которых биогеохимические циклы подвержены воздействию аэрозолей.

Изучение воздействия антропогенных факторов на окружающую среду является серьёзной научной проблемой. Среди наиболее опасных загрязнителей выделяют ТМ. Миграция и перераспределение ТМ в компонентах почвы зависят не только от природных факторов, но и от характера и интенсивности техногенеза [55].

Вдоль трех основных автомагистралей в Индии было проведено исследование для оценки содержания тяжелых металлов и общего загрязнения нефтяными углеводородами от поверхностных почв на глубине 0–15 см в авторемонтных мастерских и на сельскохозяйственных полях, расположенных рядом с шоссе. Результаты показали, что места отбора проб вблизи от автомобильных мастерских были подвержены умеренному или значительному загрязнению по сравнению с почвой сельскохозяйственных полей вдоль автомагистралей, что свидетельствует о прямом влиянии антропогенной деятельности на уровни загрязнения ТМ [56].

Тяжелые металлы, такие как кадмий, медь, свинец, хром и ртуть, являются важными загрязнителями окружающей среды, особенно в районах с высоким антропогенным давлением. Их присутствие в атмосфере, почве и воде, даже в следах, может вызвать серьезные проблемы для всех организмов, а накопление тяжелых металлов в пищевой цепи особенно опасно для здоровья человека [57, 58, 59]. Во многих странах отмечается поступление тяжелых металлов человеку через пищевую цепь. По мере роста деятельности человека, особенно с развитием современных технологий, загрязнение пищевой цепи человека стало неизбежным. Международные и национальные правила по качеству пищевых продуктов понизили максимально допустимые уровни токсичных металлов в пищевых продуктах из-за повышенной осведомленности о риске, который эти металлы представляют для загрязнения пищевой цепи [60, 61, 62].

Результаты агрохимического спектрального анализа хвостохранилищ и отвалов природно-техногенной урановой провинции Майлуу-Суу (Ошская

область) и виды почвенного покрова, рассмотрены в статье [63]. Результаты исследования показали, что количество некоторых элементов (Ni, Co, Cr и Cu) превышает предельную концентрацию.

Тяжелые металлы очень вредны из-за их биоразлагаемой природы, длительного биологического периода полураспада и их способности накапливаться в разных частях тела. Большинство тяжелых металлов чрезвычайно токсичны из-за их растворимости в воде. Даже низкие концентрации тяжелых металлов оказывают вредное воздействие на человека и животных, потому что нет хорошего механизма их выведения из организма. Тяжелые металлы являются стойкими загрязнителями окружающей среды, которые могут откладываться на поверхности и затем адсорбироваться в тканях овощей [36, 62].

Данные о содержании тяжелых металлов (кадмия, свинца, цинка) проанализированы в различных почвенных областях Астаны (нынешний Нур-Султан, Казахстан). Общее содержание тяжелых металлов не превышает фонового загрязнения в трех случаях из шести, а в остальных случаях оценивается как средний и слабый уровень загрязнения [64].

В [65] рассматривается оценка загрязнения некоторыми тяжелыми металлами в почвах Мангистауской области. Пробы почвы отбирались вблизи нефтегазового оборудования (качалка). Были использовано атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и определены подвижные формы тяжелых металлов.

Актуальна проблема загрязнения почв промышленных и сельскохозяйственных территорий тяжелыми металлами. Среди всех загрязнителей окружающей среды, тяжелые металлы занимают одно из ведущих мест [66].

Высокое загрязнение почвы чаще всего наблюдается вблизи крупных автомагистралей, промышленных предприятий и мегаполисов. Городские сельскохозяйственные зоны, расположенные в городских районах, подверженных высокой степени антропогенного воздействия, не являются

исключением. Основными источниками антропогенного притока тяжелых металлов в почву сельскохозяйственных территорий являются тепловые электростанции, транспортные и химические средства защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей [67].

### 1.3. Распространения ТМ в атмосферной пыли и почвах

ТМ являются большой группой загрязняющих веществ, которые хорошо распространены в объектах окружающей среды. В малых концентрациях они необходимы живым организмам, но при высоких концентрациях оказывают токсическое воздействие. Тяжелыми металлами считаются группа химических элементов, атомная масса которых превышает 50 и плотность более 8 г/см<sup>3</sup>, исходя из чего более 40 металлов из 84 Периодической системы Д.И. Менделеева относятся к тяжелым [53, 68, 69]. Наиболее часто экологами и геохимиками исследуются следующие металлы: Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Hg, Pb [70,71].

Некоторые тяжелые металлы (железо, медь, цинк, молибден) участвуют в биологических процессах. Свинец и ртуть – токсичны и не играют полезной роли в биологических процессах. Некоторые элементы, такие как ванадий или кадмий, могут быть иногда полезны, но обычно оказывают токсическое воздействие на живые организмы [52].

Рассмотрим природное распределение ряда металлов, которые входят в группу тяжелых.

**Мышьяк (As)** — это повсеместный элемент, который в низких концентрациях обнаруживается практически во всех матрицах окружающей среды. Мышьяк в виде своих летучих соединений попадает в атмосферу при извержении вулканов. Загрязнение окружающей среды мышьяком происходит в результате природных явлений, таких как извержения вулканов и эрозия почвы, а также антропогенной деятельности [72]. На миграцию мышьяка оказывает большое влияние окислительно-восстановительная среда, из-за его многовалентности. Накопление мышьяка особенно характерно в почвах, где



мышьяк малоподвижен. Мышьяк легко вымывается из почв во влажном климате [74].

**Свинец (Pb)** – распространенный тяжелый металл в ОС, в незагрязненных почвах его содержание составляет 2–200 мг/ кг [75], а в загрязненных почвах до 18% вес [76, 77]. Свинец является тяжелым металлом 1-го класса опасности для окружающей среды и организма человека [75, 78, 79]. Свинец относится к биохимически активным веществам [78, 80, 81]. В результате деятельности человека в окружающей среде образуются антропогенные источники свинцового загрязнения. Особенно резко возрос уровень загрязнения городской среды, в частности почв, которые хорошо адсорбируют и откладывают свинец. Источниками тяжелых металлов являются пылегазовые выбросы в атмосферу, сточные воды, твердые отходы, а их специфическими поставщиками являются предприятия цветной и черной металлургии, а также автотранспорт. Накоплению свинца в почвах способствует низкая подвижность его соединений при высоких значениях рН. Свинец и цинк занимают лидирующие позиции в списке основных металлов-загрязнителей почвенного покрова в 165 городах бывшего СССР [79, 82].

**Цинк (Zn)** – цинк в природе в чистом виде не встречается, но он находится в земной коре, в воде и даже почти в каждом живом организме. В земной коре содержание цинка составляет  $8,3 \cdot 10^{-3}\%$  [83]. Карбонат цинка  $ZnCO_3$  и сульфид цинка  $ZnS$  являются основными минералами цинка [84]. Канада занимает первое место в мире по производству (16,5% мирового производства, 1113 тыс. Т, 1995 г.) и запасам цинка. Значительные месторождения цинка находятся в Китае (13,5%), Австралии (13%), Перу (10%), США (10%), Ирландии (около 3%) [85].

Таджикистан занимает лидирующее место в Центрально-Азиатском регионе по запасам свинцово-цинковых руд. Более 90% разведанных запасов этих металлов сосредоточено в Карамазарском рудном районе. Достаточно отметить, что только на Большом Конимансурском и Алтынтопканском рудных

месторождениях разведано более миллиарда тонн свинцово-цинковых руд, большая часть которых может быть добыта открытым способом [28].

**Стронций (Sr)** – в периодической системе входит во вторую группу элементов. Естественный стронций состоит из смеси четырех стабильных изотопов  $^{84}\text{Sr}$  (0,56%),  $^{86}\text{Sr}$  (9,96%),  $^{87}\text{Sr}$  (7,02%) и  $^{88}\text{Sr}$  (82,0%) и относится к микроэлементам. Физические и химические свойства стронция аналогичны кальцию, поэтому они являются компаньонами в геохимические процессы. Расчетное содержание Кларка в земной коре составляет 340 мг / кг [86, 87].

**Кобальт (Co)** – массовая доля кобальта в земной коре составляет 0,4 ppm. Его содержание в литосфере  $1,8 \cdot 10^{-3}\%$  в массе. Известно около 30 минералов, содержащих кобальт [28, 84]. В земной коре кобальт мигрирует в магмах, горячих и холодных водах. Будучи слабым водным мигрантом, адсорбируясь гидроксидами марганца, глинами и других высокодисперсными минералами, кобальт легко переходит в осадки [57].

**Хром (Cr)** – концентрация хрома в земной коре высока – 0,02%. Содержание хрома в почвах мира лежит в диапазоне 5-760 мг/кг, среднее содержание 190 мг/кг, кларк 200 мг/кг. Месторождения хромита имеют магматическое происхождение. Выявленные ресурсы хрома в мире составляют более 15 миллиардов тонн. По запасам хромита в мире первое место занимает ЮАР (76% от разведанных мировых запасов), в Бушвельдских месторождениях содержание хромовой руды составляет 1 миллиард тонн. По ресурсам хромита второе место занимает Казахстан (9% от мировых запасов), хромовые руды там имеют высокое качество. Третью позицию занимает Зимбабве (6% от мировых запасов). Кроме того, значительными ресурсами хромита обладают США, Индия, Филиппины, Турция, Мадагаскар, Бразилия [79]. Известно более 20 минералов хрома [88].

**Медь (Cu)** – очень распространенное вещество, которое естественным образом встречается в окружающей среде и распространяется через окружающую среду посредством природных явлений. Производство меди увеличилось за последние десятилетия. Из-за этого количество меди в

окружающей среде увеличилось. Примеры источников: переносимая ветром пыль, гниющая растительность, лесные пожары, морские брызги, горнодобывающая промышленность, производство металлов, древесины и фосфатных удобрений [89].

Мировое производство меди составляет 12 миллионов тонн в год, а эксплуатационные запасы – около 300 миллионов тонн. Медь добывается на крупных месторождениях в Чили, Индонезии, США, Австралии и Канаде, на которые в совокупности приходится около 80% мировой меди. Среднее содержание меди в земной коре составляет 47 ppm [90].

**Никель (Ni)** – твердый, пластичный, серебристо-белый переходный металл; это 28-й элемент периодической таблицы [87]. Никель относится к ферромагнитным элементам и обычно присутствует в земной коре в сочетании с кислородом и серой в виде оксидов и сульфидов. В сочетании с другими элементами никель может присутствовать в почве, метеоритах и выделяться из вулканов. Около восьми миллиардов тонн никеля находится в море [91]. Благодаря своим уникальным физическим и химическим свойствам никель используется в современной металлургии в самых разных металлургических процессах, таких как производство сплавов, гальваника, производство никель-кадмиевых батарей и в качестве катализатора в химической и пищевой промышленности. Широкое распространение продуктов, содержащих этот металл, неизбежно приводит к загрязнению окружающей среды никелем и его вторичными продуктами на всех этапах производства, переработки и утилизации [92].

**Железо (Fe)** – является самым распространенным (по массе, 34,6%) элементом на Земле. Концентрация железа в различных слоях земли колеблется от высокой во внутреннем ядре Земли до примерно 5% во внешней коре. Большая часть железа содержится в различных оксидах железа, таких как минералы гематит, магнетит и таконит. Считается, что земное ядро состоит в основном из металлического сплава железа и никеля. Мировое производство железа составляет более 500 миллионов тонн в год, а переработанное железо

добавляет еще 300 миллионов тонн. Экономически обоснованные запасы железных руд превышают 100 млрд тонн. Основными странами добычи являются Китай, Бразилия, Австралия, Россия и Украина, при этом значительные объемы добываются в США, Канаде, Венесуэле, Швеции и Индии [92].

**Марганец (Mn)** – имеет природное происхождение и содержится в камнях, почве и воде. Главный источник марганца в атмосфере – породы земной коры. Вулканическая активность, океанские брызги, растительность и лесные пожары, являются другими природными атмосферными источниками марганца [93].

Марганец является пятым по содержанию металлом в земной коре 0,1%. Его минералы широко распространены, среди них наиболее распространены пиролюзит (диоксид марганца) и родохрозит (карбонат марганца). Известно более 460 минералов, содержащих марганец. Основные места добычи марганца находятся в Китае, Африке, Австралии и Габоне [84, 93].

**Ванадий (V)** – атомный номер 23, молекулярная масса 50,94, представляет собой металлический элемент, естественно присутствующий в земной коре в средней концентрации около 100 ppm. Известно, что по крайней мере, пятьдесят различных минералов содержат ванадий. Существенные количества ванадия также присутствуют в сырой нефти. Элемент также содержится в фосфатных породах, в некоторых железных рудах и горючих сланцах [84, 86].

**Титан (Ti)** – девятый по распространенности элемент в земной коре (0,63% по массе), присутствует в большинстве вулканических пород и в отложениях, полученных из них. Важными минералами титана являются рутил, брукит, анатаз, ильменит и титанит [84]. Основная добываемая руда, ильменит, встречается в виде обширных залежей песка в Западной Австралии, Норвегии, Канаде и Украине. Крупные месторождения рутила в Северной Америке и Южной Африке также вносят значительный вклад в мировые поставки титана.

Мировое производство металла составляет около 90 000 тонн в год, диоксида титана – 4,3 миллиона тонн в год.

Диоксид титана  $TiO_2$  обычно находится в черной или коричневатой форме, известной как рутил. В природе реже встречаются анатасит и брукит. И чистый рутил, и чистый анатасит белые. Черный основной оксид  $FeTiO_3$  находится в естественной форме в виде природного минерала, называемого ильменитом; это основной коммерческий источник титана [89].

Резкий рост уровня загрязнения природной среды – атмосферы, воды, почвы происходит с развитием промышленности, энергетики и транспорта, и интенсивной разработки полезных ископаемых и активной химизации сельского хозяйства. Миграция ТМ в компонентах экосистем зависит от природных факторов и от интенсивности и характера техногенеза [94].

В почву загрязнители (составляющих ТМ) попадают следующим путем:

1. ТМ и другие загрязняющие вещества (ЗВ) в почву поступают с атмосферными осадками. При работе промышленных предприятий и транспорта – ЗВ эмитирует в атмосфере.

2. ЗВ осаждаются в виде аэрозолей или пыли. При сухой погоде, твердые частицы и жидкие соединения осаждаются на почве. Почва также способна поглощать газообразные соединения.

3. ЗВ поступают на поверхность почвы с опавшей растительностью. При любых погодных условиях ЗВ оседают на поверхности растений или активно поглощаются через листья устьицами. При листопаде они вновь поступают в почву [89].

В окружающую среду ТМ попадают из разных источников, которые можно подразделить на природные и антропогенные.

Естественными источниками тяжелых металлов являются:

- ветровая эрозия почв и горных пород – Co, Zn, Ni, Se, Mo, Sb, Hg, Pb;
- вулканическая деятельность – Cu, Ni, Cu, As, Cd, Pb;
- термальные воды, испарения с поверхности морей и океанов – V, Cu, As, Se, Br, Sr, Pb;

- биологические процессы: транспирация растений, процессы микробиологического метилирования – Mn, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sb, Hg, Pb;
- космическая пыль [89, 84, 86, 87].

Техногенные источники поступления ТМ в природную среду весьма разнообразны. К наиболее важным источникам относят:

- металлообрабатывающие предприятия – Cr, Ni, Zn, Cd, Da, Hg, Pb и др.;
- предприятия цветной и черной металлургии – V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Hg, Pb и др.;
- автотранспорт – Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Cd, Sn, Pb и др.;
- электростанции –Be, Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Zr, Cd, Sn, Hg, Pb и др.;
- производство удобрений, отходы животноводческих комплексов – Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb и др.;
- предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов – Cr, Mn, Cu, Zn, Sr, Cd, Ba;
- бытовой мусор – Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb [95, 96].

Приоритетными загрязнителями почвенного покрова являются Zn, As, Cd, Hg, Pb, так как их техногенное накопление идет высокими темпами.

## ГЛАВА II. ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Методика отбора проб АА и почв

Целью элементного анализа является определение количества конкретного элемента в молекуле или материале. Элементный анализ можно разделить на два направления: 1) Качественный: определение присутствующих элементов или наличия определенного элемента. 2) Количественный: определение количества каждого отдельного элемента. Отбор, пробоподготовка, химический анализ (измерение аналитического сигнала в зависимости от содержания исследуемых компонентов в пробе), статистическая обработка результатов анализа являются последовательными стадиями анализа состава проб. Подготовка проб включает в себя два этапа. Первый – это получение пробы определенной массы и размера; на этом этапе образцы измельчаются и просеиваются через сито размером 1 мм. Вторым этапом подготовки является доведение пробы до состояния, необходимого для анализа с помощью аналитического прибора; операциями на этом этапе являются вскрытие пробы, разделение и концентрирование компонентов. Затем образцы переносятся в специальные кюветы, которые имеют разную форму и изготовлены из разных материалов в зависимости от цели исследования.

Для исследования элементного состава проб АА и почв южной и центральной частей Таджикистана проводились сборы проб АА и почв почты во всех районах и городах этой местности, особенно по территории Айваджа и города Душанбе. Для анализа элементного состава АА и почв пробы, в основном, собирают путем естественного осаждения или с помощью аспирационных установок [97, 98].

**Пробы АА.** Пробы пылевого аэрозоля и почвы собирались после каждого пылевого вторжения в исследуемую территорию. Пробы аэрозоля отбирались естественным осаждением на полиэтиленовой пленке (10x10) м<sup>2</sup> или на пластиковых ванночках размером (85x45 см) по стандартной методике [99, 100]. Стеклянные флаконы с пробами отправлялись в лабораторию. Образцы

очищались от примесей и измельчались до порошкообразного вида и просеиванием через сито отбирались частицы менее 1 мм. Образец запрессовывали в кювету, покрывали пленкой полиэтилентерефталата и проводили измерения (по девять образцов одновременно).

**Пробы почв.** Отбирался верхний (1-2 см) слой почвы с площадки 40x40 см<sup>2</sup> [101]. Фиксировались координаты места сбора, проба упаковывалась в пластиковый или стеклянный сосуд. Образцы очищались от примесей и измельчались до порошкообразного вида и просеиванием через сито отбирались частицы менее 1 мм.

Элементный анализ проб проводился по стандартной методике [100] в лаборатории физики атмосферы ФТИ методом рентгенофлуоресцентного анализа [102]. Измерение содержание тяжелых металлов, опасных по степени воздействия на живые организмы проводилось согласно ГОСТу 17319-2019 «Реактивы. Методы определения примеси тяжелых металлов».

Использовалась разработанная и аттестованная Госстандартом РФ «Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа» [103], для анализа проб на содержание металлов и оксидов. С помощью волно-дисперсионного сканирующего спектрометра "СПЕКТРОСКАН МАКС G", имеющем сканирующий канал модели «G», реализована методика анализа объектов ОС [104, 105].



## 2.2. Характеристика объектов исследования

**Таблица 2.2.1.** - Координаты мест отбора проб АА южной и центральной частей Таджикистана

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
	2	3	4	5	6
12	03-30.11.2007.	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
13	15.08. 2008.	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
14	16.09.2009.	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
15	25.09.2009.	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
21	17.03.10.	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
22	19.03.10.	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
23	13-21.11.2007.	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
24	23.11.2007	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
25	04-15.08.2008	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
26	26-28.05.2009.	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
27	25-30.08.2009.	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
28	29.08.2009	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
32	24.05.-28.05.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
33	31.05.-14.06.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
34	09.07.-13.07.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
35	19.07.-23.07.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
39	23.08.-25.08.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
40	12.09.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
41	16.09.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
42	08.10.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
43	08.10.2010	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
44	22-4.10.2010	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
45	11.10.-15.10.2010	Душанбе	36°58'42"	68°01'24"	319
46	19.10.-23.10.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
47	01.12.-05.12.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
48	13.12.-17.12.2010	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
49	13.12.-17.12.2010	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
50	12.03.-16.03.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
51	01.04.-05.04.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
52	14.04.-`6.04.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
53	26.04.-30.04.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
54	02.05.-06.05.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
55	08.05.-12.05.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319

**Таблица 2.2.2.** - Координаты мест отбора проб АА южной и центральной частей Таджикистана

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
	2	3	4	5	6
56	14.05.-21.05.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
57	19.05.-21.05.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
58	29.05.-02.06.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
59	25.06.-27.06.2011	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
60	16.06.-17.06.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
61	25.06.-27.06.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
62	14-16.07.2011	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
63	11-16.07.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
64	08.08.-2011	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
68	26 -27.08.2011	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
69	13.09.-17.09.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
70	02.10.-09.10.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
72	08.08.-09.08.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
73	25.08.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
74	27.08.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
75	13-15.09.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
76	03.10.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
77	05.10.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
78	20.10.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
79	26.10.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
80	05.11.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
120	05.11.2011	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
122	09.06.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
123	23.06.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
124	07.08.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
125	15.10.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
127	20.10.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
128	18.11.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
129	01.12.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
130	14.12.2013	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
157	25.09.2014	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
158	06.10.2014	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
159	21.10.2014	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
160	27.10.2014	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319

**Таблица 2.2.3. - Координаты мест отбора проб АА южной и центральной частей Таджикистана**

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
1	2	3	4	5	6
194	04.07.2015	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
195	19-23.07.2015	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
196	06-10.08.2015	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
197	10.09.2015	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
198	12.09.2015	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
199	19.09.2015	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
204	16.01.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
205	01.03.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
206	01.04.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
207	06-10.04.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
208	14-18.04.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
210	02.06.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
211	03.06.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
212	10.06.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
213	14.06.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
214	27.06.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
220	14-07.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
221	27-.07.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
222	28-07.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
223	30.09.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
224	17.10.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
225	18.10.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
226	03.11.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
227	09.11.2016	Айвадж	36°58'45,5"	68°01'24"	311
228	21.04.2017	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
229	19.08.2017	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
230	02.04.2018	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
231	03.07.2019	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
232	12.08.2019	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
233	23.09.2019	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
234	17.04.2020	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
235	25.04.- 02.05.20	Майхура	39°2'10"	68°45'47"	1927

**Таблица 2.2.4. - Координаты мест отбора проб АА южной и центральной частей Таджикистана**

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
1	2	3	4	5	6
236	25.04.-02.05.20	Зидди	39°1'36"	68°47'14"	1900
237	25.04.-02.05.20	Варзоб	39°1'31"	68°47'7"	1823
238	25.04.-02.05.20	Хушёри	38°52'20"	68°49'57"	1350
239	25.04.-02.05.20	Варзоб	38°42'40"	68°47'30"	949
240	25.04.-02.05.20	Аквапарк	38°59'72"	68°77'50"	829
241	25.04.-02.05.20	Местопоезд	38°33'11"	68°46'6"	753
242	25.04.-02.05.20	Гулбутта	38°28'42"	68°46'22"	685
243	01-07.07.2020	Майхура	39°2'10"	68°45'47"	1927
244	01-07.07.2020	Зидди	39°1'36"	68°47'14"	1900
245	01-07.07.2020	Варзоб	39°1'31"	68°47'7"	1823
246	01-07.07.2020	Хушёри	38°52'20"	68°49'57"	1350
247	01-07.07.2020	Дахана	38°42'6"	68°47'24"	962
248	03.07.2021	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
249	25.09.2021	Душанбе	38°33'11"	68°51'28"	821
250	27.05.2022	Душанбе (ФТИ,полигон)	38°33'12"	68°51'26"	817
251	04.07.2022	Душанбе (ФТИ,полигон)	38°33'12"	68°51'26"	817

**Таблица 2.2.5. - Координаты мест отбора проб почв южной и центральной частей Таджикистана**

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
1	3	2	4	5	6
1	1-20.09.2009	Айвадж	36°58'42"	68°01'11"	319
2	2-20.09.2009	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
3	3-20.09.2009	Шаартуз	37°00'58"	68°03'28"	324
4	4-20.09.2009	Кубодиён	37°39'44"	68°08'38"	507
5	5-20.09.2009	Кубодиён	37°39'44"	68°08'38"	508
6	6-20.09.2009	Гиссар	38°29'18"	68°39'18"	749
7	7-20.09.2009	Душанбе	38°33'12"	68°51'37"	866
8	8-20.09.2009	Душанбе	38°34'04"	68°51'24"	895
10	10-15.06.2010	ТАЛКО, восточная часть	38°30'30"	68°13'30";	680
11	11-15.06.2010	ТАЛКО, западная часть	38°30'30"	68°16'23"	700
16	16-02.07.2011	Айвадж	36°58'37"	68°01'15"	403
17	17-02.07.2011	Шаартуз	37°18'32"	68°09'02"	364
18	18-02.07.2011	Кубодиён	37°8'14"	68°20'31"	513
18a	18a-02.07.2011	Кубодиён	37°51'20"	68°36'38"	514
19	19-02.07.2011	Хоросан	37°51'20"	68°36'22"	398
20	20-02.07.2011	Фахрабад	38°20'50"	68°42'55"	1159
29	9-02.07.2011	Душанбе	38°32'36"	68°51'25"	801
30	02.07.2011	Душанбе	38°36'41"	68°47'21"	898
31	02.07.2011	Термез	37°13'01"	67°16'58"	300
71	12.09.2011	Душанбе	38°34'04"	68°51'24"	895
81	15.10.2013	Варзоб	38°36'41"	68°47'21"	960
82	15.10.2013	Дахана	38°38'65"	68°46'03"	962
115	10.12.2013	Чоряккорон	40°13'96"	69°33'29"	866
116	10.12.2013	Гиссар	38°33'70"	68°28'78"	860
117	10.12.2013	ТАЛКО, восточная часть	38°32'33"	68°14'28"	754
118	10.12.2013	ТАЛКО, западная часть	38°32'33"	68°14'28"	754
119	10.12.2013	Турсунзаде	38°31'55"	68°12'57"	736

**Таблица 2.2.6. - Координаты мест отбора проб почв южной и центральной частей Таджикистана**

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
1	3	2	4	5	6
147	06.08.2014	Чоряккорон	40°13'96"	69°33'29"	866
148	06.08.2014	Гиссар	38°33'70"	68°28'78"	860
149	06.08.2014	ТАЛКО, восточная	38°32'33"	68°14'28"	754
150	06.08.2014	1км восточная часть ТАЛКО,	38°32'33"	68°14'28"	754
151	06.08.2014	ТАЛКО, южная часть	38°32'33"	68°14'28"	754
152	06.08.2014	1 км юго-восток ТАЛКО,	38°32'33"	68°14'28"	754
153	06.08.2014	Турсунзаде	38°31'55"	68°12'57"	736
154	06.08.2014	0,5км северо-запад ТАЛКО	38°32'33"	68°14'28"	754
155	06.08.2014	0,5 км от северной части ТАЛКО	38°32'33"	68°14'28"	754
156	06.08.2014	0,5км северо-восток ТАЛКО	38°32'33"	68°14'28"	754
172	18.07.2015	Чоряккорон	40°13'96"	69°33'29"	866
173	18.07.2015	Гиссар	38°33'70"	68°28'78"	860
174	18.07.2015	ТАЛКО, восточная часть	38°32'33"	68°14'28"	754
175	18.07.2015	1км восточная часть ТАЛКО,	38°32'33"	68°14'28"	754
176	18.07.2015	ТАЛКО южная часть	38°32'33"	68°14'28"	754
177	18.07.2015	1 км юго-восток ТАЛКО,	38°32'33"	68°14'28"	754
178	18.07.2015	Турсунзаде	38°31'55"	68°12'57"	736
179	18.07.2015	0,5 км северная часть ТАЛКО	38°32'33"	68°14'28"	754
180	18.07.2015	0,5км северо-восток ТАЛКО	38°32'33"	68°14'28"	754
181	26.07.2015	Фахрабад	38°20'50"	68°42'55"	1159
182	26.07.2015	Хоросан	37°51'20"	68°36'22"	398
183	26.07.2015	Джиликул			

**Таблица 2.2.7. - Координаты мест отбора проб почв южной и центральной частей Таджикистана**

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
1	3	2	4	5	6
184	26.07.2015	Кубодиён	37°39'44"	68°08'38"	507
185	26.07.2015	Кубодиён, Белые холмы	37°39'44"	68°08'38"	507
186	26.07.2015	Кубодиён, Красные холмы	37°39'44"	68°08'38"	508
187	26.07.2015	Шааргуз	37°00'58"	68°03'28"	324
188	26.07.2015	Айвадж, Метеостанция	36°58'42"	68°01'11"	319
189	26.07.2015	Айвадж, пустыня	36°58'42"	68°01'24"	319
190	26.07.2015	Айвадж	36°58'42"	68°01'24"	319
191	26.07.2015	Вахш	37°40'46"	68°50'05"	429
200	05.02.2016	ТЭЦ-1	38°32'47"	68°47'08"	783
201	05.02.2016	ТЭЦ-2	38°36'34"	68°46'22"	803
202	05.02.2016	Цементный завод	38°38'29"	68°46'17"	923
203	12.02.2016	ТЭЦ-1	38°32'47"	68°47'08"	783
209	26.05.2016	Шааргуз	37°18'32"	68°09'02"	364
215	05.06.2016	Шааргуз	37°18'32"	68°09'02"	364
216	12.07.2016	Шааргуз	37°18'32"	68°09'02"	364
217	13.05.2018	Душанбе (Аэропорт)	38°32'55"	68°48'51"	790
218	13.05.2018	Душанбе (Аэропорт)	38°32'55"	68°48'51"	790
219	26.08.2019	Душанбе (Цирк)	38°33'26"	68°45'26"	791
220	26.08.2019	Душанбе	38°36'11"	68°46'58"	875
221	05.07.2019	Душанбе (ФТИ, полигон)	38°33'12"	68°51'26"	817
222	02.07.2019	Душанбе (Саховат)	38°31'09"	68°45'40"	753
223	02.07.2019	Душанбе (западная часть)	38°35'04"	68°43'06"	849
224	02.07.2019	Душанбе (центр)	38°34'16"	68°47'26"	831
225	02.07.2019	Душанбе (Цемзавод)	38°38'29"	68°46'17"	931
226	26.08.2019	Душанбе (западная часть)	38°35'10"	68°42'52"	851
227	27.08.2020	Душанбе (западная часть)	38°34'49"	68°41'31"	870
228	27.08.2020	Душанбе (МКБ)	38°33'29"	68°46'23"	793

**Таблица 2.2.8.** - Координаты мест отбора проб почв южной и центральной частей Таджикистана

Номер пробы	Дата	Место сбора	Широта	Долгота	Высота
1	3	2	4	5	6
229	27.08.2020	Душанбе (Парк Фирдавси)	38°31'19"	68°45'20"	754
230	27.08.2020	Душанбе (Саховат)	38°31'4"	68°45'39"	753
231	27.08.2020	Душанбе (Корвон)	38°30'24"	68°45'24"	742
232	27.08.2020	Душанбе (восточ. часть)	38°28'7"	68°44'27"	437
233	27.08.2020	Душанбе (южная часть)	38°31'48"	68°46'28"	765
234	27.08.2020	Душанбе (южная часть)	38°32'22"	68°45'49"	773
235	27.08.2020	Душанбе (МЖК)	38°33'38"	68°44'24"	
236	27.08.2020	Душанбе (Цемзавод)	38°38'29"	68°46'18"	931
237	27.08.2020	Душанбе(северная часть)	38°36'30"	68°47'15"	882
238	27.08.2020	Душанбе (ТЭЦ - 2)	38°36'35"	68°46'23"	1011
239	27.08.2020	Душанбе (Аэропорт)	38°33'48"	68°48'17"	790
240	27.08.2020	Душанбе (Цемзавод)	38°38'29"	68°46'18"	931
241	27.08.2020	Душанбе (восточная часть)	38°33'2"	68°52'54"	860
229	27.08.2020	Душанбе (Парк Фирдавси)	38°31'19"	68°45'20"	754
242	27.08.2020	Душанбе (ПКК)	38°34'4"	68°47'46"	828
243	27.08.2020	Душанбе (Садбарг)	38°38'29"	68°46'18"	817
244	27.08.2020	Душанбе (Текстиль)	38°33'41"	68°46'50"	785
245	13.04.2021	Душанбе (южная часть)	38°30'23"	68°45'22"	742
246	13.04.2021	Душанбе (Текстиль)	38°33'10"	68°46'47"	785
247	05.11.2021	Душанбе (Текстиль)	38°33'10"	68°46'47"	785
248	13.04.2021	Душанбе (южная часть)	37°50'22"	68°48'26"	437
249	13.04.2021	Душанбе (МКБ)	38°33'29"	68°46'23"	793
250	13.04.2021	Душанбе (ПКК)	38°34'76"	68°47'46"	828
251	05.11.2021	Душанбе (ПКК)	38°34'76"	68°47'46"	828
252	13.04.2021	Душанбе (южная часть)	38°32'30"	68°45'06"	773



### **2.3. Методы исследования элементного состава аэрозоля и почв**

Для определения элементного состава атмосферной пыли и почв используются различные физико-химические методы и более эффективными считаются фотометрический, рентгенофлуоресцентный, нейтронно-активационный атомно-абсорбционный, атомно-эмиссионный и масс-спектральный [95, 96].

*Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА)* – один из наиболее эффективных методов анализа, который позволяет за минимальный период времени получить полную и достоверную информацию об элементном составе сложных образцов независимо от их агрегатного состояния и происхождения. Метод позволяет одновременно определять более 80 элементов от бора до урана. Достоинством метода РФС, является возможность получения данных о составе сложного материала без его разрушения, с сохранением полного комплекса его физико-химических свойств [106].

РФА основан на зависимости концентрации элемента в образце от интенсивности рентгеновской флуоресценции. Образец бомбардируется мощными потоками электронов рентгеновских излучений и возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое пропорционально их концентрации в образце, при этом каждый атом испускает фотон со строго определенной энергией. После возбуждения спектр регистрируется на детекторе, потом по пикам полученного спектра можно определить, из каких элементов состоит данный образец. Для определения количественного содержания спектр неизвестного вещества сравнивается со спектрами, полученными при облучении стандартных образцов [107, 108].

Наблюдаемые методологические и технологические достижения в области рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в последние годы сделали возможным элементный анализ практически всех типов материалов, в том числе экологического происхождения [109].

Анализ взвешенных в воздухе твердых частиц или аэрозолей является одним из основных функций рентгенофлуоресцентного анализа, который

широко используется в течение двух десятилетий, в том числе для официального мониторинга. На эту тему есть сотни публикаций, каждый год по 50 или около того все еще появляются в литературе, и было опубликовано несколько обширных обзоров. РФА аэрозолей обычно выполняются в контексте мониторинга токсичных тяжелых металлов [107]. Следует также понимать, что значительная часть тяжелых металлов в почве, а значит, и в продуктах питания и питьевой воде, происходит из перенесенных по воздуху осажённых тяжелых металлов. Более того, некоторые микроэлементы в аэрозолях могут служить индикатором загрязнения воздуха; например, Рb происходит от свинцового бензина или металлургической деятельности, V и Ni связаны со сжиганием дизельного топлива, Fe, Ti и Si – относятся к почве или летучей золе, Na и Cl указывают на морскую соль [110]. Все это является достаточным основанием для мониторинга аэрозолей и для этого РФА действительно превосходит [111].

#### **2.4. Экспериментальная установка для измерения содержания тяжелых металлов в атмосферном аэрозоле и почв**

Для получения объективной информации о состоянии и об уровне загрязнения объектов окружающей среды нужны надёжные средства и методы экологического контроля.

К числу приоритетных экологических проблем современности относится загрязнение атмосферного воздуха и почв тяжелыми металлами. Существует различные экспериментальные методы контроля загрязнения атмосферы и почв тяжелыми металлами; подходы к мониторингу и оценке степень загрязненности почв и воздуха значительно различаются и меняются со временем. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) – это аналитический метод, использующий взаимодействие рентгеновских лучей с материалом для определения его элементного состава. РФА подходит для твердых веществ, жидкостей и порошков и в большинстве случаев является неразрушающим, этот метод также используют для определения элементного состава пылевого аэрозоля и проб почв.

В ходе нашего исследования использовалась эффективный экспериментальный прибор: волно-дисперсионный рентгено-флуоресцентный спектрометр «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» (ООО «СПЕКТРОН», г. Санкт-Петербург) [103,114]. С помощью этой установки определяется элементный состав порошкообразных образцов.



**Рисунок 2.4.1.** - Внешний вид волно-дисперсионного рентгено-флуоресцентного спектрометра модели «СПЕКТРОСКАН МАКС-G»

Пробы помещали в спектрометр в специальные обоймы и кюветы, входящие в комплект прибора [105]. При этом используются: зажим с крышкой; кювета для порошка с прижимным кольцом; фильтровальная кювета с рамкой; адаптер; лавсановая пленка (полиэтилентерефталатный ПЭТ, толщиной 6 мкм).

Спектрометр позволяет одновременно исследовать 10 проб, в том числе контрольной. Дальнейшая обработка происходит автоматически с выводом результатов на компьютер.

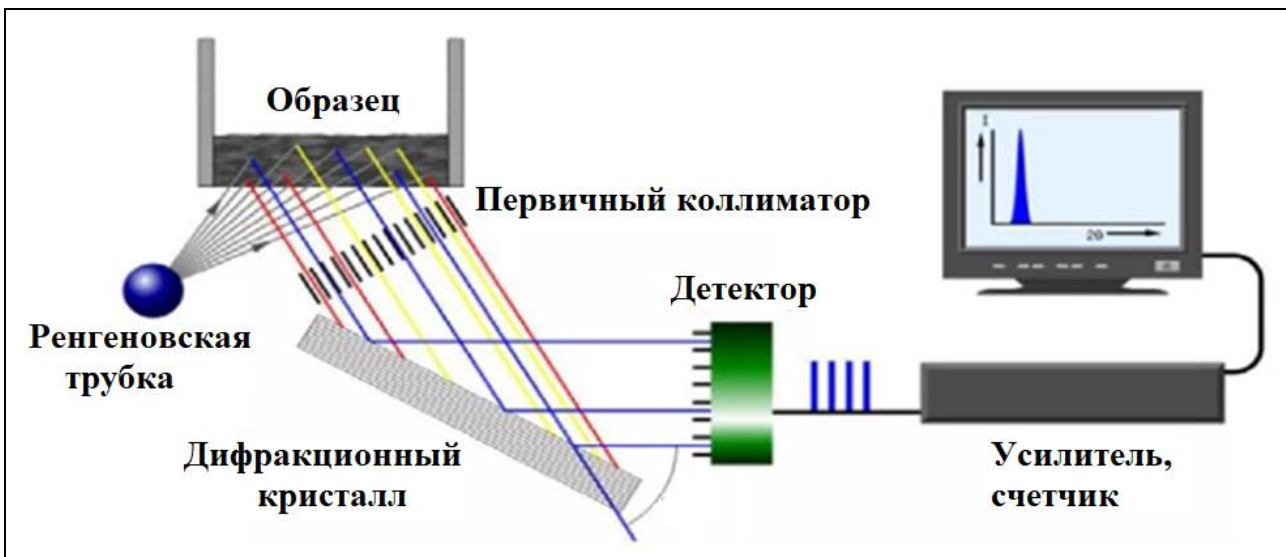


Рисунок 2.4.2. - Схема рентгено-флуоресцентного спектрометра

## 2.5. Статистические методы анализа содержания ТМ в составе атмосферной пыли и почв

Для понимания уровней разброса концентрации ТМ, выявления взаимосвязи между ними и обнаруживания возможных источников, использовались статистические методы анализа.

Для расчёта средних содержаний элементов использовалась следующая формула:

$$\langle C \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (2.1)$$

где,  $C_i$ - концентрация элемента в пробах,  $n$ - количество проб.

Уровень разброса содержания ТМ определились с помощью медианы, асимметрии, стандартного отклонения и доверительного интервала:

$$\text{Медиана} = \frac{n+1}{2} \quad (2.2)$$

Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) концентрации металлов определялся с помощью формулы (2.3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \langle C \rangle)^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

где,  $\langle C \rangle$  – средняя концентрация, а  $C_i$  и  $n$  имеют тот же смысл, что и в уравнение (1). Низкое стандартное отклонение обозначает, что концентрация

элементов близки среднему значению, в то время как высокое стандартное отклонение указывает на то, что концентрации разбросаны по более широкому диапазону.

Доверительный интервал с вероятностью 95% определялся с помощью формулы (2. 4):

$$\Delta = t_c \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2. 4)$$

где,  $t_c$  – коэффициент Стьюдента,  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  – погрешность измерения.

Ещё одной мерой, используемой в статистике, является асимметрия, которая помогает выявить асимметрию распределения вероятностей. Она может быть как положительной, так и отрицательной. Положительная асимметрия означает, что концентрации ТМ положительно смещены в сторону более низких значений, в то время как отрицательная указывает, что концентрация элементов положительно смещены в сторону высоких значений. Формула асимметрии определялся следующим образом:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \langle C \rangle)^3}{(n - 1)\sigma^3} \quad (2.5)$$

где,  $\langle C \rangle$  – средняя концентрация ТМ,  $\sigma$  – стандартное отклонение,  $C_i$  и  $n$  имеют тот же смысл, что и в уравнениях (2. 1) и (2. 3).

Коэффициент корреляции ( $r$ ) показывает тесноту линейной взаимосвязи между концентрациями ТМ и изменяется в диапазоне от -1 до 1. Эти взаимосвязи дают очень полезную информацию об источниках и путях поступления металлов в любую систему.

$$r = \frac{\sum (C_{x_i} - \langle C_x \rangle)(C_{y_i} - \langle C_y \rangle)}{\sqrt{\sum (C_{x_i} - \langle C_x \rangle)^2 \sum (C_{y_i} - \langle C_y \rangle)^2}} \quad (2.6)$$

где,  $C_x$  – концентрация одного элемента, а  $C_y$  – соответственно концентрация другого.

## 2.6. Методы оценки индексов загрязнения

Существует несколько методов и показателей, которые используются для комплексной оценки загрязнения пыли тяжелыми металлами. Широко используются индексы геоаккумуляции, фактор загрязнения, индекс нагрузки загрязнения, экологический риск и индекс риска. Эти индексы рассчитываются по отношению к фоновым значениям тяжелых металлов, встречающихся в естественных условиях в отложениях и почве.

*Коэффициент вариации (CV)* концентрации элемента может отражать изменчивость, а также влияние деятельности человека в загрязнении; высокое значение CV предполагает большее антропогенное вмешательство [112]. Рассчитывается по следующей формуле:

$$CV = \frac{\sigma}{\langle C \rangle} \quad (2.7)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение ТМ, а  $\langle C \rangle$  – среднее содержание ТМ в пробах. По данным [95],  $CV \leq 0,15$  указывает на низкую вариацию,  $0,15 < CV < 0,35$  указывает на умеренную вариацию, а  $CV > 0,35$  соответствует высокой вариации.

*Индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ )* сравнивает существующее содержание тяжелых металлов в собранные образцы с фоновыми значениями и указывает на уровень загрязнения, который следует учитывать. Его рассчитывают по следующей формуле [113,114]:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_i}{1,5 \times B_i} \right) \quad (2.8)$$

где  $C_i$  – средняя концентрация тяжелого металла в пробах,  $B_i$  – фоновая концентрация ТМ. Поскольку соответствующий расчет  $I_{geo}$  зависит от выбора значения фона ( $B_i$ ) [115], в качестве фоновых значений, использовались минимальные концентрации ТМ. Согласно [116], значения  $I_{geo}$  разделяют на семь групп:  $I_{geo} \leq 0$  = «незагрязненный»;  $0 < I_{geo} \leq 1$  = «от незагрязненных до умеренно загрязненных»;  $1 < I_{geo} \leq 2$  = «умеренно загрязненный»;  $2 < I_{geo} \leq 3$  =

«загрязнение от умеренного до сильного»;  $3 < I_{\text{гео}} \leq 4 =$  «сильно загрязненный»;  $4 < I_{\text{гео}} \leq 5 =$  «сильно и чрезвычайно загрязненный»; и  $I_{\text{гео}} > 5 =$  «чрезвычайно загрязнен».

**Фактор загрязнения (ФЗ)** – это отношение концентрации тяжелого металла в аэрозоле к его фоновой концентрации. ФЗ - рассчитывается по следующему уравнению:

$$\text{ФЗ} = \frac{C_i}{B_i} \quad (2.9)$$

где  $C_i$  — концентрация  $i$ -го тяжелого металла в пробах пыли и почвы, а  $B_i$  - фоновое значение тяжелых металлов. По классификации ФЗ:  $\text{ФЗ} < 1$  – это «низкое загрязнение»;  $1 < \text{ФЗ} < 3$  – «умеренное загрязнение»;  $3 < \text{ФЗ} < 6$  – «значительное загрязнение» и  $\text{ФЗ} > 6$  – «очень сильное загрязнение» [117].

**Индекс нагрузки загрязнения (ИНЗ)** дает представление о кумулятивной нагрузке загрязнения. ИНЗ рассчитывается по формуле (2. 10):

$$\text{ИНЗ} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n C_i / B_i} \quad (2.10)$$

где  $C_i$  и  $B_i$  имеют тот же смысл, что и в уравнениях 1 и 2.  $\text{ИНЗ} \leq 1$  указывает на отсутствие загрязнения,  $1 < \text{ИНЗ} \leq 2$  – загрязнение от нулевого до умеренного,  $2 < \text{ИНЗ} \leq 3$  – умеренное загрязнение,  $3 < \text{ИНЗ} \leq 4$  – загрязнение от умеренного до высокого,  $4 < \text{ИНЗ} \leq 5$  – высокое загрязнение,  $\text{ИНЗ} > 5$  – очень высокое загрязнение [96, 118].

**Экологический риск (ЭР)** используется для количественного выражения потенциального экологического риска данного загрязняющего вещества на исследуемой территории; экологический риск рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{ЭР} = T_i \times \text{ФЗ} \quad (2.11)$$

где  $T_i$  – токсичность металла для окружающей среды, а ФЗ – фактор загрязнения. Значения коэффициентов токсичности As, Pb, Ni, Co, Cu, Cr, V, Zn и Mn составляют 10, 5, 5, 5, 5, 2, 2, 1, 1 и 1, соответственно [96, 119].

Исходя из накопленных факторов риска, уровни загрязнения классифицируются следующим образом:  $\text{ЭР} < 40$  - «низкий потенциальный

экологический риск»;  $40 \leq \text{ЭР} < 80$  – «средний потенциальный экологический риск»;  $80 \leq \text{ЭР} < 160$  – «значительный потенциальный риск»;  $160 \leq \text{ЭР} < 320$  – «высокий экологический потенциальный риск»;  $\text{ЭР} > 320$  – «очень высокий потенциальный риск» [119].

**Индекс риска (ИР)** определяется значениями потенциального риска всех тяжелых металлов, а коэффициент загрязнения рассчитывается по следующей формуле [119]:

$$\text{ИР} = \sum_{i=1}^n \text{ЭР} \quad (2.12)$$

где  $n$  – количество изучаемых элементов, а  $i$  – указывает  $i$ -й элемент. На основании [120] значения ИР сгруппированы в пять рангов, т. е.  $\text{ИР} < 150$  – «низкий экологический уровень риска»;  $150 < \text{ИР} < 300$  – «умеренный экологический риск»;  $300 < \text{ИР} < 600$  – «значительный экологический риск»;  $\text{ИР} > 600$  – «очень высокий экологический риск» [121].

## **2.7. Применение метода обратных траекторий воздушных масс в модели HYSPLIT для определения источников загрязнений**

Для интерпретации результатов мониторинга и при решении задач широко применяется визуальный анализ траекторий движения воздушных масс. Данные измерений содержания в атмосфере аэрозольных примесей сопоставляются с траекториями движения воздуха для выяснения происхождения, возможных источников и объяснения тех или иных характеристик загрязняющих веществ [122].

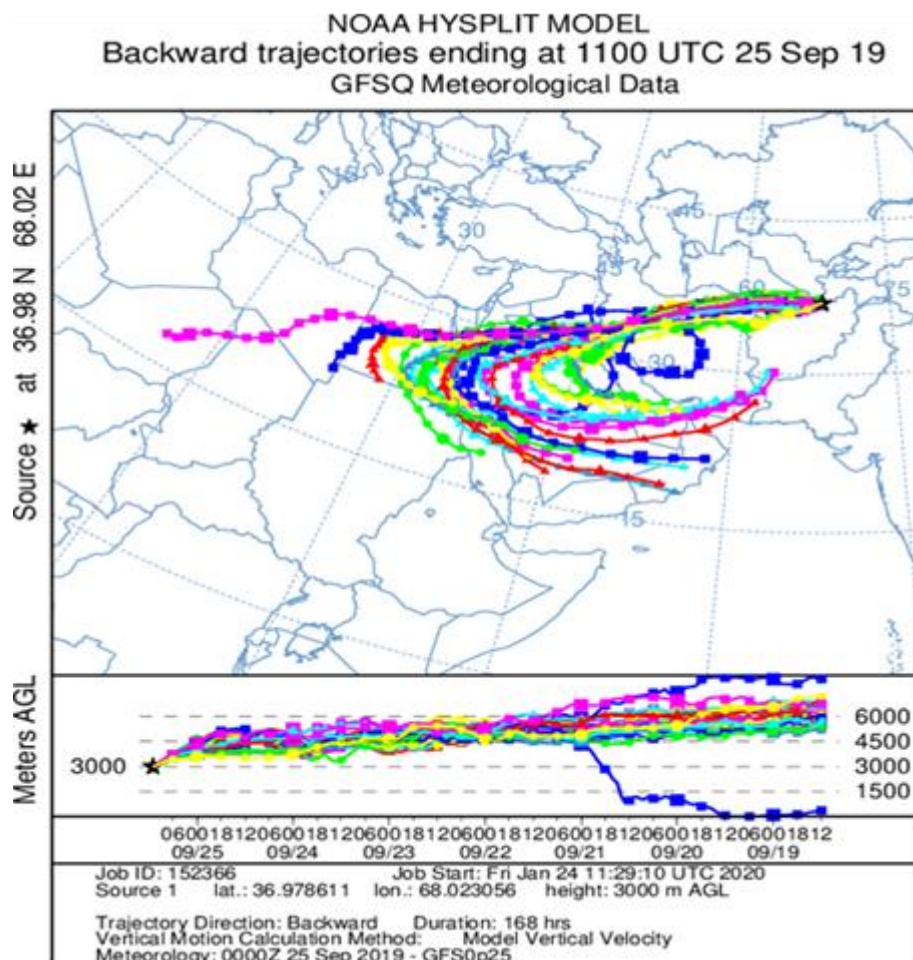
Анализ траекторий движения воздушных потоков получил широкое распространение благодаря появлению доступного интернет-сервиса для проведения расчетов с помощью модели HYSPLIT [123].

Траектория атмосферного переноса представляет наиболее вероятную историю движения предполагаемого загрязнителя по прошествии некоторого времени. Статистические методы для траекторий переноса воздушных масс позволяют проанализировать средние характеристики процессов циркуляции атмосферы [124]. Использование модели HYSPLIT для построения траекторий переноса воздушных масс для выявления возможных источников поступления



различных загрязнителей в окружающую среду часто упоминается в литературе [123].

Модель HYSPLIT – служит для расчета простых траекторий воздушных потоков, а также сложных симуляций переноса, химического преобразования и осаждения. HYSPLIT остаётся одной из наиболее широко используемых моделей атмосферного переноса и дисперсии. Часто используют анализ обратной траектории для определения происхождения воздушных масс и установления взаимосвязи "источник-рецептор". HYSPLIT также использовался при моделировании атмосферного переноса, рассеивания и осаждения загрязнителей и опасных материалов. В частности, проводят отслеживание и прогнозирование выбросов радиоактивных материалов, дыма от лесных пожаров, уносимой ветром пыли, загрязнителей из стационарных и мобильных источников выбросов аллергенов и вулканического пепла [123, 125].



**Рисунок 2.7.1.** - 168-часовая траектория движения ВМ от начальной точки 36.97 с.ш. 68.02 в.д. (Айвадж), высота 3000 м над уровнем земли

Под траекторией понимают набор последовательных положений ВМ за определённое время. Построение обратных траекторий ВМ позволяет определить, откуда занесены ЗВ в исследуемый регион. Для этого траектория откладывается от заданной точки против воздушного потока (способ обратного переноса) [126].

На рисунке 2.7.1 приведен пример расчета обратных траекторий воздушных масс, ансамбль траекторий начинаются за неделю до дня сбора проб аэрозоля с максимальным содержанием свинца на высоте 3000 м и заканчиваются в Айвадже в день максимального содержания свинца в составе атмосферного аэрозоля. Начальная дата запуска (25.09.19), координата точки 36.97 с. ш. 68.02 в. д., продолжительность 128 ч. и высота траекторий 3000 м.

## ГЛАВА III. ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ТМ В ПРОБАХ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ПОЧВ ЮЖНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА

### 3.1. Содержание As, Pb, Zn в атмосферном аэрозоле и почвах

Почти все виды тяжелых металлов являются токсичными для живых организмов и негативно влияют на здоровья человека, но среди них выделяют металлы, которые по степени токсичности являются особо опасными: ртуть, кадмий, цинк, мышьяк, свинец и др.

Они, в основном, попадают в организм человека из почвы через пищевую цепь и через дыхательные пути с атмосферным аэрозолем, доля второго пути очень мала – 2-3%, но осаждение металлов в организме значительное.

Загрязняющие вещества, содержащие тяжелые металлы, в почву попадают из выбросов промышленных предприятий и транспорта, а также с атмосферными осадками.

Во всех работах, исследующих ТМ, особое внимание уделяется изучению содержания свинца, мышьяка и цинка, относящихся к ТМ первого класса опасности в пробах АА и почв. За период исследования состава АА и почв с 2007 по 2022 г. по всей территории южной и центральной страны было проанализировано 244 пробы, из них 125 проб аэрозоля и 119 проб почв, собранных в различных районах южной и центральной частей страны, в частности, на территории Айваджа и города Душанбе.

#### 3.1.1. Содержание As, Pb, Zn в атмосферном аэрозоле

Высокое содержание свинца зафиксировано в пробах АА с территории Айваджа 07.04.2014 (231 ppm), 26.04.2014 (232,3 ppm) и 04.07.2014 (112 ppm). В пробах АА столичного района максимальное содержание Pb обнаружено 22.10.2013 (163,5 ppm) (рисунок 3.1.1). Минимальная концентрация свинца зафиксирована в пробе АА, собранной в Айвадже 09.11.2016 (1,8 ppm). Среднее содержание Pb составило 30 ppm, что превышает фоновое содержание в 17 раз.

На рисунке 3.1.2 представлены концентрация As и отношение среднего содержания мышьяка к фоновому в пробах АА южной и центральной частей

Таджикистана. Среднее содержание As составляет 23,8 ppm в пробах АА. Самое высокое содержание элемента 195 ppm, обнаружено в пробах из Айваджа 13.07.2010 г.. Максимальное значение больше регионального фона мышьяка в 74 раза, а отношение средней концентрации к фоновой равно 9. Низкое содержание этого элемента зафиксировано в Душанбе. В севере центральной части региона (Варзоб, Дахана, Хушёри, Майхура) содержание мышьяка равно 21 ppm, что близко к среднему содержанию элемента по всей исследуемой территории.

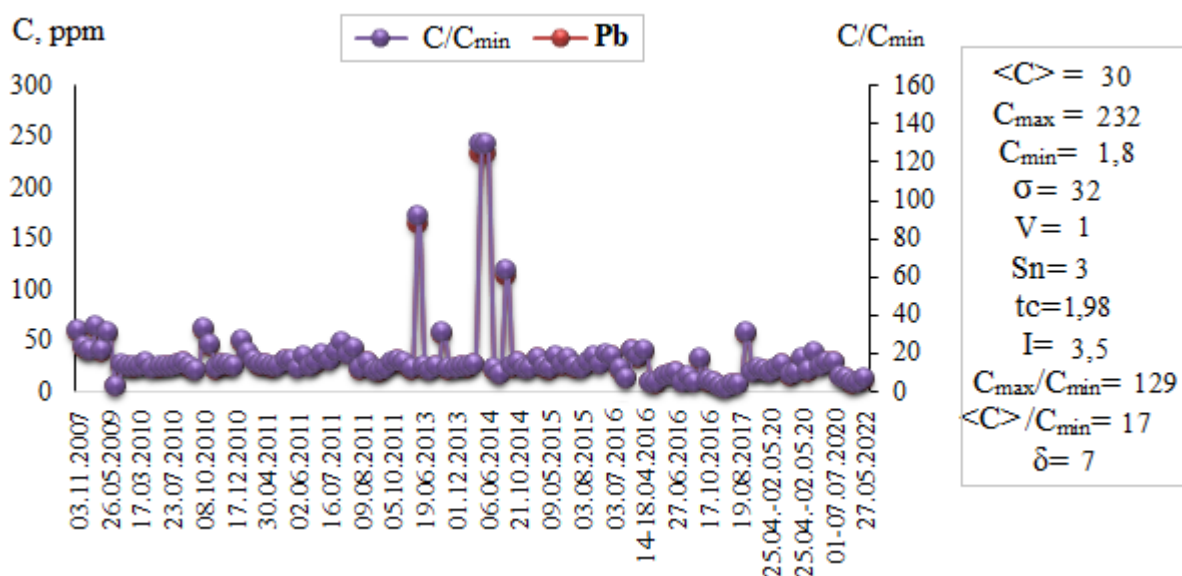


Рисунок 3.1.1. - Вариация содержания Рб в пробах АА

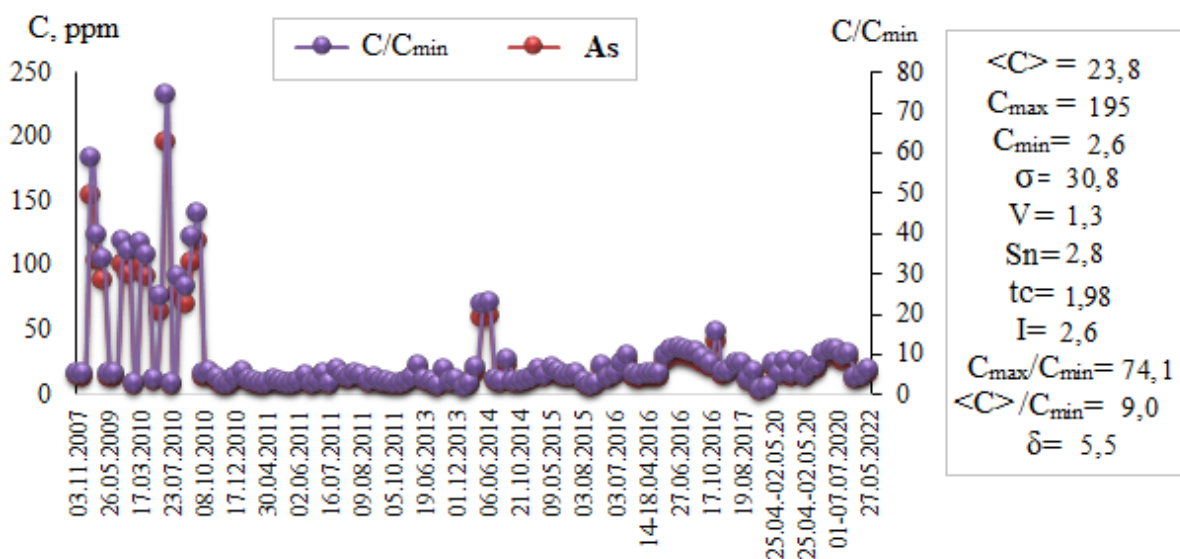
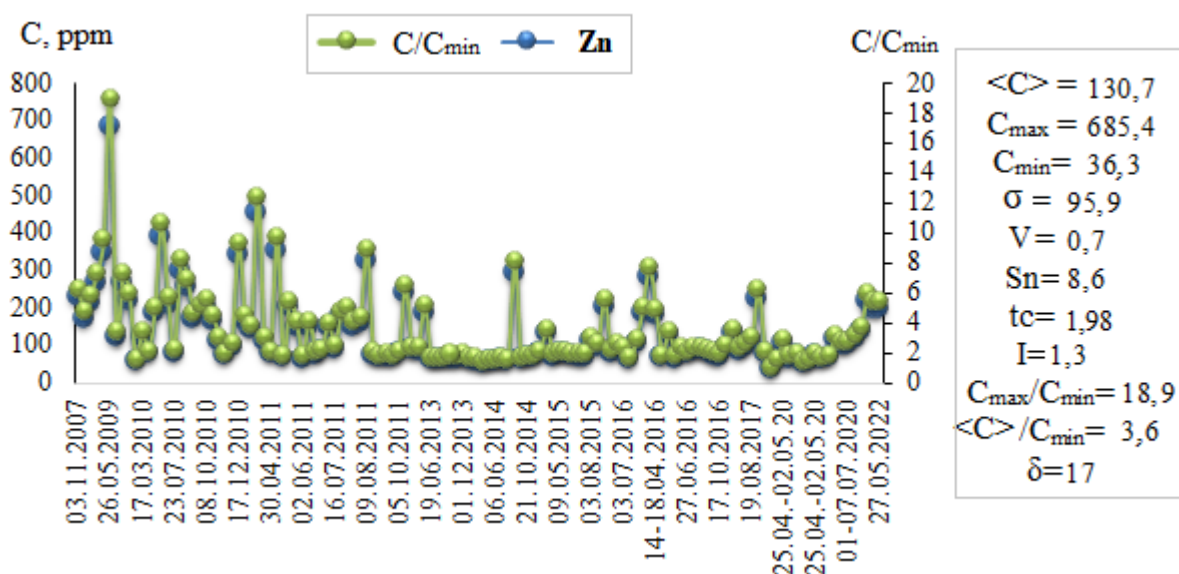


Рисунок 3.1.2. - Вариация содержания мышьяка в образцах пылевого аэрозоля

Высокие концентрации цинка на территории центральной части наблюдались в 2007 ( $\langle C \rangle = 245$  ppm), 2021 ( $\langle C \rangle = 206$  ppm) и 2022 ( $\langle C \rangle = 206$  ppm) г. На территории Айваджа всплески высоких концентраций относительно среднего содержания отмечены в 2009 (685,4; 263; 216 ppm), 2010 (387; 206; 252 ppm), 2011 (352; 197; 186 ppm), 2014 (292 ppm), 2015 (202 ppm), 2016 (280 ppm) гг. Максимальное значение (685,4 ppm) обнаружено в пробе, собранной 16.09.2009 г. в Айвадже.



**Рисунок 3.1.3.** - Вариация содержания Zn в пробах АА

Среднее содержание цинка 130,7 ppm, отношение максимального содержания к минимальному равно 19, среднего значения к минимальному – почти 4 (рисунок 3.1.3). В пробах из северной части центра страны содержание цинка оказалось ниже среднего содержания.

Природными источниками загрязнения атмосферы в Центральной Азии, в том числе южной части Таджикистана, являются пустыни Каракум, Кызылкум, а также высохшее дно Аральского моря. С бывшего дна Аральского моря поднимаются и переносятся большие массы пыли, которые кроме солей содержат тонны сельскохозяйственных химикатов. Каждый год более 43 млн. тонн солей выносятся из Аральского моря и осаждаются на площади 1,5-2 млн. кв. км. Значительные концентрации особо опасных ТМ (Pb, As, Zn)

обнаружены в пробах АА с территории Айваджа. Так как на этой территории нет заводов и фабрик, автотранспорта тоже немного, можно предполагать, что это результат трансграничного загрязнения воздуха сильно загрязнёнными воздушными массами, принесёнными с территории других стран.

### 3.1.2. Содержание Pb, As и Zn в почвах

Содержание Pb в пробах почв колеблется от 0,17 ppm до 189,7 ppm, среднее содержание его в почвах составило 22,47 ppm. Исходя из этих результатов установлено, что концентрация свинца больше в составе АА, чем в пробах почв. Среднее содержание свинца в пробах почв превышает фоновый уровень в 5 раз, но оно оказалось ниже ПДК. Максимальное значение относится к пробе собранной 05.02.2016 вблизи Теплоэлектростанции №1 (ТЭЦ №1) в городе Душанбе и превышает минимальную в 130 раз (рисунок 3.1.4).

Интервал содержания мышьяка в пробах почв составляет от 0,14 ppm до 259 ppm (рисунок 3.1.5). Самые высокие концентрации As обнаружены на территории западной части таджикского алюминиевого завода «ТАЛКО», которая располагается в г. Турсунзаде – 259 ppm и в городе Душанбе (Охтог) – 259 ppm и также на территории Аграрного университета г. Душанбе – 103 ppm.

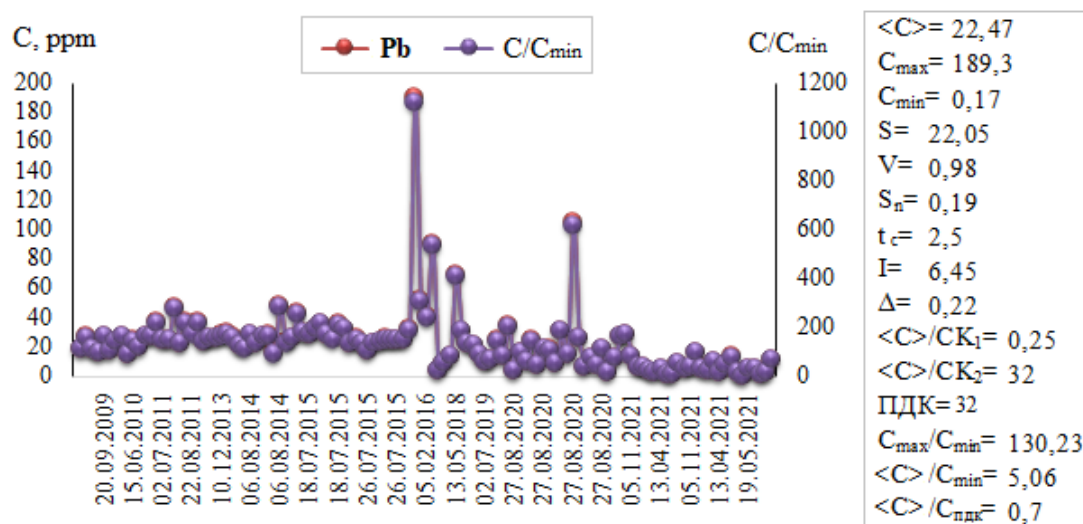
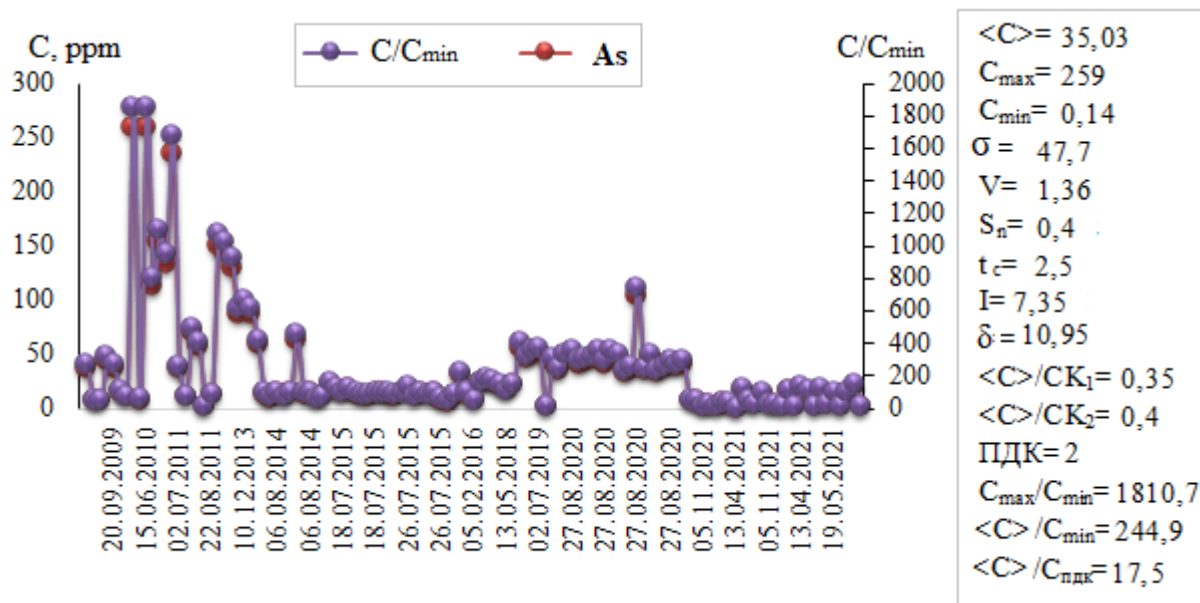
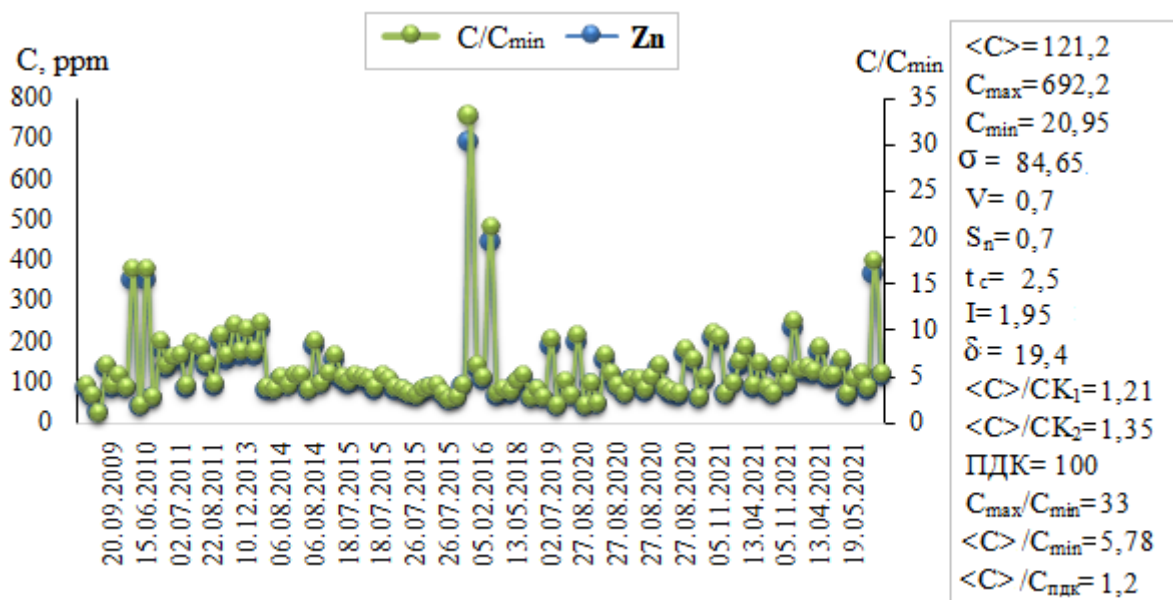


Рисунок 3.1.4. - Вариация содержания Pb в пробах почв

Минимальная концентрация мышьяка принадлежит пробе, собранной вблизи Ворот Гиссара 20.05.2021г. (0,17 ppm). Среднее содержание составляет 35 ppm и превышает фоновый уровень на 245 раз. ПДК этого элемента 2 ppm и среднее содержание As превышает его на 17 раз.



**Рисунок 3.1.5.** - Вариация содержания As в пробах почв



**Рисунок 3.1.6.** - Вариация содержания Zn в пробах почв

Сравнительный анализ содержания мышьяка и свинца в пробах почв южного и центрального Таджикистана показывают, что концентрация As значительно больше, чем концентрация Pb, относительно их ПДК.

Самое высокое содержание цинка, как и свинца отмечено 05.02. 2016 года вблизи ТЭЦ №1 (692 ppm) и 19.05.2021 г. на территории Караболо г. Душанбе (365 ppm). Самое низкое содержание Zn отмечено в сентябре 2009 года в пустынной зоне Шаартуза (20,95 ppm). Средняя концентрация Zn в пробах превышала фоновое значение в 33 раза и близка к ПДК для этого элемента (рисунок 3.1.6).

При исследовании содержания ТМ первого класса опасности в пробах АА и почв южного и центрального Таджикистана самые высокие концентрации свинца, мышьяка и цинка в АА обнаружены на территории Айваджа. В пробах почв максимальные концентрации свинца и цинка зафиксированы на территории ТЭЦ №1 г. Душанбе, а мышьяка – в западной части алюминиевого завода «ТАЛКО». Можно предположить, что основными источниками Pb, As и Zn, являются выбросы этих предприятий.

### 3.2. Концентрации Co, Ni, Cu и Cr

#### 3.2.1. Концентрации Co, Ni, Cu и Cr в атмосферном аэрозоле

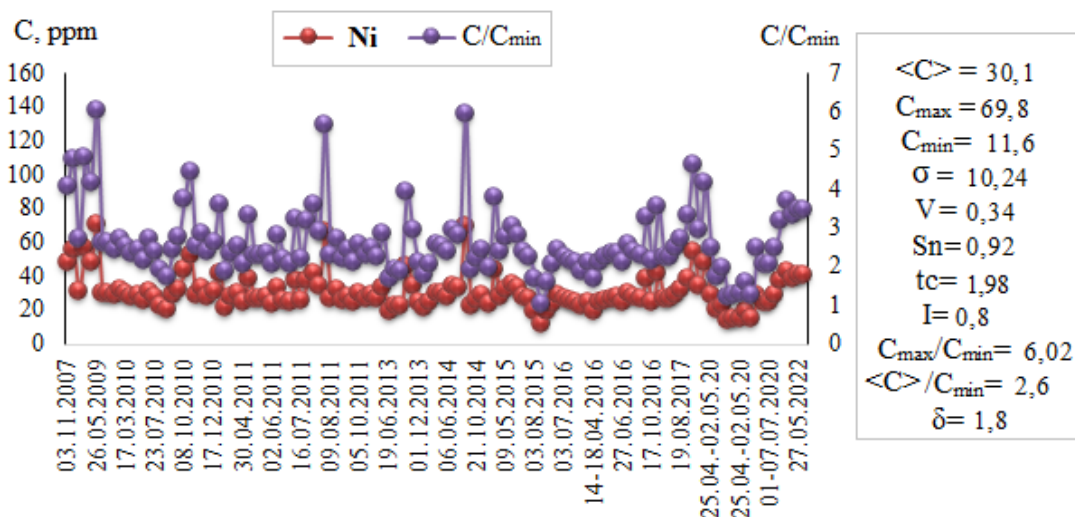
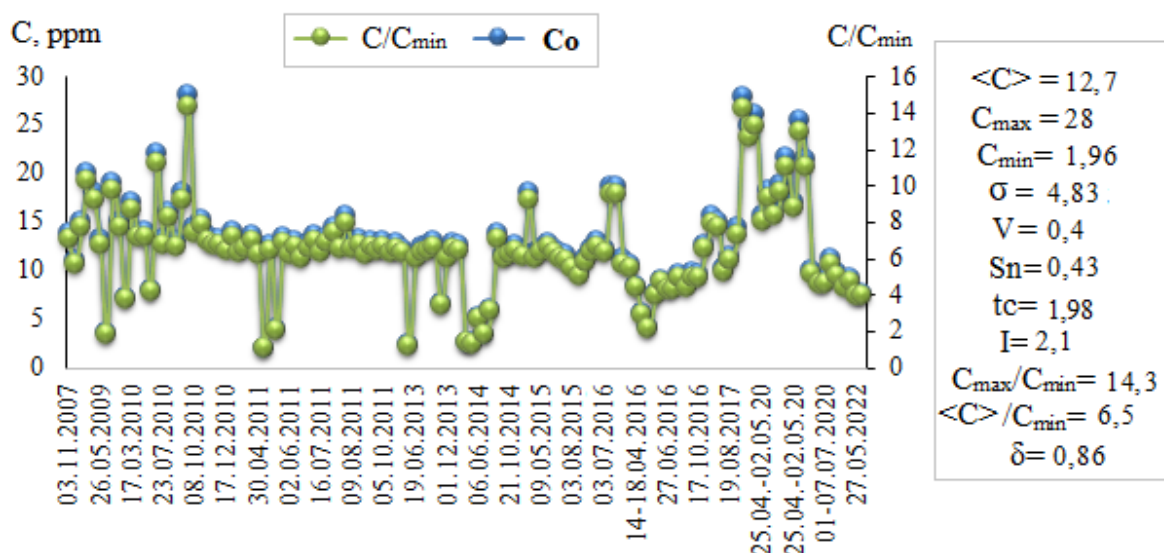


Рисунок 3.2.1. - Вариация содержания Ni в пробах АА

Самая высокая концентрация Ni 16.09.2009 года (69,8 ppm) и минимальное содержание 03.08.2015 г. (11,6 ppm) обнаружены в Айвадже (рисунок 3.2.1.). Среднее содержание равно 30,1 ppm и превышает фоновое



содержание в 2,6 раза. Отношение максимального к минимальному содержанию равно почти 6. Концентрация кобальта на территории Душанбе в 2007 и 2008 годах близка к максимальному содержанию (48 ppm, 56 ppm, 58 ppm), а в другие времена она близка к среднему содержанию элемента.



**Рисунок 3.2.2.** - Вариация содержания Co в пробах АА

Рисунок 3.2.2. представляет кривую распределение Co в составе АА. Самые высокие содержания этого тяжелого металла зафиксированы в Айвадже 08.10.2010 г. и в Душанбе 03.07.2019 г., причем в равных концентрациях (28 ppm). Концентрация кобальта в среднем составляет 12,7 ppm и превышает минимальную концентрацию в 6,5 раза (рисунок 3.2.2). Содержание Co в АА южном и центральном Таджикистане гораздо меньше, чем других элементов.

Среднее содержание Cr в пробах АА равно 96,7 ppm, почти в 15 раз выше фонового уровня. Самая высокая (111,75 ppm) и самая низкая (6,65 ppm) концентрации хрома отмечены на территории Айваджа. Максимальная концентрация превышает фоновый уровень почти в 17 раз. В северной части исследуемого региона концентрация Cr колеблется около 100 ppm (рисунок 3.2.3).

Максимальные концентрации меди – в пробах, собранных в Айвадже 13.07.2010 (173 ppm), 25.08.2010 (190,8 ppm), 12.09.2010 (182,7 ppm), 16.09.2010 (168,6 ppm) гг. Кроме 20.10.2013 (156 ppm) и 25.09.2014 (135 ppm) г., в остальных пробах его содержание в регионе колеблется от 30 до 60 ppm (рисунок 3.2.4). Среднее содержание – 52,35 ppm и превышает минимальную концентрацию (31,3 ppm) почти в 2 раза.

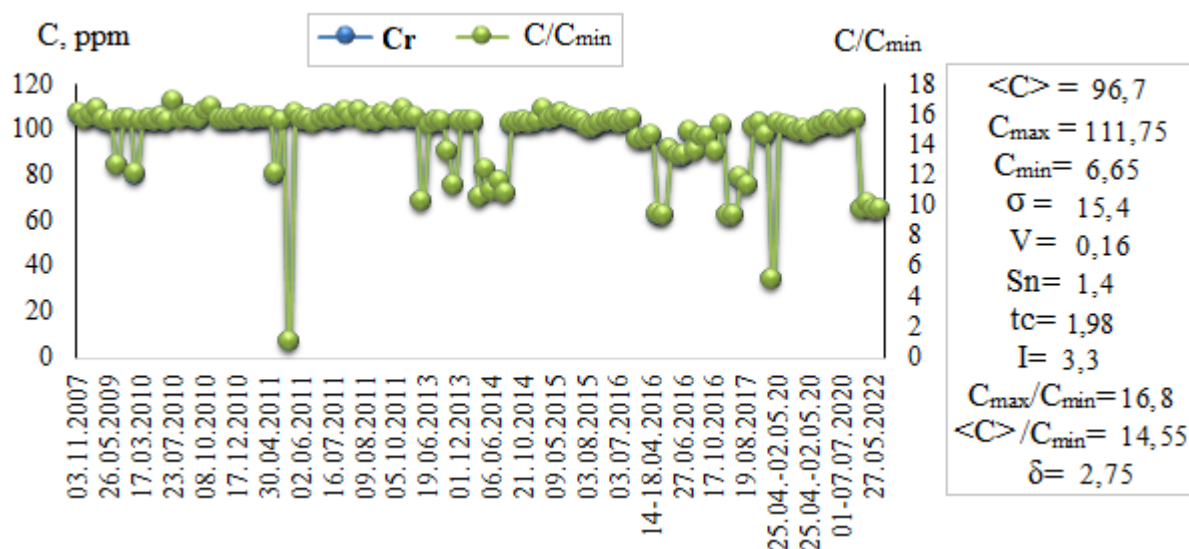


Рисунок 3.2.3. - Вариация содержания Cr в пробах АА

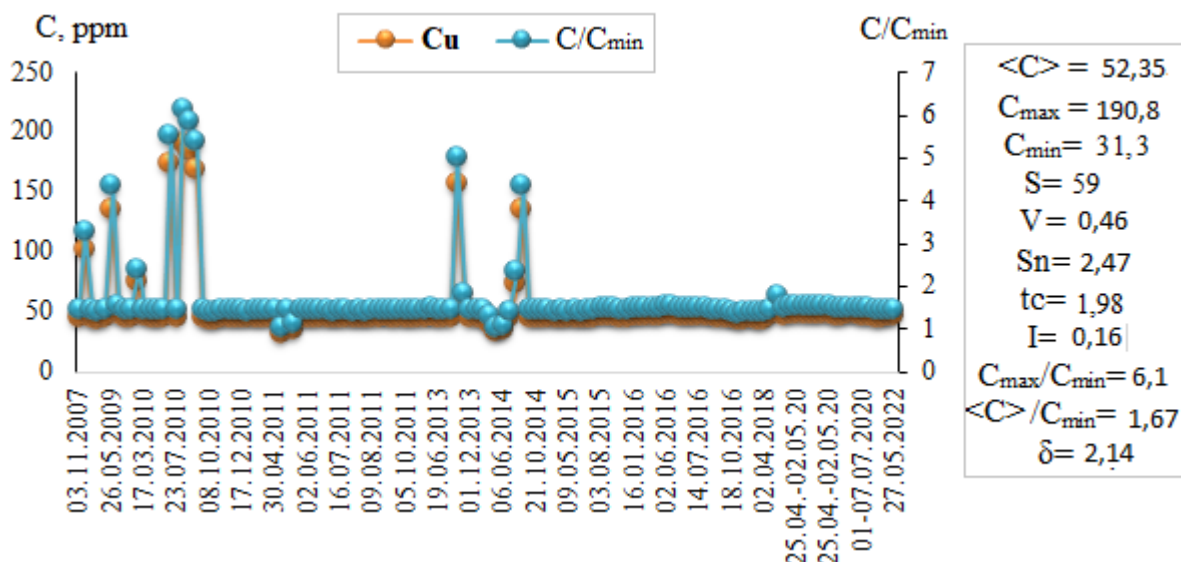
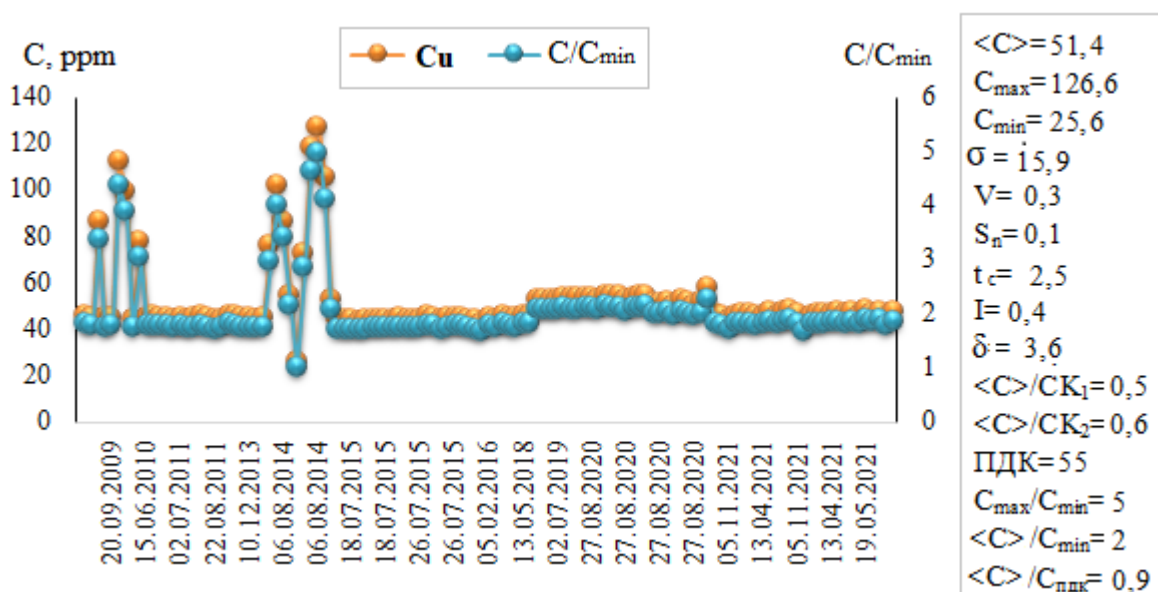


Рисунок 3.2.4. - Вариация содержания Cu в пробах АА

### 3.2.2. Концентрации Co, Ni, Cu и Cr в почвах

Исследования показали, что содержание меди в пробах почв и проб АА меняется почти одинаково. Максимумы обнаружены в составе трёх проб,

которые были собраны 06.08.2014 г. вокруг алюминиевого завода «ТАЛКО» (118, 126, 105 ppm) и на территории Гиссара 20.09.2009 г. (111 ppm) и 06.04.2014 г. (101 ppm) (рисунок 3.2.5). Районы Турсунзода и Гиссар являются соседями и завод «ТАЛКО» находится недалеко от Гиссара; можно предполагать, что основным источником выброса меди на этих территориях является этот завод. На территории Душанбе средняя концентрация Cu близка к ПДК (55 ppm), но не превышает его. Среднее содержание составляет 51,4 ppm и концентрации меди в большинство проб близки к этому значению. Содержание Cu в АА немного превышает его содержание в почвах.

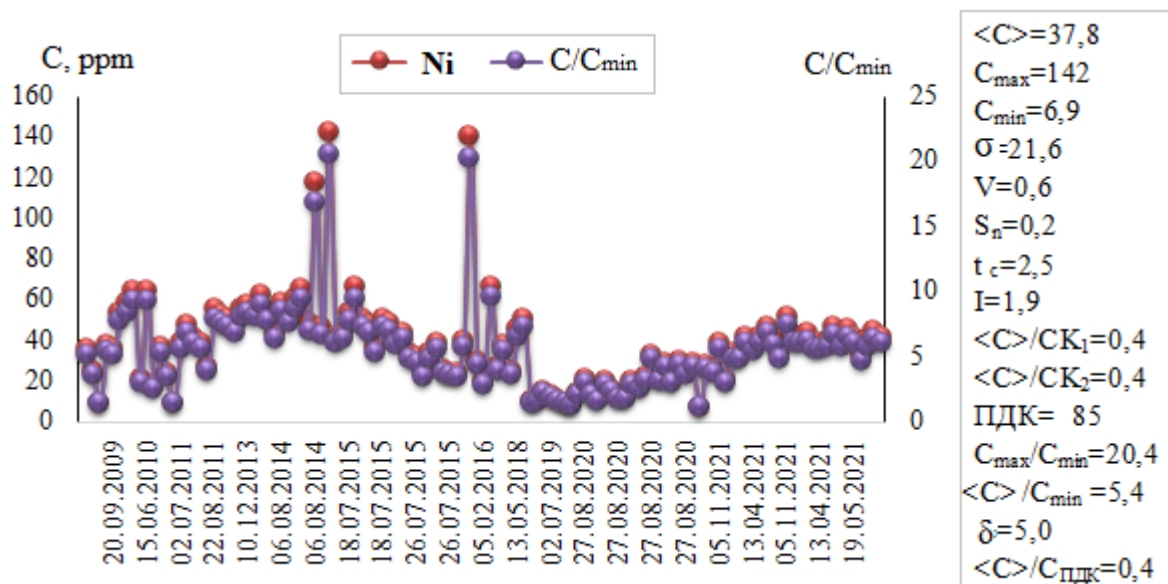


**Рисунок 3.2.5.** - Вариация содержания Cu в пробах почв

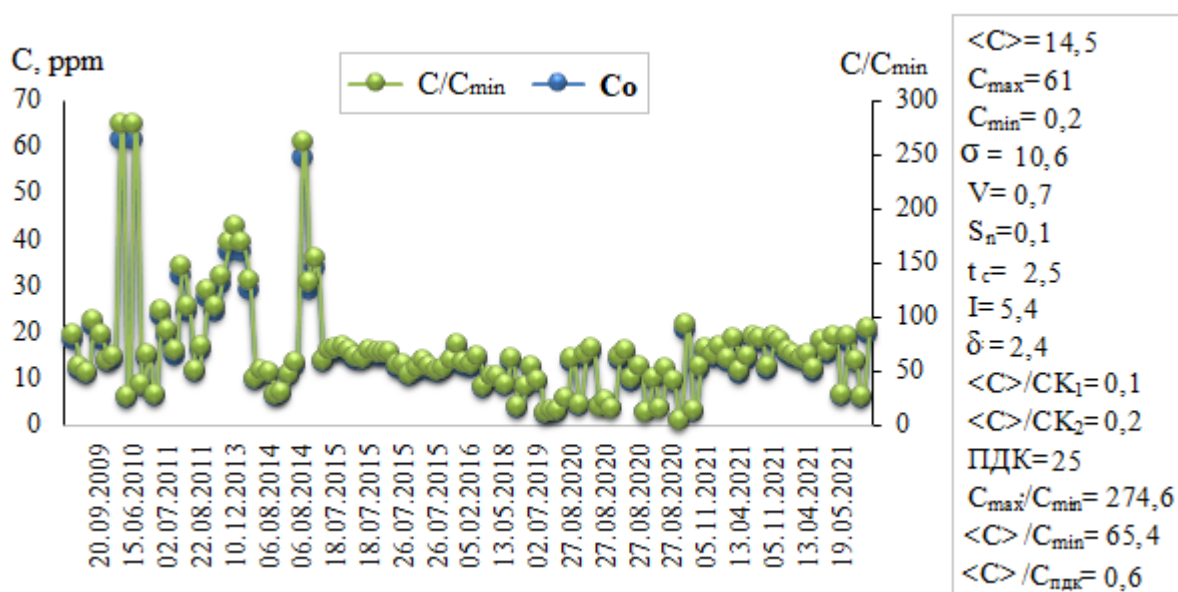
Концентрация никеля в АА оказалась ниже его концентрации в почвах. На рисунке 3.2.6. можно видеть три всплеска содержания никеля в почвах 06.08.2014 г. (116, 142 ppm), эти пробы были собраны на северо-западном и северо-восточном территории завода «ТАЛКО» и в пробе №200 собранной 05.02.2016 г. на территории ЦТС №1 города Душанбе (140 ppm). ПДК для этого элемента составляет 85 ppm и только вышеуказанные три пробы превышают его. На других точках г. Душанбе среднее содержание Ni вдвое меньше ПДК.

Средняя концентрация кобальта в пробах почв составила 14,5 ppm, почти в два раза меньше ПДК (25 ppm). Высокие концентрации этого металла также

обнаружены вокруг алюминиевого завода «ТАЛКО» 15.06.2010 г. (61 ppm) западная часть и 06.08.2014 г. северо-западная часть (57 ppm). В пробе № 223 (Душанбе, Зарафшон) зафиксирована самая низкая концентрация кобальта (0,2 ppm).



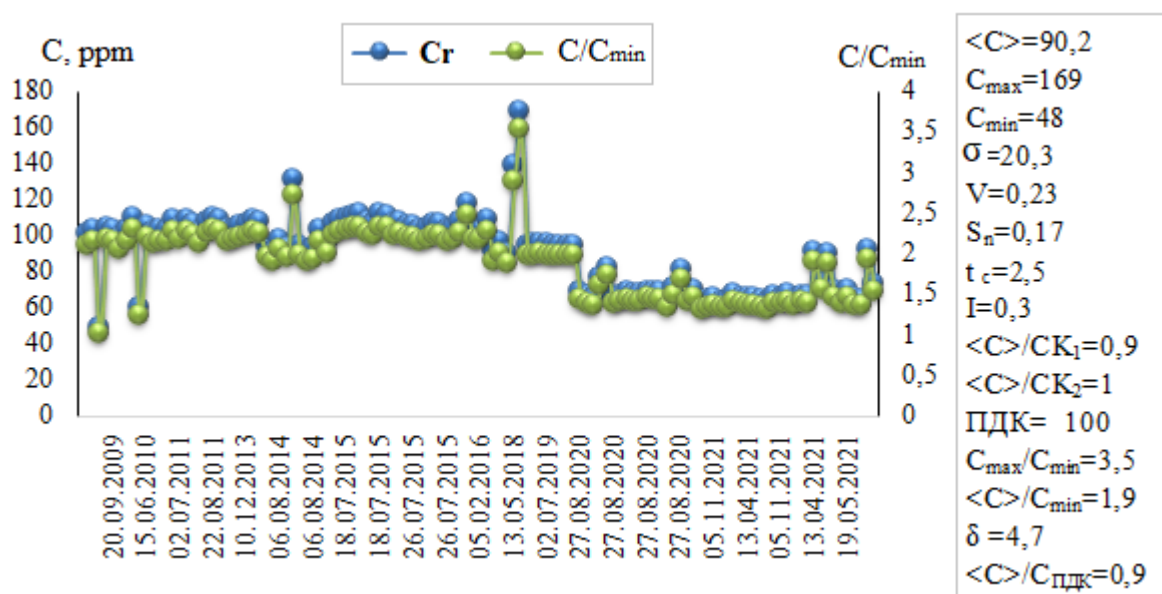
**Рисунок 3.2.6.** - Вариация содержания Ni в пробах почв



**Рисунок 3.2.7.** - Вариация содержания Co в пробах почв

Отношение максимального содержания к фоновому равно 274. В городе Душанбе концентрация кобальта в среднем составляет 12 ppm. Разница между содержанием кобальта в АА и почв незначительна, в составе АА его немного больше (рисунок 3.2.7.).

В отличие от других металлов, высокая концентрация хрома обнаружена на территории международного аэропорта г. Душанбе в 18.05.2018 г. (169, 138 ppm). В 2020 г. и 2021 г. концентрация этого тяжелого металла на этой территории оказалась ниже ( $\langle C \rangle = 78$  ppm и  $\langle C \rangle = 66$  ppm). Можно заключить, что это связано с уменьшением выбросов от сжигания топлива самолётами, потому что во время пандемии авиаперелёты были приостановлены.



**Рисунок 3.2.8.** - Вариация содержания Cr в пробах почв

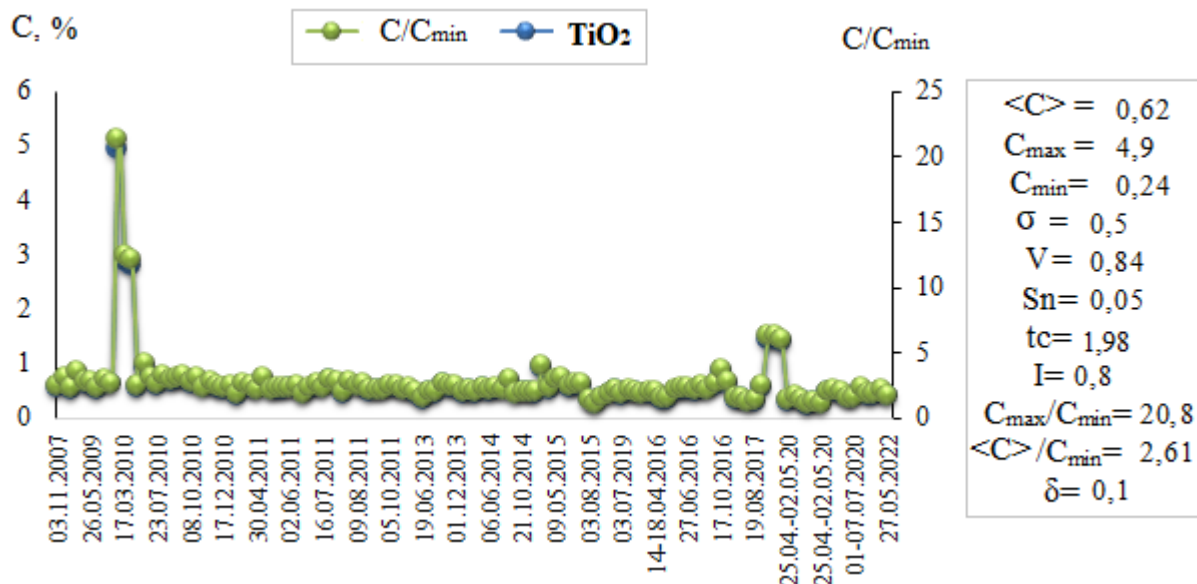
В южных регионах Таджикистана среднее содержание хрома составило 100 ppm, это значение равно ПДК и Кларку земной коры для этого элемента (рисунок 3.2.8). По всей исследуемой территории средняя концентрация равна 90,4 ppm, она ниже ПДК, но близка к Кларку почвы. В северной части Таджикистана содержание хрома (98 ppm), тоже не превышает ПДК.

### 3.3. Вариации содержания $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , $MnO$ , $Sr$ и $V$

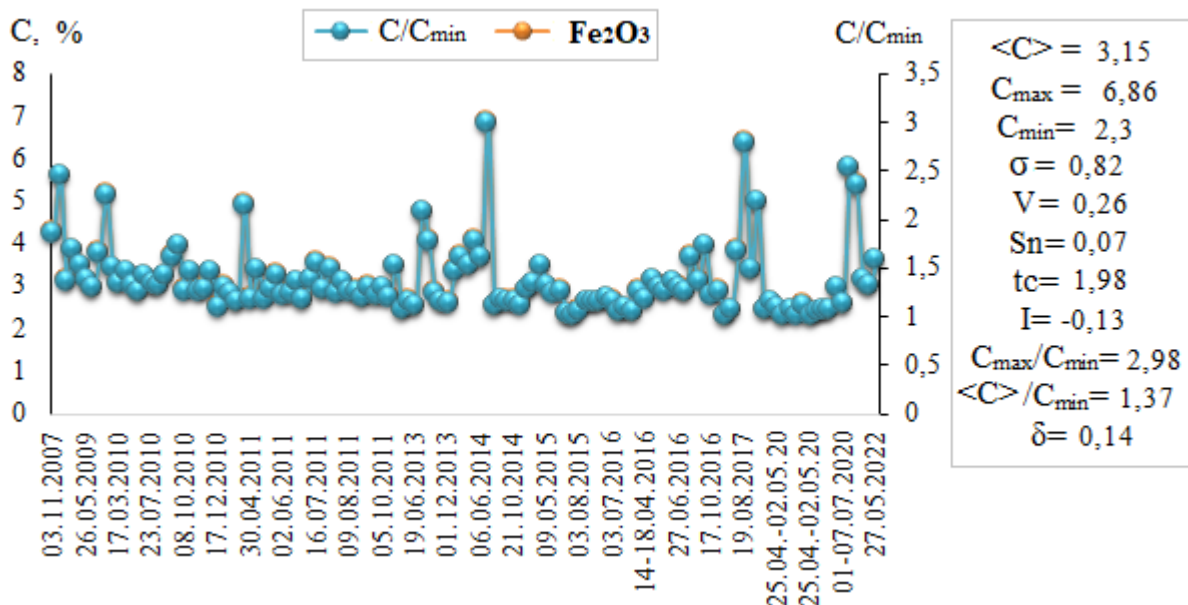
#### 3.3.1. Вариации содержания $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , $MnO$ , $Sr$ и $V$ в пробах атмосферного аэрозоля

В пробе №28 АА, собранного в Айвадже 20.08.2009 г., обнаружена высокая концентрация диоксида титана (4,9%). По-видимому, в тот день, или 2-3 дня раньше, на эту территорию проникли воздушные массы с высоким содержанием  $TiO_2$ . Средняя концентрация этого металла составила 0,62% и

выше минимальной концентрации в 2,6 раза (рисунок 3.3.1). Самая низкая концентрация диоксида титана зафиксирована в пробе, собранной на севере центрального региона Таджикистана, в Хушёри 25.04.2020 г. (0,24 ppm). Максимальное содержание выше минимального почти в 20 раз.



**Рисунок 3.3.1.** - Вариация содержания  $TiO_2$  в пробах АА

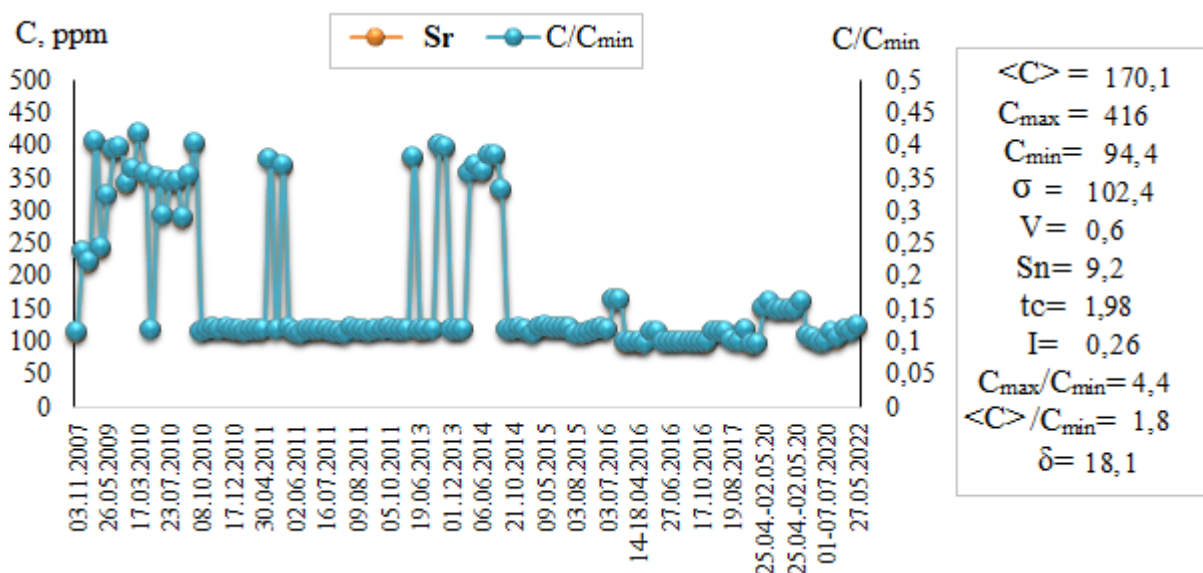


**Рисунок 3.3.2.** - Вариация содержания  $Fe_2O_3$  в пробах АА

На рисунке 3.3.2. можно наблюдать три максимальных всплеска концентрации  $Fe_2O_3$ , 04.07.2014 г. Айвадж (6,86 %) и 03.07.2019 г. Душанбе (6,4

%) и 03.07.2021 г. Душанбе (5,8 %). Средняя концентрация составляет 3,15 %, и это меньше чем на севере Таджикистана (4,5%). Самые низкие концентрации этого распространённого металла зафиксированы в северной и центральной части исследуемой территории Хушёри (2,3 %) и Гулбутта (2,32 %). Отношение самой высокой концентрации к самой низкой – почти 3 (рисунок 3.3.2.).

Максимальные всплески содержания стронция наблюдаются с 2007 по 2014 г. на территории Айваджа, они колеблются от 300 до 416 ppm. Концентрация остальных проб изменяются от 100 до 160 ppm (рисунок 3.3.3). Средняя концентрация составляет 170 ppm и отношение её к минимуму (94,4 ppm) оценивается почти в два раза. Несмотря на то, что в центральном регионе функционируют цементные заводы, ТЭЦ и ряд других производственных и промышленных предприятий, содержание стронция в этом регионе ниже, чем в пустынной зоне Айваджа. Аналогичное распределения стронция по времени наблюдается и в пробах почв, из этого следует, что высокое содержания стронция в южной части страны, скорее всего, связано с трансграничным переносом Sr.



**Рисунок 3.3.3.** - Вариация содержания Sr в пробах АА

Рисунок 3.3.4. представляет распределение концентрация окиси марганца. Высокая концентрация MnO обнаружена в пробе №7, собранной на территории

Душанбе 13.11.2007 г. (1040 ppm), отметим, что в ноябре 2007 года зафиксировано самое продолжительное пылевое вторжение в южном и центральном Таджикистане. Еще одна высокая концентрация MnO (1031 ppm) также обнаружена в Душанбе.

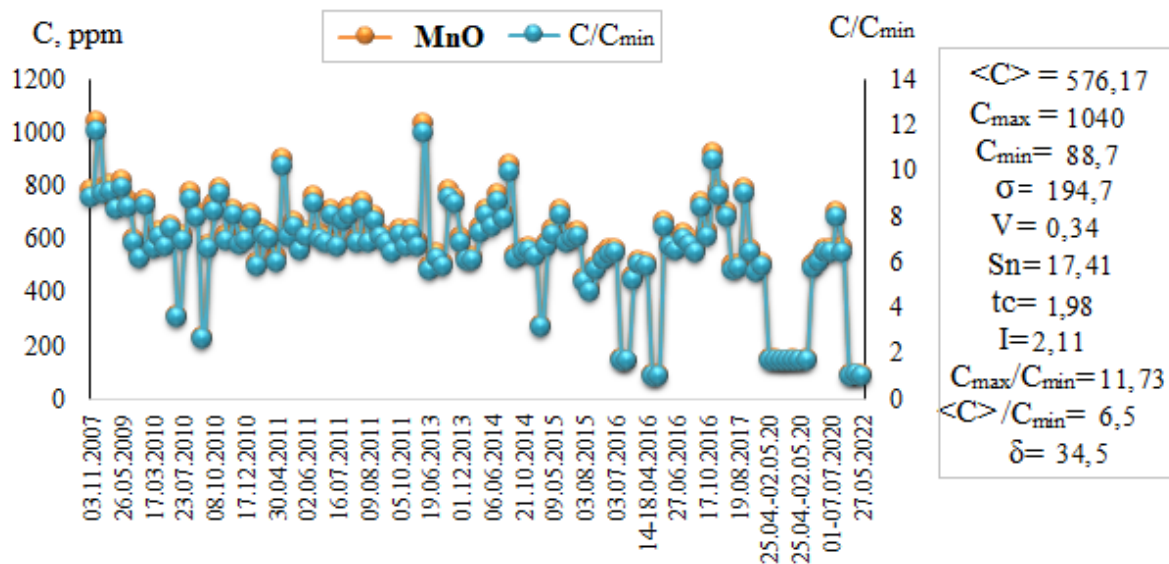


Рисунок 3.3.4. - Вариация содержания MnO в пробах АА

Средняя концентрация MnO в пробах АА северной части республики (643 ppm), мало отличается от концентрации в пробах пылевого аэрозоля южной части республики (576 ppm). Концентрация окиси магния в пробах превышает фоновый уровень в 3,3 раз.

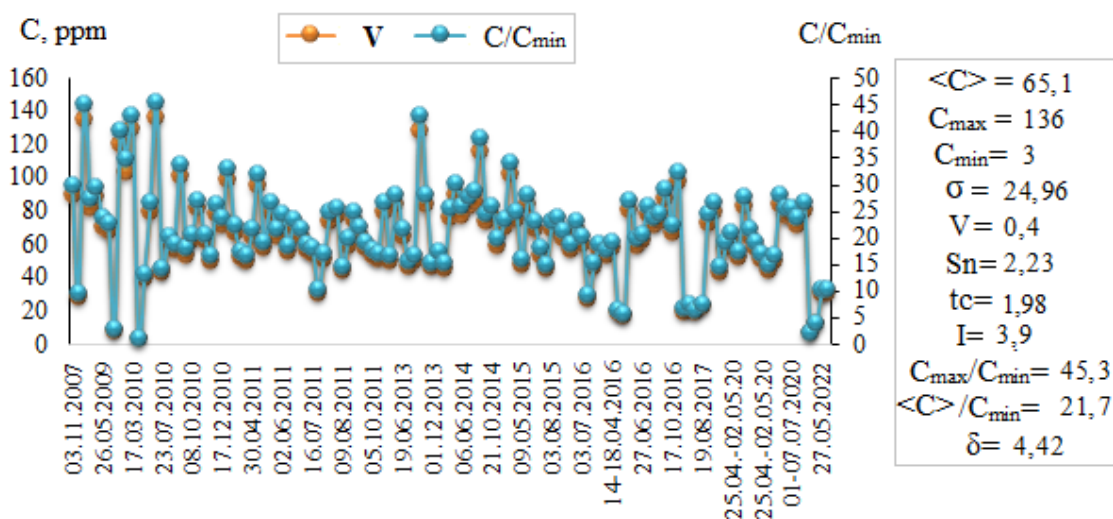


Рисунок 3.3.5. - Вариация содержания V в пробах АА



Вариации содержания ванадия в пробах АА представлены на рисунке 3.3.5. Средняя концентрация элемента по всей территории составляет 65 ppm, максимальные содержания (135 ppm, 120 ppm, 125 ppm и 136 ppm) этого металла обнаружены на юге, в пробах 2007-2010 годов. Самая низкая концентрация (3 ppm) обнаружена 19.03.2010 г. в Айвадже. Максимальная концентрация выше минимальной в 45 раз, средняя – выше минимальной почти в 22 раза. Среднее содержание ванадия в южной и центральной частях страны мало отличаются от среднего по северной части страны (63 ppm), но самая высокая концентрация на севере страны равна 194 ppm.

### 3.3.2. Вариации содержания $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , $MnO$ , $Sr$ и $V$ в пробах почв

Относительно высокие концентрации  $Fe_2O_3$  наблюдались на территории города Душанбе. Высшая измеренная концентрация  $Fe_2O_3$  (6,2 %) в два раза ниже максимума на севере Таджикистана (12,3 %) (рисунок 3.3.6.). В Душанбе больше автотранспорта, чем в южной части и районах, подчинённых центру; можно предположить, что значительными источниками выброса железа в атмосферу и на почву являются находящиеся в центре ТЭЦ. В работе [11] отмечается, что на севере Таджикистана хвостохранилища являются источниками высокого содержания железа в почве этого региона.

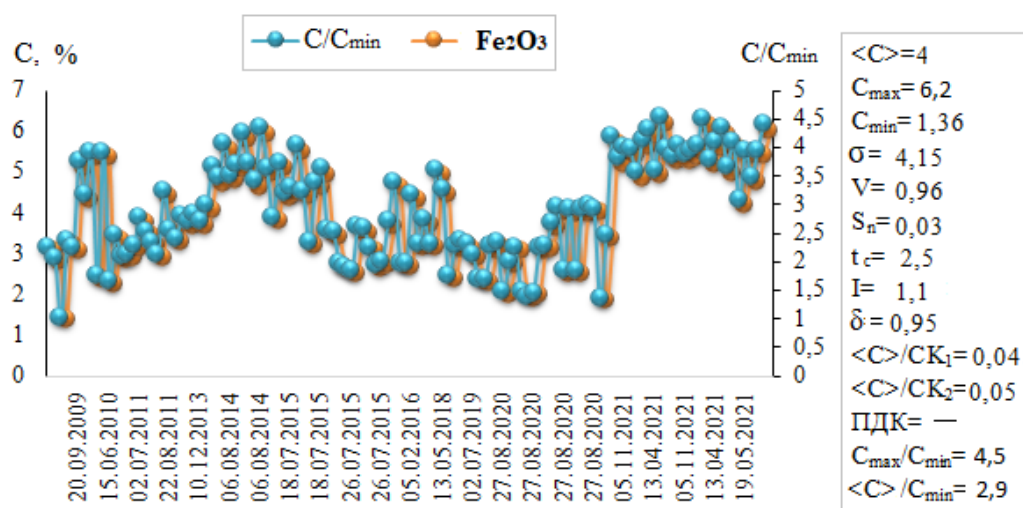
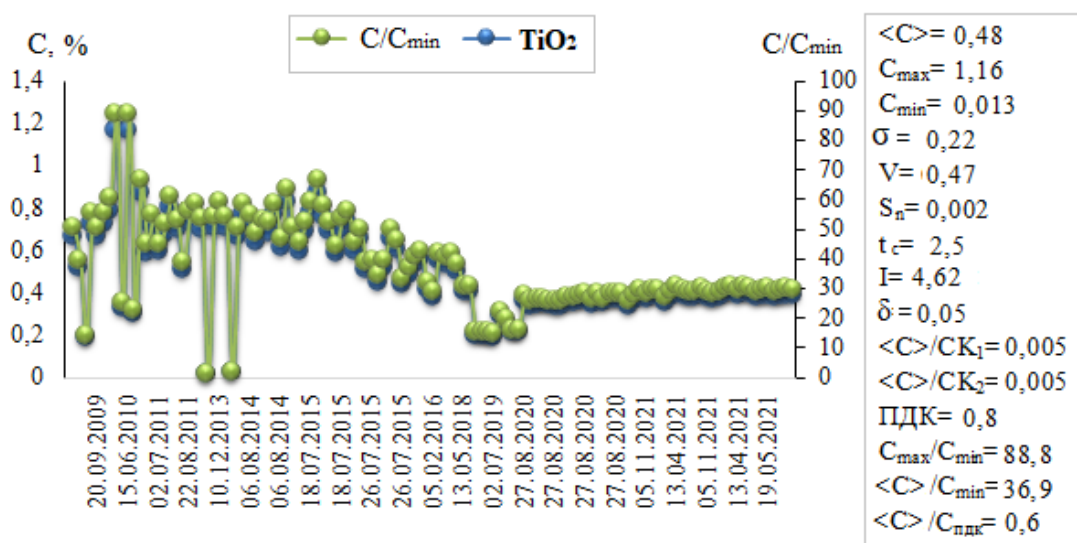


Рисунок 3.3.6. - Вариация содержания  $Fe_2O_3$  в пробах почв

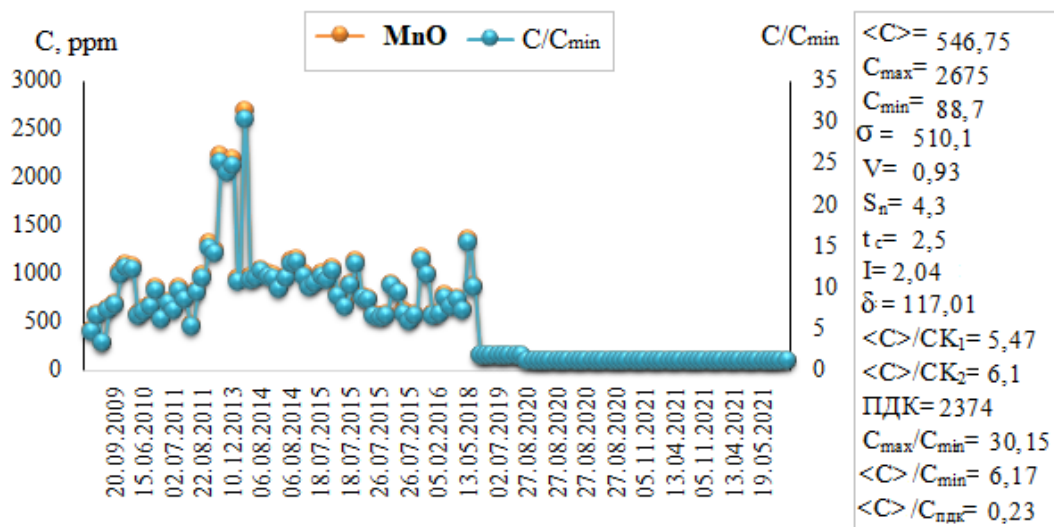
Максимальные скачки концентрации  $TiO_2$  обнаружены в пробах собранных 20.09.2009 г. в Душанбе и 15.06.2010 г. на западной части алюминиевого завода ТАЛКО (1.16 %), но эта концентрация почти в четыре раза ниже, чем в северной части страны (4,2 %). Начиная с 2021 г. содержание  $TiO_2$  умеренно мало менялось (рисунок 3.3.7). Почти во всех пробах, исключая пробы, в которых были обнаружены самые высокие концентрации, концентрация диоксида титана была в пределах ПДК, а средняя его концентрация в тысячу раз меньше Кларка земной коры и Кларка почв.



**Рисунок 3.3.7.** - Вариация содержания  $TiO_2$  в пробах почв

Средняя концентрация  $MnO$  в пробах почв (рисунок 3.3.8) составляет 546 ppm, что почти в три раза меньше его ПДК в составе почв. Высокие концентрации окиси марганца зафиксированы в пробах, собранных 10.12.2013 г. на регионах Турсунзаде (2675 ppm), Гиссара (2107 ppm) и Чоряккорон (2211 ppm). В тот день направление ветра было с севера на восток, судя поэтому можно предполагать, что источниками окиси марганца являются выбросы алюминиевого завода, возможно также и выветривание горных пород Гиссарского хребта. Минимальные концентрации (около 90 ppm) отмечены на территории города Душанбе, начиная с 2019 года. Отношение среднего

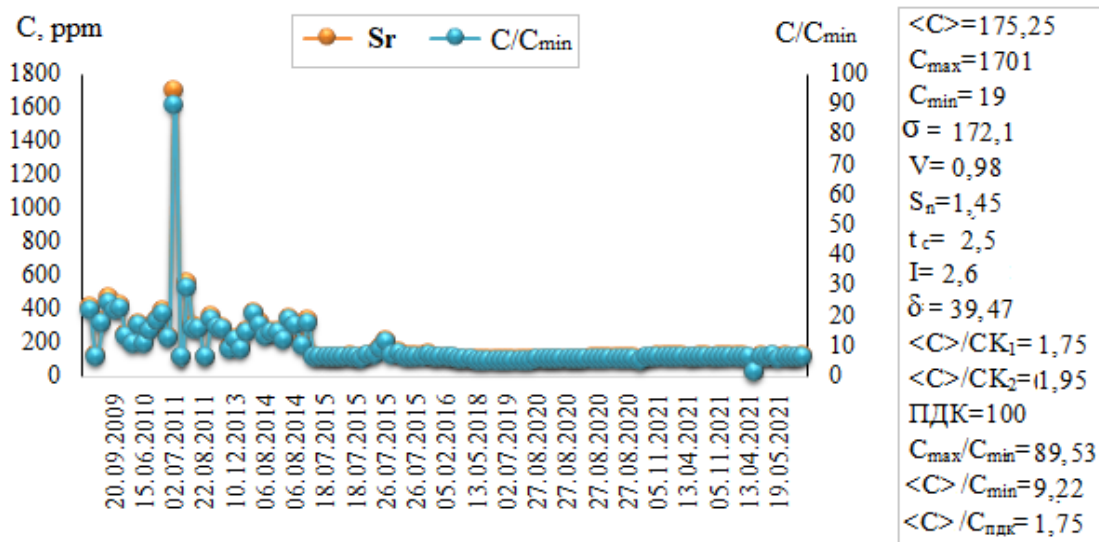
содержания MnO к минимальному, к Кларку земной коры и Кларку почв близко к 6.



**Рисунок 3.3.8.** - Вариация содержания MnO в пробах почв

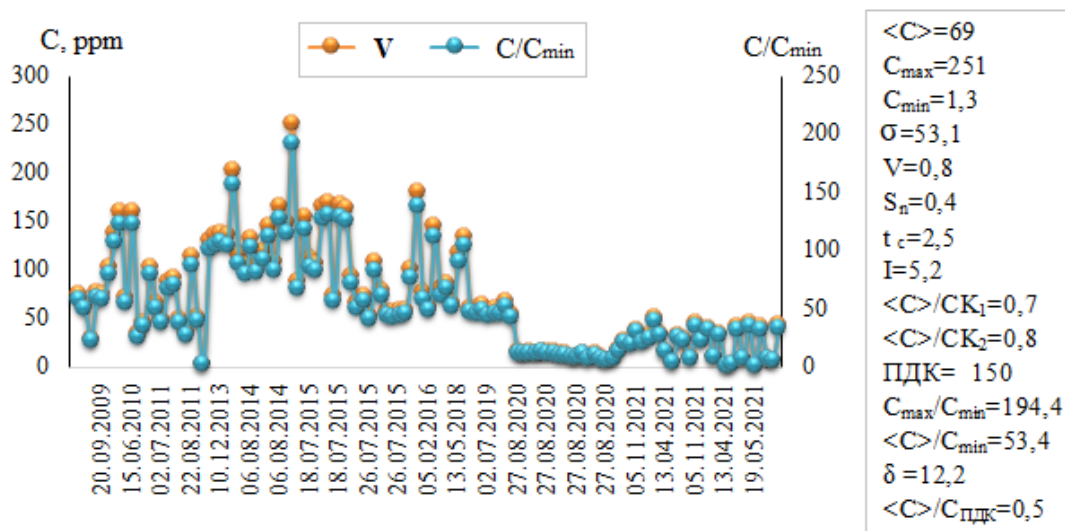
Средняя концентрация MnO на исследуемой территории выше, чем на севере Таджикистана (394 ppm) [11], но близка к содержанию в почвах Канады (520 ppm) и США (560 ppm) [97].

Концентрации стронция выше ПДК наблюдались в пробах, собранных с 2007 по 2014 года (рисунок 3.3.9), в остальных она в пределах или ниже ПДК. Самое высокое содержание стронция выявлено в пробе №19, отобранного 2.07.2011 г. в районе Хоросан (1701 ppm) и такая концентрация – значительная аномалия для этого элемента (рисунок 3.3.9.). В этот день были собраны пробы от Айваджа до Душанбе, но в других пробах такого высокого содержания Sr не обнаружено. Видимо такое высокое содержание стронция характерно для почв этого района. Средняя концентрация составляет 175 ppm и среднее содержание выше минимального (19 ppm) почти в 10 раз.



**Рисунок 3.3.9.** - Вариация содержания Sr в пробах почв.

Рисунок 3.3.10. представляет данные по содержанию V в пробах почв. Максимальное содержание V (251 ppm) наблюдалась в августе 2014 году в пробе №156, собранной в северо-восточной части алюминиевого завода «ТАЛКО» в районе Турсунзода. Фоновая концентрация V в почвах – 1,3 ppm. В пробах почв максимальное содержание ванадия превышает фоновое почти в 195 раз.

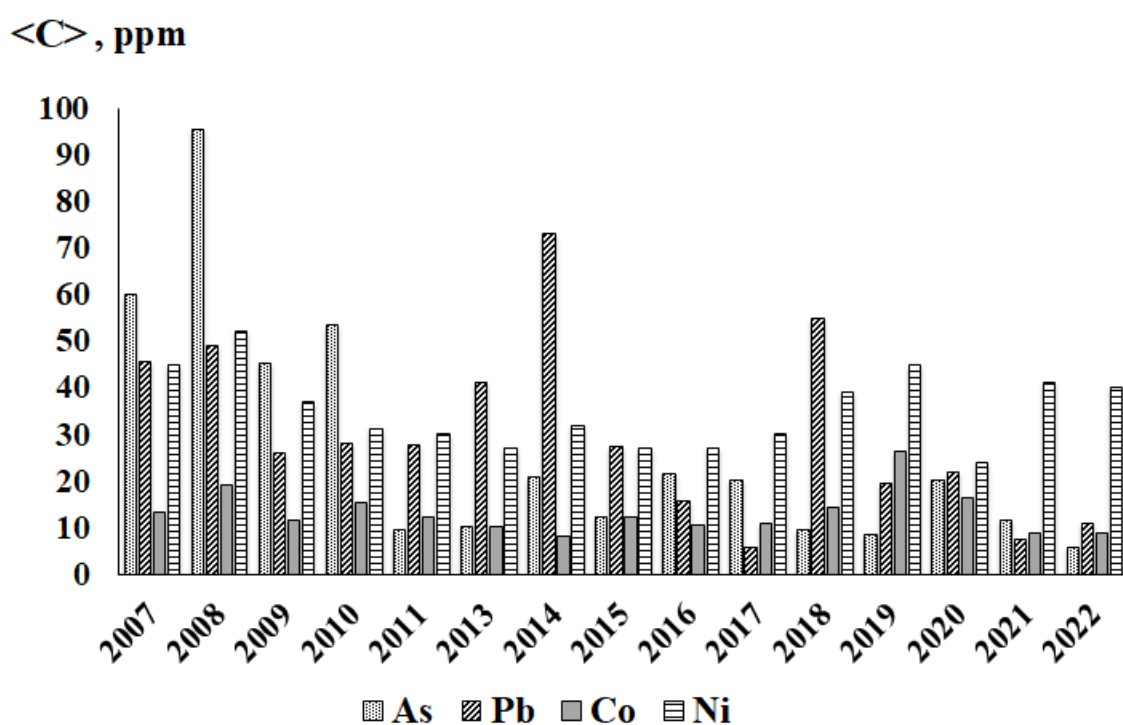


**Рисунок 3.3.10.** - Вариация содержания V в пробах почв.

Среднее содержание этого элемента составляет 69 ppm, превышая фоновый уровень в 53 раза. Концентрация ванадия на исследуемой территории мало отличается от его содержания в северном Таджикистане ( $\langle C \rangle = 72$  ppm,  $C_{\max} = 270$  ppm,  $C_{\min} = 3$  ppm).

### 3.4. Межгодовые вариации концентрации ТМ в АА и почвах

При исследовании пыли и почв южной и центральной частей Таджикистана, важно знать временную вариацию содержания ТМ. Под влиянием природных и антропогенных факторов они могут накапливаться, а при выщелачивании, эрозии и дефляции – удаляться.

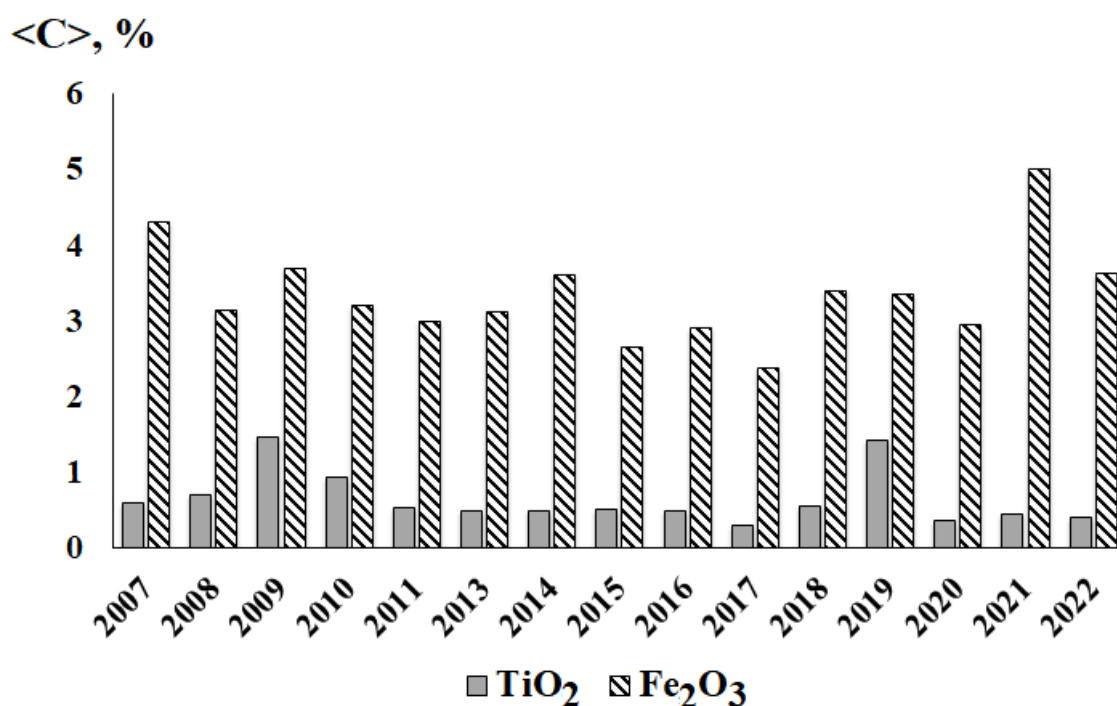


**Рисунок 3.4.1.** - Межгодовая вариация концентраций ряда тяжелых металлов (Co, As, Ni, Pb) в составе атмосферного аэрозоля

На рисунке 3.4.1. представлена межгодовая вариация содержания тяжелых элементов Co, As, Ni и Pb в составе АА. В 2007 – 2010 г. (2007 – 60,2 мг/кг, 2008 – 95,5 мг/кг, 2009 – 45,14 мг/кг, 2010 – 53,4 мг/кг) средняя концентрация мышьяка выше, чем у остальных металлов. Средняя концентрация никеля в 2011 (30 мг/кг), 2016 (27 мг/кг), 2019 (45 мг/кг), 2021(41 мг/кг) и 2022 (40 мг/к) г., а свинца в 2013 (41,2 мг/кг), 2014 (73 мг/кг) и 2018 (55 мг/кг) гг. высокие. В 2015 г. концентрации кобальта и мышьяка (Co –

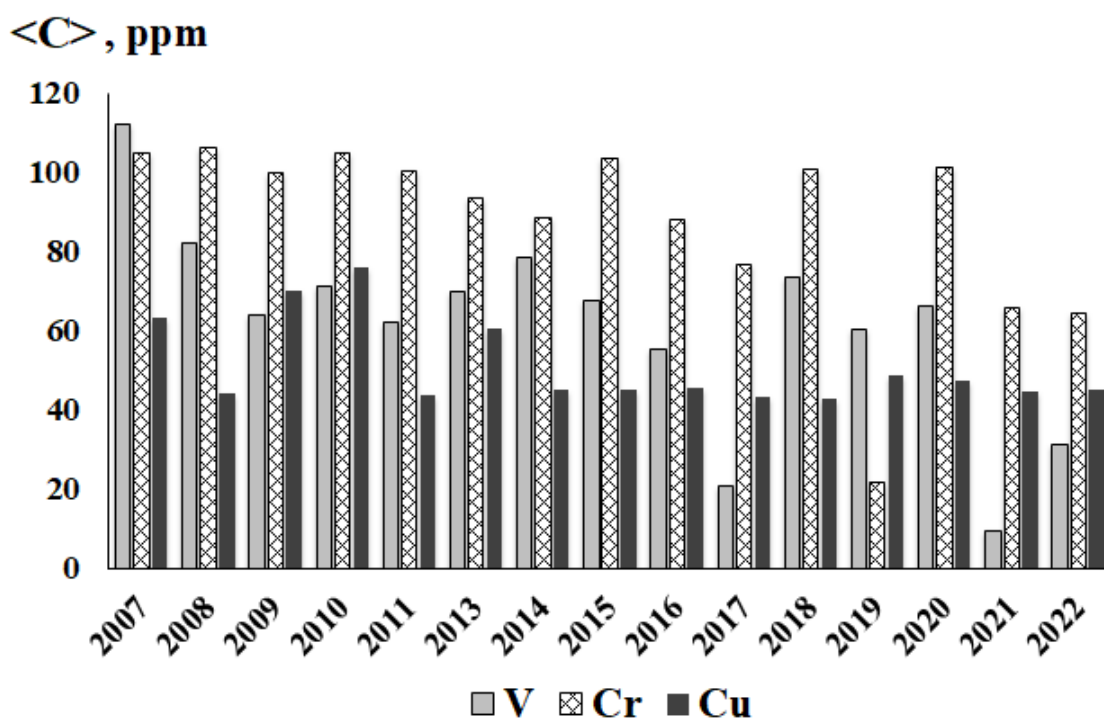
12,2 мг/кг, As – 12,15 мг/кг), а также никеля и свинца (Ni – 27 мг/кг, Pb – 27,4 мг/кг), почти одинаковы.

Концентрации диоксида титана ( $TiO_2$ ) и оксида железа ( $Fe_2O_3$ ) в аэрозоле измеряются процентами. Как показывает рисунок 3.4.2, в течение всего периода наблюдений, концентрация  $Fe_2O_3$  в разы превышает концентрацию диоксида титана. Заметные скачки в содержании  $Fe_2O_3$  наблюдались в 2007 (4,3 %) и 2021 (5 %) г., а концентрация  $TiO_2$  в 2009 г. (1,47 %) и 2019 (1,42 %) была высокой по сравнению с другими годами.



**Рисунок 3.4.2.** - Межгодовая вариация концентрации  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$  в АА

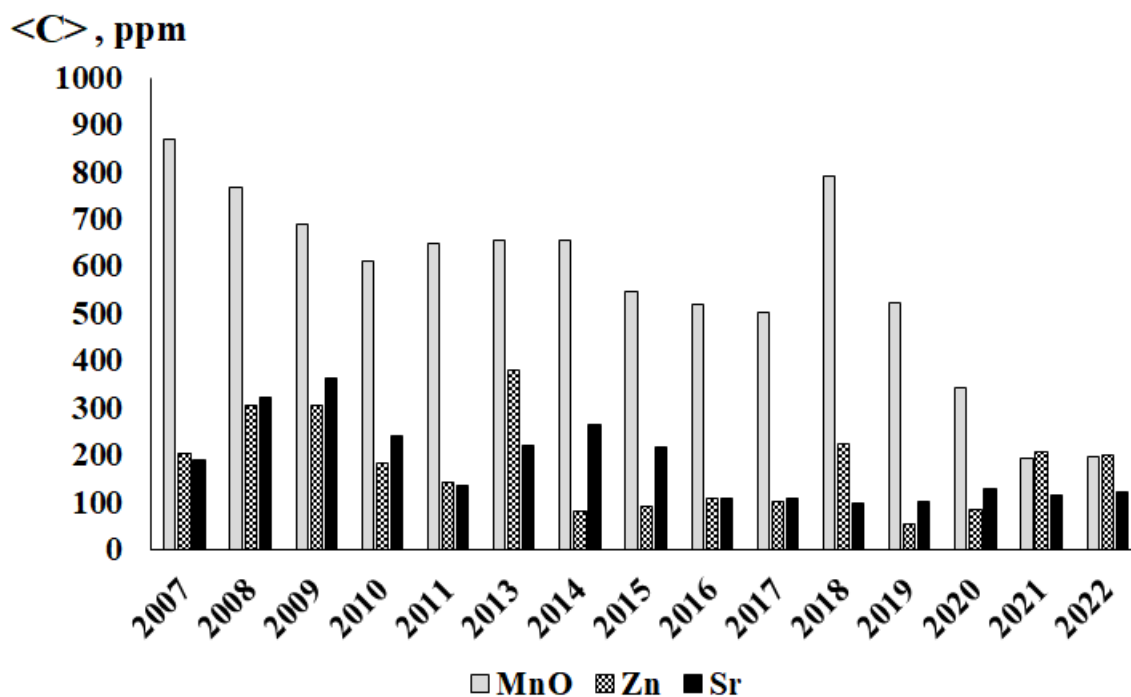
В 2007 и 2021 гг. пробы аэрозоля были собраны в городе Душанбе, поэтому предполагается, что высокая средняя концентрация  $Fe_2O_3$  связано с промышленными предприятиями, находящиеся на территории центральной части исследуемого региона. Так как в 2009 и 2019 г. пробы в основном были собраны в регионе Айваджа, а эта местность находится на самой крайней части южной границе страны, высокому содержанию  $TiO_2$  в аэрозоле способствовал трансграничный перенос этого металла.



**Рисунок 3.4.3.** - Межгодовая вариация концентрации V, Cr и Cu в АА

Самая высокая средняя концентрация ванадия обнаружена в 2007 г. (112,15 мг/кг), а низкие – в 2017 (21 мг/кг) и 2021 гг. (9,5 мг/кг), в другие годы содержание этого ТМ мало отличались друг от друга. Минимальное среднее содержание Cr зафиксировано в 2019 г. (21,83 мг/кг). Содержание хрома в остальные годы обнаружено примерно одинаково (рисунок 3.4.3). В содержании меди небольшие скачки наблюдались с 2007 по 2013 г., но начиная с 2014 и до 2022 г., концентрация Cu в пробах, незначимо отличаются. Межгодовой ход содержания MnO, Zn и Sr в атмосферной пыли представляет рисунок 3.4.4. По степени распространённости марганец занимает 14-ое место среди элементов и является вторым по содержанию в земной коре тяжёлым металлом после железа (0,03 % от общего числа атомов земной коры). В связи с этим его концентрация в составе атмосферной пыли и почве выше, чем у других элементов. Высокие скачки концентрации MnO наблюдались в 2007 г. (870 мг/кг) и 2018 г. (792 мг/кг). Минимальные средние концентрации MnO зафиксированы в 2021 и 2022 гг., и они почти одинаковые. Средняя

концентрация стронция в пробах пыли значительна и варьируется от 107,35 мг/кг (2016 г.) до 361,5 мг/кг (2009 г.).

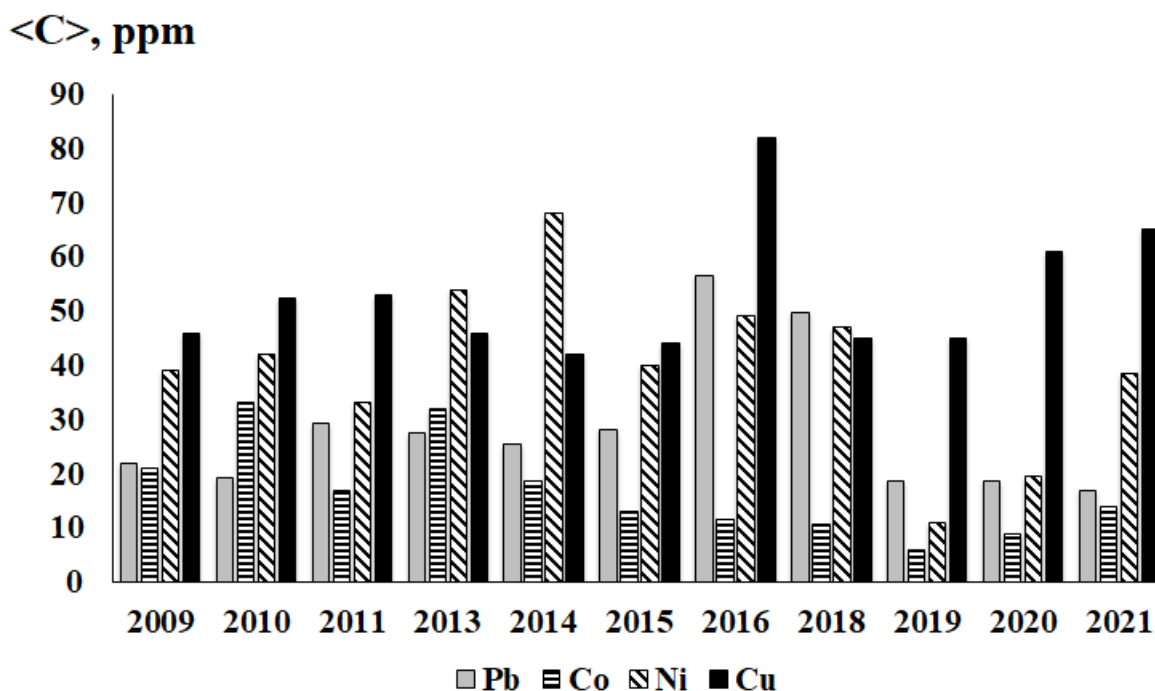


**Рисунок 3.4.4.** - Межгодовая вариация концентрации MnO, Zn и Sr в АА

В межгодовой вариации Sr за последние 7 лет, начиная с 2016 года, заметные скачки не наблюдались. В отличие от данных других авторов [11, 131-139] в данном исследовании среднее содержание Zn в пыли южного и центрального Таджикистана оказалось наименьшим. Северный Таджикистан лидирует по содержанию цинка из-за наличия свинцово-цинковых рудников (Кармазар, Большой Кони Мансур, Зарнисор (Алтынтопкан)) и промышленных предприятий по переработке металлов. Значимые пики в концентрации цинка наблюдались в 2008 (305 мг/кг), 2009 (305,4 мг/кг) и 2014 (381,35 мг/кг), в остальные годы мало отличаются.

Среднее содержание свинца в пробах почв оценивается, как умеренное. На рисунке 3.4.5. выделяются только два высоких скачка средней концентрации Pb: в 2016 (56,4 мг/кг) и 2018 (49,7 мг/кг) гг., превышающие ПДК для этого элемента (32 мг/кг). Заметные скачки в содержании кобальта в почве не наблюдались, в межгодовом ходе концентрации Co превышение ПДК (25 мг/кг) не зафиксировано.





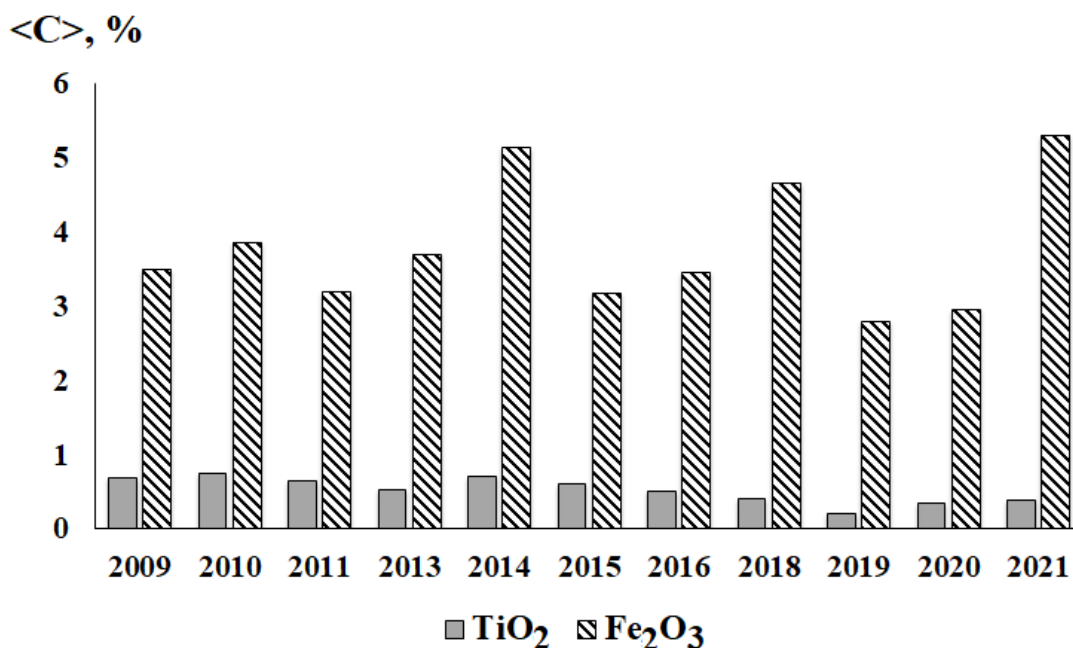
**Рисунок 3.4.5.** - Межгодовая вариация концентрации Pb, Co, Ni и Cu в почвах

Высокая средняя концентрация никеля отмечена в 2014 г. (68 мг/кг), а наименьшие средние концентрации в 2019 (11 мг/кг) и 2020 гг. (19,5 мг/кг). Превышение ПДК в среднем содержании Ni, в межгодовой вариации элемента не обнаружено. Территория южной и центральной частей Таджикистана умеренно загрязнена Cu, за все годы наблюдений средние концентрации элемента близки к его ПДК в почве (55 мг/кг), а в 2016 (82 мг/кг), 2020 (62 мг/кг) и 2021 гг. (65 мг/кг) ПДК превышался.

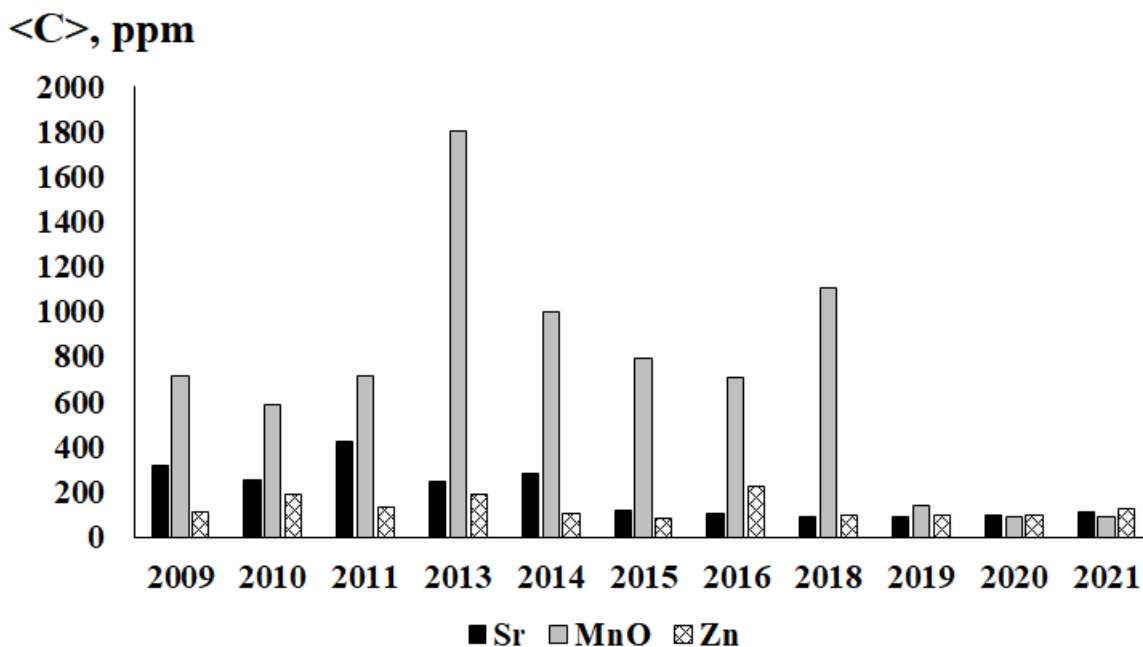
Межгодовой ход средних концентраций TiO<sub>2</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пробах почв представлен на рисунке 3.4.6. Как в пылевом аэрозоле, так и в почве региона, средние концентрации Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> доминируют над TiO<sub>2</sub>. Все среднегодовые концентрации диоксида титана ниже 1 % и не превышают ПДК (0,8 %). В АА и почвах разница в содержании Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> незначительная.

Максимальный скачок средней концентраций для MnO наблюдался в 2013 г. (1807 мг/кг), для Sr – в 2011г. (429 мг/кг). Скачки среднего содержания цинка наблюдались (рисунок 3.4.7.) только в 2015 (85 мг/кг), 2019 и 2020 г. (96 мг/кг), в другие годы ПДК Zn (100 мг/кг) превышен, то есть регион значительно загрязнен цинком. В последние три года 2019, 2020 и 2021 г.

зафиксировано резкое уменьшение  $MnO$ , такое уменьшение наблюдается в составе атмосферного аэрозоля, и эта аномалия в среднем содержании  $MnO$  связывается с источниками.



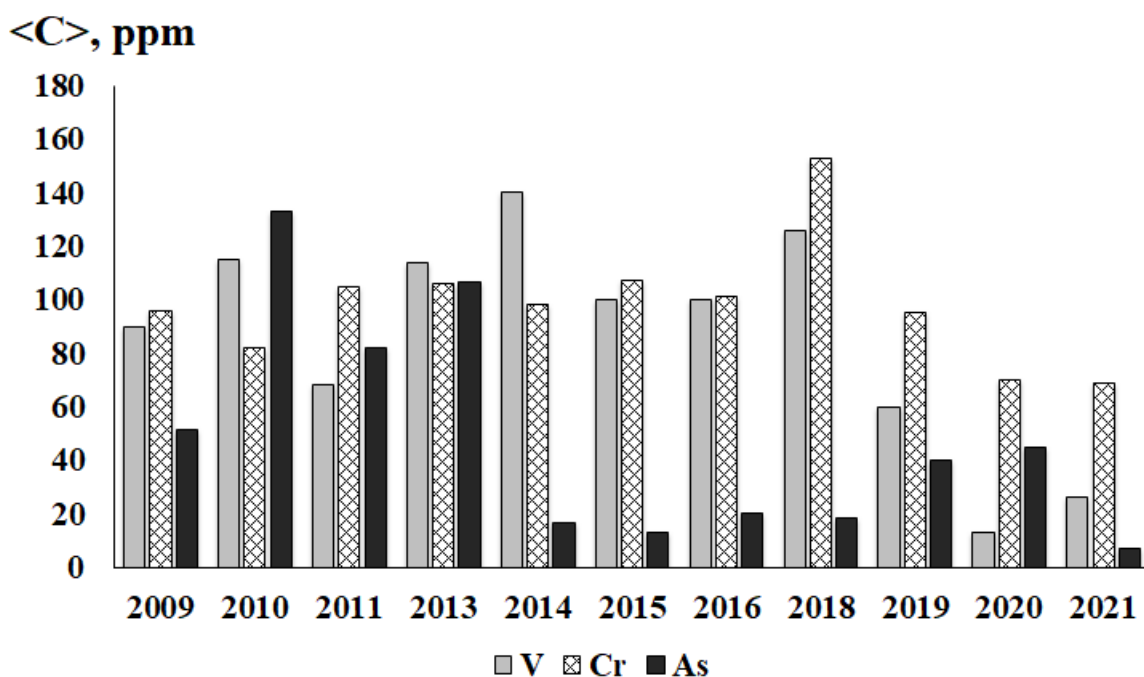
**Рисунок 3.4.6.** - Межгодовая вариация концентрации  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$  в составе проб почв



**Рисунок 3.4.7.** - Межгодовая вариация концентрации Sr,  $MnO$  и Zn в почв

Почва южного и центрального Таджикистана чрезвычайно сильно загрязнена мышьяком, это подтверждают параметры мультивариационного

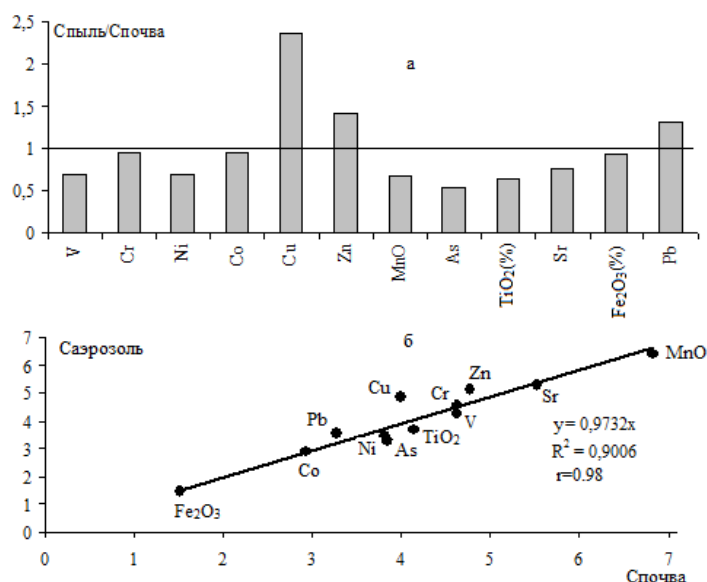
статистического анализа, такие как стандартное отклонение, коэффициент вариации, геохимический индекс загрязнения, экологический риск и индекс загрязнения. За период наблюдения средняя концентрация As в разы превышала ПДК для этого элемента.



**Рисунок 3.4.8.** - Межгодовая вариация концентрации V, Cr и As в почв

В 2010 (133,3 мг/кг) и 2013 гг. (106,5 мг/кг) ПДК превышает более, чем в 50 раз. Роль местных антропогенных источников (алюминиевый завод «ТАЛКО», ТЭЦ, цементные заводы и т.д.) в содержании As велика, вблизи этих промышленных предприятий наблюдались высокие концентрации мышьяка.

В 2018 г. (158 мг/кг) наблюдалось заметное превышение ПДК для хрома, в другие годы средние концентрации Cr были близки к его ПДК (100 мг/кг). Концентрации Cr в почве мало изменяются и по данным CV широкого разброса его содержания нет. Влияние антропогенных источников на содержание хрома мало, поэтому содержание Cr для почв региона характерно. С 2009 по 2018 гг. концентрация V оценивается, как умеренная, в последние три года 2019, 2020 и 2021 гг. наблюдались уменьшение (рисунок 3.4.8.).



**Рисунок 3.4.9.** - Соотношение концентрации ТМ в пробах АА к почве южной и центральной частей Таджикистана

На рис. 3.4.9. представлены соотношения концентрации тяжелых металлов в пыли к почве. Обнаружено, что концентрации Cu, Pb и Zn в пыли выше, чем в почве. Этот результат является тревожным, так как цинк и свинец относится к тяжелым металлам первого класса опасности. Эти отличие наглядно показывает рис. 3.4.9б, с коэффициентом корреляции  $r=0.98$ . Тяжелых металлов, расположенных выше линии – больше в аэрозоле, а ТМ, расположенных ниже линии – больше в почве.

## ГЛАВА IV. МУЛЬТИВАРИАЦИОННЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Статистический подход к оценке содержания тяжелых элементов в составе пыли и почвы даёт возможность определить уровень загрязнённости исследуемого региона, изменчивость концентрации металлов в составе пыли и почв, количественно выразить потенциальный экологический риск данного загрязняющего вещества на территории.

### **4.1. Статистический анализ вариации концентрации ТМ в пробах атмосферного аэрозоля и почв и оценки индекса загрязнений**

Содержание ТМ в атмосферном аэрозоле в городе Душанбе и в Айвадже связано с проблемой регионального и глобального трансграничного переноса этих веществ [3]. Атмосфера центрального и южного Таджикистана в холодное время года сильно загрязняется выбросами транспорта, ТЭЦ, цементного завода и ЖКХ частного сектора, а в теплое время – мощными пылевыми вторжениями с юга и запада страны [4, 5].

#### ***4.1.1. Статистический анализ и оценки индекса загрязнений ТМ в АА города Душанбе и Айваджа***

В таблицах 4.1.1. - 4.1.4. приведены данные по содержанию ТМ в пробах атмосферной пыли в Айвадже и в городе Душанбе и их статистические характеристики. Они позволяют оценить степень разброса полученных значений относительно средних. Концентрации элементов с высоким содержанием в земной коре – диоксида титана ( $TiO_2$ ) и оксида железа ( $Fe_2O_3$ ) – приведены в процентах, всех остальных – в мг/кг (ppm), 1 мг/кг (ppm) = 0,0001%.

Статистический анализ показал, что средние концентрации в АА Zn, As и Pb в Душанбе и Айвадже мало отличаются:  $\langle C \rangle$  – 138 мг/кг; 26,4 мг/кг; 31 мг/кг и 125 мг/кг; 22,8 мг/кг; 29,5 мг/кг, соответственно. Но максимальные концентрации этих ТМ в Айвадже оказалось выше:  $C_{max}$  – 345 мг/кг; 154 мг/кг; 163,5 мг/кг в Душанбе против 685,5 мг/кг; 195 мг/кг; 232 мг/кг.

**Таблица. 4.1.1.** - Статистические характеристики содержания ТМ 1-го и 2-го классов опасности в пробах атмосферной пыли города Душанбе

Параметр	Элементы						
	1-й класс опасности			2-й класс опасности			
	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Co	Cu
<C>	138,2	26,4	31	93,5	32,4	14,5	48
Медиана	114	18,3	24,3	101	31,85	14	45,7
Асимметрия	0,75	3	3,4	-1,9	0,2	0,75	5
C <sub>max</sub>	345 15.08.08	154 23.11.07	163,5 22.10.13	108 15.08.08	56 15.08.08	26 23.09.20	102 13.11.07
C <sub>min</sub>	36 12.08.19	2,65 03.07.19	5,4 21.04.17	34 23.09.20	14 02.05.20	2,25 22.10.13	43 19.08.17
σ	75,35	32,1	29,3	17,8	12	5,75	10,5
Sn	13,75	5,85	5,35	3,25	2,17	1,05	1,9
Δ	48,75	20,8	19	11,5	7,7	3,75	6,8
C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub>	9,5	58,5	30,3	3,2	4,1	11,5	2,4

**Таблица. 4.1.2.** - Статистические характеристики содержания ТМ 4-го класса опасности в пробах атмосферной пыли города Душанбе

Параметр	Элементы				
	4-й класс опасности				
	V	MnO	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<C>	62,5	495	0,5	149	3,3
Медиана	60,5	518	0,46	115	3
Асимметрия	0,26	- 0,02	2,25	2,35	1,2
C <sub>max</sub>	135 04.08.08	1040 13.11.07	1,45 12.08.19	402 15.08.08	5,8 03.07.21
C <sub>min</sub>	7 03.07.21	90 03.07.21	0,24 02.05.20	94,5 12.08.19	2,3 21.04.17
σ	31,4	296,3	0,28	76,5	1,05
Sn	5,75	54,1	0,05	14	0,2
Δ	20,3	191,7	0,18	49,5	0,7
C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub>	20,5	11,7	6,1	4,3	2,5

Средние и максимальные концентрации Cr, Ni, Co и Cu в пробах, собранных в двух регионах, – почти одинаковые, кроме максимальной концентрации Cu (Душанбе – 102 мг/кг, Айвадж – 190 мг/кг). Средние концентрации V, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiO<sub>2</sub> в исследуемых регионах незначительно отличаются.

**Таблица. 4.1.3.** - Статистические характеристики содержания ТМ 1-го и 2-го классов опасности в пробах атмосферной пыли Айваджа

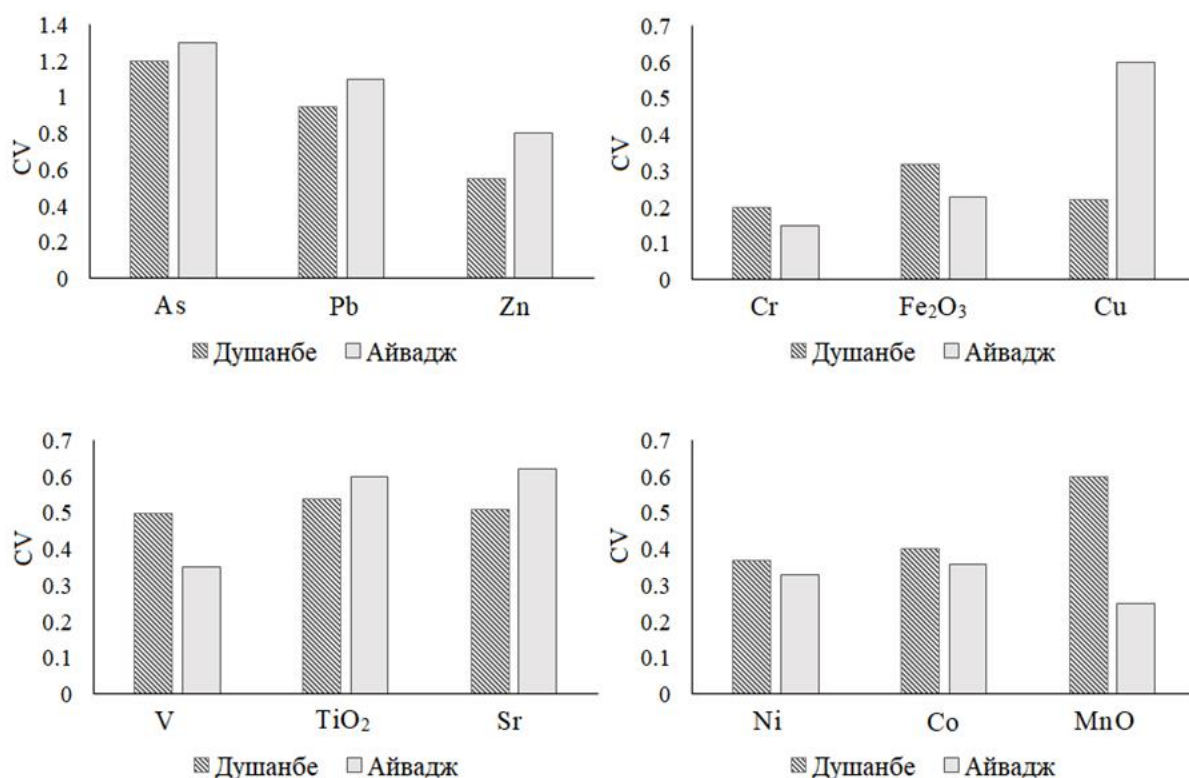
Параметр	Элементы						
	1-й класс опасности			2-й класс опасности			
	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Co	Cu
<C>	129	22,8	29,5	97,3	29,5	12	53,7
Медиана	84	12,5	23	103	27,2	12,5	45
Асимметрия	2,7	3,15	5,3	-3,2	2,35	0,54	3,35
C <sub>max</sub>	685,5 16.09.09	195 13.07.10	232 26.04.14	111,75 23.07.10	69,8 16.09.09	28 08.10.10	190 25.08.10
C <sub>min</sub>	50,6 04.07.14	4,85 14.12.13	1,8 09.11.16	6,65 21.05.11	11,6 03.08.15	1,95 06.05.11	31,3 06.05.11
σ	101,5	30,45	32,55	14,9	9,65	4,4	31,75
Sn	10,35	3,1	3,3	1,5	1	0,45	3,25
Δ	27,8	8,3	8,85	4	2,6	1,2	8,65
C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub>	13,5	40,1	129	16,8	6	14,3	6,1

**Таблица. 4.1.4.** - Статистические характеристики содержания ТМ 4-го класса опасности в пробах АА Айваджа

Параметр	Элементы				
	4-й класс опасности				
	V	MnO	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<C>	66	596,5	0,6	176,2	3,1
Медиана	65,5	605	0,53	118	2,9
Асимметрия	0,2	-1,3	5,2	1,2	3,1
C <sub>max</sub>	136 13.07.10	925,3 18.10.16	2,86 17.03.10	416 01.06.10	6,8 04.07.14
C <sub>min</sub>	3 19.03.10	88,7 02.06.16	0,24 03.08.15	96 2.06.16	2,3 03.08.15
σ	23,15	150,5	0,35	108,5	0,7
Sn	2,35	15,3	0,04	11,1	0,07
δ	6,3	41	0,1	29,5	0,2
C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub>	45,3	10,4	11,5	4,3	3

Стандартные отклонения содержания тяжелых металлов оказались высокими для всех ТМ кроме TiO<sub>2</sub>. Это указывает на широкий разброс концентраций в пыли. Значения асимметрии разброса для Cu, Zn, As, TiO<sub>2</sub>, Sr, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Pb оказались выше единицы, то есть концентрации этих элементов положительно смещены в сторону более низких значений, что подтверждается

и тем, что их медианы меньше, чем их средние концентрации. Асимметрия V близка к нулю, а асимметрия разброса Cr и MnO отрицательна, т.е. концентрации этих ТМ положительно смещены в сторону высоких значений.



**Рисунок 4.1.1.** - Коэффициент вариации (CV) ТМ в АА Душанбе и Айваджа

Важной характеристикой местности является последовательность интенсивности загрязнителей. Значения коэффициента вариации для ТМ в АА Душанбе уменьшается в ряду: As (1,2) > Pb (0,95) > MnO (0,6) > Zn (0,55) > TiO<sub>2</sub> (0,54) > Sr (0,51) > V (0,5) > Co (0,4) > Ni (0,33) > Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,32) > Cu (0,22) > Cr (0,2) > V, а в составе атмосферной пыли Айваджа опасность загрязнителей меняется в другом порядке: As (1,3) > Pb (1,1) > Zn (0,8) > Sr (0,62) > TiO<sub>2</sub> (0,6) > Cu (0,59) > Co (0,36) > V (0,35) > Ni (0,3) > MnO (0,25) > Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0,23) > Cr (0,13) (рисунок 4.1.1.).

Концентрации As, Pb, Zn, MnO, Sr, TiO<sub>2</sub>, V, Co в пыли города Душанбе и As, Pb, Zn, Sr, TiO<sub>2</sub>, Cu в пыли Айваджа показали высокую изменчивость (CV>35%), что свидетельствует об интенсивном антропогенном воздействии.

Концентрации Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu и Cr в атмосферном аэрозоле Душанбе и Co, V, Ni, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в составе АА Айваджа изменялись умеренно (15% < CV < 35%),



то есть антропогенная деятельность имеет определенную степень влияния на них. Концентрация Cr в пыли Айваджа обладала самой низкой изменчивостью ( $CV = 0,13$ ), т.е. антропогенная деятельность мало влияет на содержание хрома.

**Таблица. 4.1.5.** - Значения фактора загрязнений (ФЗ) и индекса нагрузки загрязнений ТМ в пыли Душанбе и Айваджа

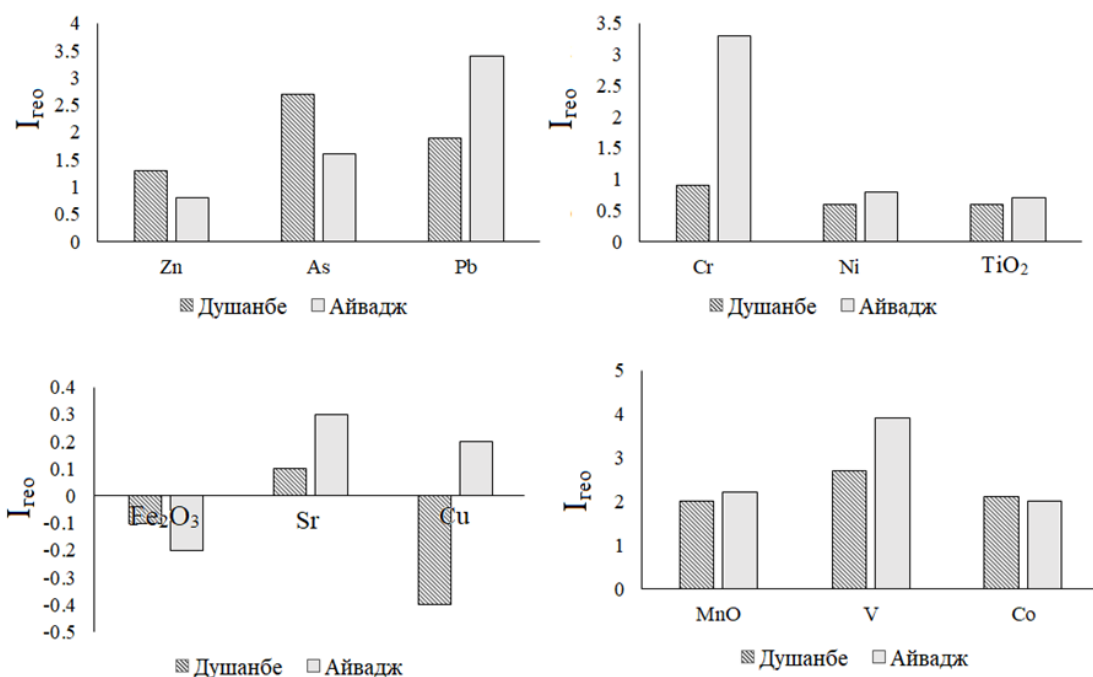
Элементы	Душанбе		Айвадж	
	ФЗ	ИНЗ	ФЗ	ИНЗ
Zn	3,8	3,3	2,6	2,1
As	10	6,8	4,7	3
Pb	5,7	4,3	16,7	10
Cr	2,8	2,7	14,6	14,3
Ni	2,3	2,15	2,5	2,45
Co	6,4	6,6	6,1	5,6
Cu	1,1	1,1	1,7	1,6
V	9,5	7,5	22	20
MnO	5,6	4,3	6,7	6,4
TiO <sub>2</sub>	2,2	2	2,4	2,2
Sr	1,6	1,45	1,8	1,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4	1,4	1,3	1,3

Вычислены факторы загрязнения тяжелых металлов в атмосферной пыли города Душанбе и Айваджа и представлены в таблице 4.1.5. На основании классификации фактора загрязнения Cu, Sr, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Ni, Cr в пыли обоих регионов были отнесены в класс умеренных загрязнителей ( $1 < \text{ФЗ} < 3$ ), за исключением Cr в пробах пыли Айваджа, где хром попал в класс очень сильных загрязнителей ( $\text{ФЗ} = 14,6$ ). Zn, Pb, MnO в пыли города Душанбе и As в пыли Айваджа отнесены в класс значительных загрязнителей ( $3 < \text{ФЗ} < 6$ ). В класс очень сильных загрязнителей были отнесены As, Co, V в атмосферной пыли города Душанбе и Pb, Cr, Ni, V, MnO в пыли Айваджа ( $\text{ФЗ} > 6$ ).

Наибольшее значение ИНЗ было обнаружено в Айвадже для Pb (14,3) и V (20), а наименьшее в обеих местностях – для Cu, Sr, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Тем не менее,

поскольку значения ИНЗ были выше единицы в обоих регионах, атмосферный аэрозоль Айваджа и Душанбе загрязнен указанными ТМ.

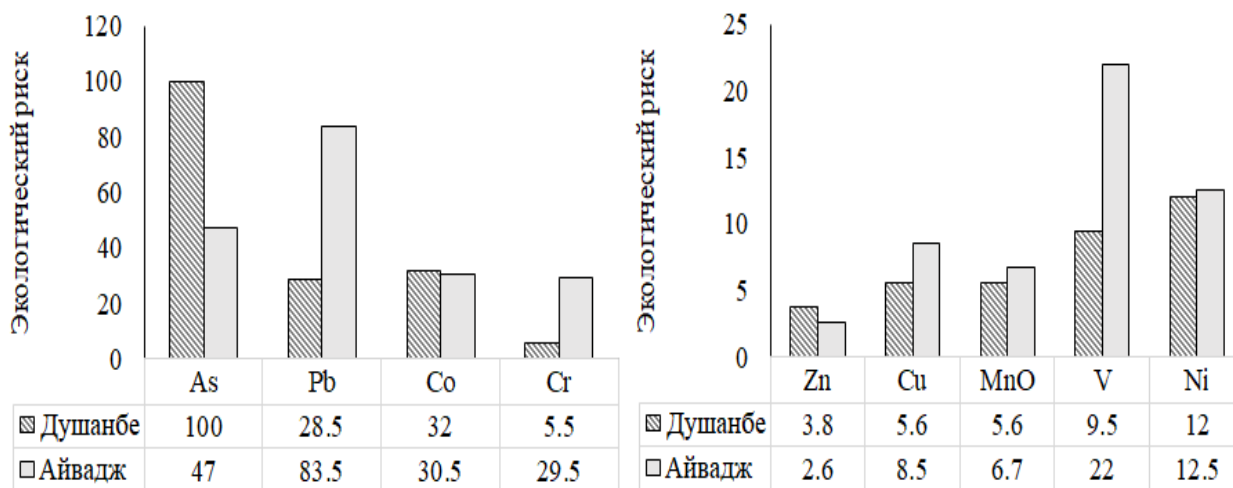
Значения индекса геоаккумуляции  $I_{geo}$  для ТМ в пыли города Душанбе и Айваджа, представлены на рисунке 4.1.2.  $I_{geo}$  был рассчитаны для всех металлов, чтобы оценить их диапазон загрязнения.



**Рисунок 4.1.2.** - Индекс геоаккумуляции ТМ в пыли Душанбе и Айваджа

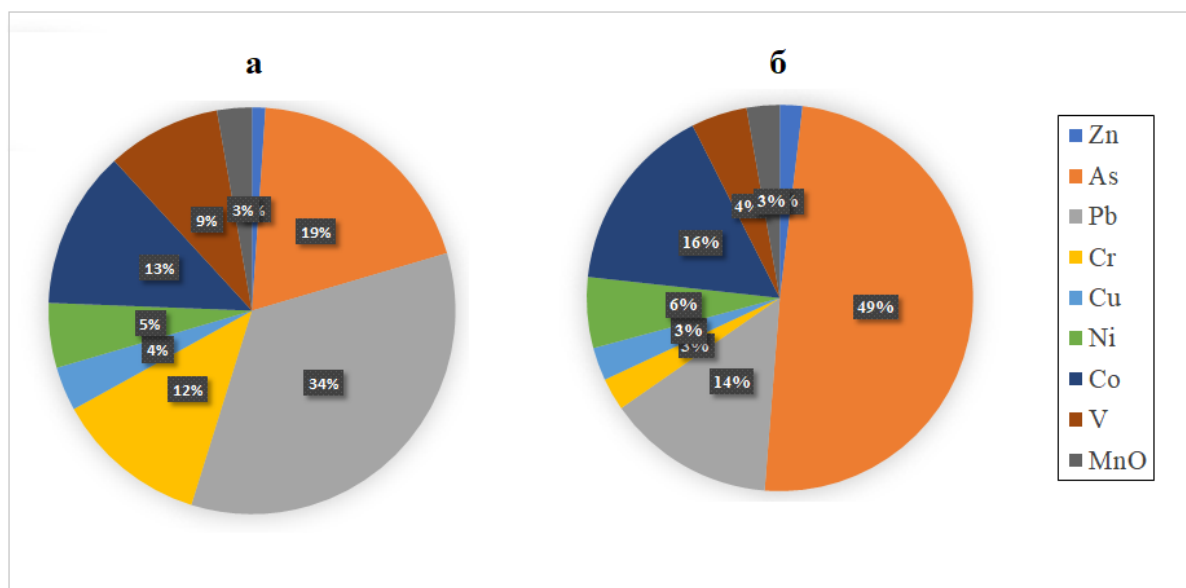
Среднее значение индекса геоаккумуляции ТМ в пыли Душанбе уменьшается в ряду  $As (2,75) > V (2,65) > Co (2,1) > MnO (2) > Pb (1,9) > Zn (1,3) > Cr (0,9) > Ni (0,65) > TiO_2 (0,6) > Sr (0,1) > Fe_2O_3 (-0,1) > Cu (-0,4)$ , а в пыли Айваджа  $I_{geo}$  уменьшается в следующем порядке  $V (3,9) > Pb (3,4) > Cr (3,3) > MnO (2,2) > Co (2) > As (1,6) > Zn (0,8) > Ni (0,75) > TiO_2 (0,7) > Sr (0,3) > Cu (0,2) > Fe_2O_3 (-0,2)$ . Отрицательные значения  $I_{geo}$  для  $Fe_2O_3$  и  $Cu$  (за исключением  $Cu$  в пробах Айваджа) означают, что пыль не загрязнена этими ТМ ( $I_{geo} < 0$ ). К классу от незагрязненных до умеренно загрязненных ( $0 < I_{geo} \leq 1$ ) попали  $Sr$ ,  $TiO_2$ ,  $Ni$  в пыли обоих регионов,  $Cr$  в пробах Душанбе.  $Pb$ ,  $Zn$  и  $MnO$  в пыли Душанбе, а также  $As$  и  $Co$  в пыли Айваджа отнесены к группе умеренно загрязненных ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ). В класс от умеренных до сильных загрязнителей

попали As, V и Co в пыли Душанбе и MnO в пробах пыли Айваджа ( $2 < I_{\text{geo}} \leq 3$ ). По оценке индекса геоаккумуляции установлено, что Айвадж сильно загрязнен следующими элементами: V, Pb, Cr ( $3 < I_{\text{geo}} \leq 4$ ) (рис.4.1.2.).



**Рисунок 4.1.3.** - Экологический риск (ЭР) тяжёлых металлов в пыли города Душанбе и Айваджа

На рисунке 4.1.3. представлены экологические риски для АА Айваджа и Душанбе, основанные на подходе Хакансона [119]. Оценки показали, что средние значения ЭР для большинства тяжелых металлов были низкими, за исключением As (ЭР=100; 47) в пыли обоих регионов и Pb (ЭР= 83,5) в пыли Айваджа, причем As в пыли Айваджа соответствует «среднему потенциальному экологическому риску» ( $40 < \text{ЭР} < 80$ ), а Pb в пыли Айваджа и As в пробах Душанбе проявляет «значительный потенциал экологического риска» ( $80 < \text{ЭР} < 160$ ). Основываясь на этих результатах, можно сделать вывод, что для большинства ТМ характерен «низкий потенциальный экологический риск», то есть эти тяжелые металлы не оказывают особо неблагоприятного воздействия на экосистему. Тревожно то, что среди ТМ, обнаруженных в пыли Душанбе и Айваджа, уровень экологического риска особо опасных ТМ таких, как As и Pb был самым высоким. Эти результаты совпадают с оценками по индексу геоаккумуляции; As и Pb имеют наибольшие значения  $I_{\text{geo}}$  и самый высокий уровень загрязнения (от умеренного до сильного загрязнения).



**Рисунок 4.1.4.** - Вклад ТМ в ИР пыли Айваджа (а) и Душанбе (б)

Для оценки загрязнения тяжелыми металлами пыли исследуемых регионов был рассчитан индекс потенциального экологического риска (ИР). Индекс риска для Душанбе составил ИР=202, а для Айваджа ИР=245. В Душанбе наибольший вклад в ИР дает As (49,5%), за ним следуют Co (16%) и Pb (14%). В пробах пыли Айваджа наибольший вклад в ИР внес Pb (34 %), за ним следуют As (19 %), Co (13 %) и Cr (12%). Таким образом, эти ТМ (As, Pb, Co, Cr) представляют потенциальную опасность для местной экосистемы (рисунок 4.1.4).

По оценке на основе индекса экологического риска, As и Pb являются приоритетными загрязняющими веществами на исследуемых территориях. Следует отметить, что индекс риска широко варьируется в зависимости от того, сколько элементов рассматривается в исследовании.

#### **4.1.2. Статистический анализ и оценки индекса загрязнений ТМ в почвах**

На содержание тяжелых металлов в почвах южного и центрального Таджикистана влияют не только антропогенные источники, но и природные. Регион находится на пути пылевых бурь, которые вторгаются через южные и западные границы страны.

В таблицах 4.1.6. и 4.1.7. приведены данные по содержанию ТМ в пробах почв южной и центральной частей Таджикистана и их статистические характеристики.

**Таблица. 4.1.6.** - Статистические характеристики содержания ТМ 1-го и 2-го классов опасности в пробах почв южной и центральной частей Таджикистана

Параметр	Элементы						
	1-й класс опасности			2-й класс опасности			
	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Co	Cu
<C>	121	35	22,5	90,2	37,8	14,5	51,5
Медиана	97	15,6	21,6	94	37	13	45,8
Асимметрия	3,6	3	4,4	0,25	2,1	2,25	3
C <sub>max</sub>	692	259	189	169	142	61	127
	5.02.16 ТЭЦ-1	15.06.10 ТАЛКО, запад	5.02.16 ТЭЦ-1	13.05.18 Душ. Аэроп.	6.08.14 ТАЛКО, север	15.06.10 ТАЛКО, запад	6.08.14 ТАЛКО, север
C <sub>min</sub>	21	0,4	0,97	48	69	0,2	26
	20.09.09 Пуст. Шаартуз	2.07.19 Душ. Зарафш.	19.05.21 Душ. Сул.Ка бир	20.09.09 Пуст. Шаарту з	27.08.20 Душ. Текстиль	2.07.19 Душ. Зарафш.	6.08.14 ТАЛКО, восток
σ	84,5	47,7	22	20,3	21,6	10,6	16
Sn	0,71	0,4	0,2	0,17	0,2	0,1	0,1
Δ	19,5	11	5	4,6	5	2,4	3,6
C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub>	33	632	195,5	3,5	20,4	275	5
ПДК	100	2	32	100	85	25	55
Кларк	50/83	6/1,8	10/16	150/83	40/58	8/1,8	20/47
<C>/K <sup>почв</sup>	2,4	5,8	2,25	0,6	0,9	1,8	2,6
<C>/K <sup>зк</sup>	1,45	19,5	1,4	1,1	0,7	8,1	1,1
<C>/ПДК	1.2	17,5	0,7	0,9	0,4	0,6	0,9

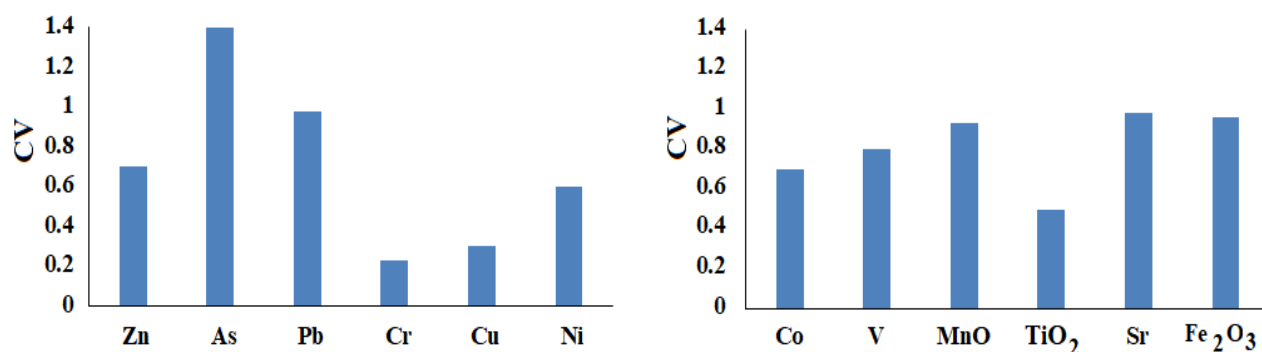
Средняя концентрация ТМ в поверхностных слоях почвы южного и центрального Таджикистана убывает в одинаковом порядке Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > TiO<sub>2</sub> > MnO > Sr > Zn > Cr > V > Cu > Ni > As > Pb > Co. Концентрации элементов варьировались следующим образом: Zn от 21 до 692 мг/кг, As от 0,4 до 259 мг/кг, Pb от 0,97 до 189 мг/кг, Cr от 48 до 169 мг/кг, Ni от 6,9 до 142 мг/кг, Co от 0,2 до 61 мг/кг, Cu от 26 до 127 мг/кг, V от 1,3 до 251 мг/кг, MnO от 89 до 2675 мг/кг, Sr от 19 до 1701 мг/кг, TiO<sub>2</sub> от 0,013 до 1,15 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 1,4 до 47%.

**Таблица. 4.1.7. - Статистические характеристики содержания ТМ 4-го классов опасности в пробах почв южной и центральной частей Таджикистана**

Параметр	Элементы				
	4-й класс опасности				
	V	MnO	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<C>	69	547	0,5	175	4,3
Медиана	57	514	0,4	113	3,8
Асимметрия	0,8	1,4	0,07	6,25	9,6
C <sub>max</sub>	251 6.08.14 ТАЛКО, север	2675 10.12.13 г.Турсунз.	1,15 15.06.10 ТАЛКО, запад	1701 2.07.11 Хоросан	47 20.09.09 Восточный ТЭЦ
C <sub>min</sub>	1,3 19.05.21 ЦТС-2	89 27.03.20 Душ. Вор.Кург.	0,013 10.12.13 Чоряккор.	19 19.05.21 П.Ахмад Д.	1,4 20.09.09 Пуст. Шаартуз
σ	53,1	510	0,022	172	4,15
Sn	0,4	4,3	0,002	1,45	0,03
Δ	12,2	117	0,05	40	0,95
C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub>	195	30	89	90	35
ПДК	150	2374	0,8	100	-
Кларк	100/90	850/1000	0,46/0,56	300/340	3,8/4,1
<C>/K <sup>почв</sup>	0,7	0,65	1,05	0,6	1,15
<C>/K <sup>зк</sup>	0,8	0,55	0,9	0,5	1,05
<C>/ПДК	0,5	0,23	0,6	1,75	-

Высокие среднеквадратичные отклонения для всех элементов, кроме TiO<sub>2</sub> (0,022), указывают на широкий разброс ТМ в почве региона. Асимметрия следующих элементов оказались выше единицы Ni, Co, Cu, Zn, As, MnO, Sr, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Pb и означает, что концентрации этих элементов положительно смещены в сторону более низких концентраций. Значения асимметрии разброса для TiO<sub>2</sub> и Sr близки к нулю. Отношение средних концентраций Zn, As и Sr к их ПДК выше единицы, что указывает на значительное загрязнение региона этими ТМ (таблица 4.1.6., 4.1.7.). Средние концентрации Zn, As, Pb, Co, Cu и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> также оказались выше их кларка в почве и в земной коре. Обнаружение высоких концентраций Zn (692 мг/кг) и Pb (189 мкг/кг) на территории ТЭЦ №1 г. Душанбе; As (259 мг/кг), Ni (142 мг/кг), Co (61 мг/кг), Cu (127 мг/кг), V (251

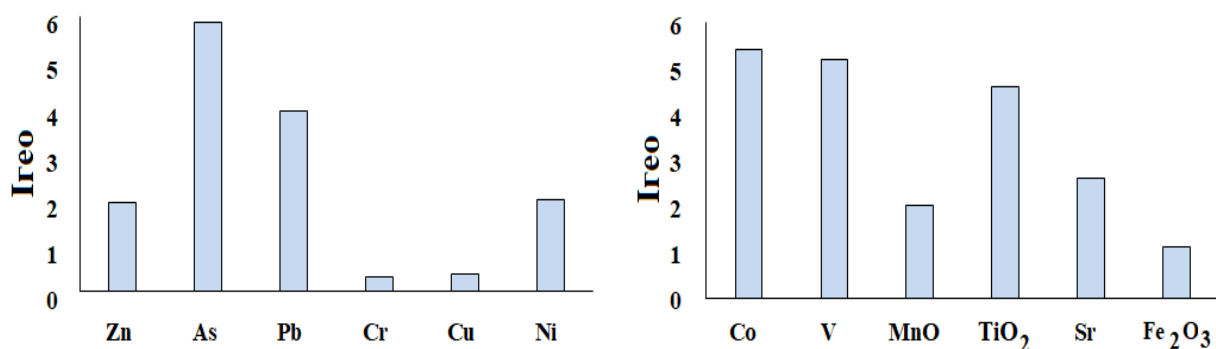
мг/кг) и  $\text{TiO}_2$  (1,15%) на территории алюминиевого завода «ТАЛКО», видимо, указывает на антропогенных источников указанных тяжелых элементов.



**Рисунок 4.1.5.** - Коэффициент вариации (CV) тяжелых металлов в почвах южного и центрального Таджикистана

Коэффициент вариации ТМ в поверхностных слоях почвы региона возрастает в следующем порядке  $\text{Cr} (0,23) < \text{Cu} (0,3) < \text{TiO}_2 (0,5) < \text{Ni} (0,6) < \text{Zn} (0,7) < \text{Co} (0,73) < \text{V} (0,8) < \text{MnO} (0,93) < \text{Fe}_2\text{O}_3 (0,96) < \text{Pb} (0,98) < \text{Sr} (0,982) < \text{As} (1,4)$ . Очень высокий CV для As, Sr, Pb,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MnO, V, Co, Zn и Ni указывает на то, что концентрация этих ТМ сильно различается в зависимости от разных мест отбора проб в исследуемом регионе (рисунок 4.1.5.). Это также отражает неоднородное распределение концентраций этих ТМ в исследуемом регионе. Коэффициент вариации для Cr и Cu имеет значение более 20%, но ниже 50%, что указывает на умеренную степень вариации.

Средние значения  $I_{\text{geo}}$  увеличивались в следующем порядке:  $\text{Cr} < \text{Cu} < \text{Fe}_2\text{O}_3 < \text{Zn} < \text{MnO} < \text{Ni} < \text{Sr} < \text{Pb} < \text{TiO}_2 < \text{V} < \text{Co} < \text{As}$ . Средние значения  $I_{\text{geo}}$  для Cr и Cu лежат на интервале от незагрязнённого до умеренно загрязненного. Средние значения  $I_{\text{geo}}$  для  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Zn, Ni и MnO показали, что почва территории южного и центрального Таджикистана умеренно загрязнена этими ТМ. Sr попал в класс от умеренно загрязнённого до сильного (рисунок 4.1.6.). Индекс геоаккумуляции для Pb соответствует очень сильному загрязнению. Все остальные ТМ, такие как  $\text{TiO}_2$ , V, Co и As относятся к группе чрезвычайных загрязнителей, этот результат означает, что эти тяжелые элементы в значительной степени накапливаются в почвах исследуемого региона.



**Рисунок 4.1.6.** - Индекс геоаккумуляции ТМ в почвах южного и центрального Таджикистана

**Таблица 4.1.8.** - Факторы загрязнений (ФЗ), индексы нагрузки загрязнений, экологические риски и уровни токсичности ТМ в почве южного и центрального Таджикистана.

Элементы	ФЗ	ИНЗ	ЭР	T <sub>i</sub>
<b>Zn</b>	5,8	5	11,5	2
<b>As</b>	85,55	43	855	10
<b>Pb</b>	23,2	15,8	116	5
<b>Cr</b>	1,9	1,85	3,75	2
<b>Cu</b>	2	1,95	10	5
<b>Ni</b>	5,4	4,7	27,2	5
<b>Co</b>	65,4	54	327	5
<b>V</b>	53,4	34,8	107	2
<b>MnO</b>	6,2	3,6	6,1	1
<b>TiO<sub>2</sub></b>	37	29	-	-
<b>Sr</b>	9,2	7,6	-	-
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,2	2,85	-	-

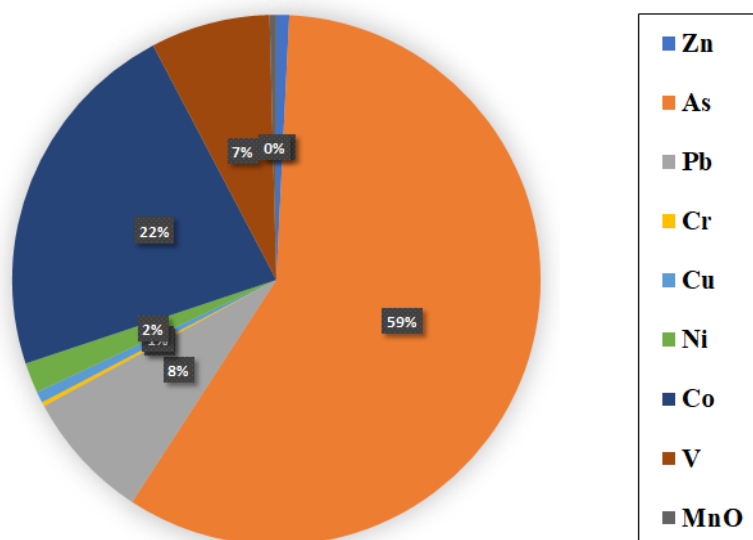
По результатам расчёта фактора загрязнения тяжёлых металлов в составе почв установлено, что в группу очень сильных загрязнения попали As, Co, V, Pb, TiO<sub>2</sub>, Sr и MnO (таблица 4.1.8.). Zn, Ni и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> относятся к классу



значительных загрязнителей ( $3 < \Phi З < 6$ ). Почва южной и центральной частей Таджикистана мало или умеренно загрязнена Cr (1,9) и Cu (2).

Результаты расчёта индекса нагрузки загрязнения показывают, что регион очень сильно загрязнен следующими ТМ: As, Co, V, Pb, TiO<sub>2</sub>, Sr (ИНЗ > 5), высоко загрязнен Zn и Ni ( $4 < \text{ИНЗ} \leq 5$ ), умеренно загрязнен MnO ( $3 < \text{ИНЗ} \leq 4$ ) и мало загрязнен Co и Cu ( $1 < \text{ИНЗ} \leq 2$ ).

ЭР широко используется для оценки потенциального экологического риска, вызванного загрязняющими веществами, такими как тяжелые металлы, и их воздействия на экологическую систему. Оценка ЭР учитывает токсическое действие металлического элемента наряду с измеренной концентрацией в почве по сравнению с фоновым значением тяжелого металла в земной коре (уравнение 5). Подробные результаты потенциального фактора экологического риска отдельных элементов представлены в таблице 4.1.8.



**Рисунок 4.1.7.** - Вклад ТМ в ИР почв южного и центрального Таджикистана

ЭР классифицируются по четырем категориям, таким как низкий риск, умеренный риск, значительный риск и высокий риск. Результаты ЭР варьировались от 3,75 до 855, что указывает на то, что As и Co отнесены к группе высокого потенциального риска, Pb и V имеют значительный потенциал

риска, остальные ТМ такие, как Ni, Zn, Cu, MnO, Cr в почвах изучаемой территории относятся к категории низкого риска.

Индекс риска ТМ в почвах южного и центрального Таджикистана составил ИР=1463,5, этот показатель очень высокий. В почвах наибольший вклад в ИР дает As (59%), за ним следуют Co (22%), Pb (8%) и V (7%). Вклад остальных ТМ в ИР почв региона очень мал. По результатам расчёта ИР почв As и Co являются основными загрязняющими веществами на исследуемом регионе (рисунок 4.1.7.).

#### **4.2. Сравнительный и корреляционный анализ содержания ТМ в аэрозоле и почвах Таджикистана и других регионах мира**

Обычной практикой является сравнение средних концентраций ТМ в пыли различных городских сред [129, 134], хотя общепринятые выборки и аналитические процедуры пока не существуют. В табл. 4.2.1. концентрации тяжелых металлов в пыли Душанбе и Айваджа сравниваются с данными по другим территориям, включая крупные города мира [17, 127 – 135, 113].

Средняя концентрация Pb и Zn в пыли Душанбе и Айваджа, гораздо ниже, чем в других городах, а средняя концентрация As оказалось выше всех, за исключением Гонконга. Концентрация Cr близка к его концентрациям в Северном Таджикистане и Амурской области, ниже, чем в Баоцзи, Сиане и Гонконге, но выше по сравнению с остальными городами. Средняя концентрация Ni в исследуемых регионах оказалась ниже, чем в Амурской области, но в сравнении с Луандой и Оттавой выше, а с другими городами аналогична. Концентрация Co в пыли Душанбе и Айваджа близка к данным по северному Таджикистана, Баоцзи, Гуанчжоу, Калькутте и Осло, но ниже, чем в Амурской области и выше, чем в других городах. Концентрация Cu такая же, как в других городах, кроме Баоцзи, Гонконга, Гуанчжоу, Авилеса, Осло, Амурской области и Тегерана, в этих регионах концентрация Cu выше.

**Таблица 4.2.1.** - Сравнение концентраций тяжелых металлов (мг/кг) в пыли Душанбе, Айвадж и других городов в мире

	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Co	Cu	V	MnO	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Душанбе	138	26,4	31	93,5	32,4	14,5	48	62,5	495	0,5	149	3,3
Айвадж	129	22,8	29,5	97,3	29,5	12	53,7	66	596	0,6	176	3,1
Северный Таджикистан [17]	1056	18,2	61,3	96,3	41	10,1	55,7	63,3	305	0,5	174	4,5
Баоцзи [127]	715,3	19,8	433,2	127	48,8	16	123,2	89	804	-	-	-
Сиань [128]	421,4	10,6	230,5	167	-	-	95	-	687	-	-	-
Гуанчжоу [129]	586	-	240	78,8	23	13	176	23	481	-	-	-
Гонконг [130]	3840	66,8	120	124	28,6	9,5	110	36,6	594	-	-	-
Оттава [131]	112,5	1,3	39	43,3	15,2	8,3	65,8	34	431	-	-	-
Авилес [132]	4892	17,5	514	41,6	27,5	7,0	183	28,1	1661	-	-	-
Калькутта [133]	159	23	536	54	42	15,6	44	77	619	-	-	-
Луанда [134]	317	5	351	26	10	2,9	42	20	258	-	-	-
Осло [137]	412	-	180	-	41	19	123	-	833	-	-	-
Тегеран [114]	267	9,4	110	42	27,8	-	94,2	-	692	-	-	-
Амурская обл. [135]	899	18,2	185	96	93	52	212	119	-	-	1416	-

Средняя концентрация V в Таджикистане ниже, чем в Амурской области, Калькутте и Баоцзи, такая же, как в Северном Таджикистане, но выше, чем в других городах. Концентрация MnO в пыли Душанбе и Айваджа ниже, чем во всех других городах, кроме Северного Таджикистана. Данные о концентрации TiO<sub>2</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> приведены только для Душанбе, Айваджа и Северного Таджикистана, средние концентрации TiO<sub>2</sub> во всех регионах одинаковы, но концентрация Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в Северном Таджикистане оказалось выше. Концентрация Sr в Тегеране выше, чем во всех остальных регионах, в Айвадже и Северном Таджикистане одинаковы, в Душанбе – ниже всех. Следует отметить, что для каждого региона характерен свой элементный состав. Наблюдаемые сходства, а также различия, могут не отражать реального природного и антропогенного разнообразия между разными региональными условиями.

Для определения состояния загрязнения почвы южной и центральной частей Таджикистана было проведено сравнение с другими странами, результаты которого приведены в таблице 4.2.2. Сравнение результатов исследуемого региона с изучаемыми странами [136, 137] выявило большие

различия в концентрации металлов. На севере Таджикистана концентрация Zn оказалось выше всего, его концентрация в Италии и на изучаемой территории близки, в Малайзии выше, а в других регионах ниже. Средняя концентрация As и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на территории Таджикистана выше, чем в других странах.

**Таблица 4.2.2.** - Концентрации тяжелых металлов (мг/кг) в почвах южного и центрального Таджикистана и других регионов мира

	Zn	As	Pb	Cr	Ni	Co	Cu	V	MnO	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Южные и центральные части Таджикистана	121	35	22,5	90,2	37,8	14,5	51,5	69	547	0,5	175	4,3
Северный Таджикистан [17]	994,8	51	135	98	37	11,7	45	72	394	0,74	164,5	4
Белград [136]	268,4	-	350	70,2	124	-	122	-	641,8	-	-	-
Каталония [136]	15,22	-	4,3	9,5	11,3	-	3,8	-	213,7	-	-	-
Гана [136]	35,02	-	13,3	961	245	-	28	-	544,9	-	-	-
Даэ, Китай [137]												
Гомбе, Нигерия [136]	10,1	-	19,3	76,4 4	29,1	-	5,03		465,5	-	-	-
Тегеран [137]	134	2,6	42,5	82,7	30,3	14,1	38,9	-	1005	-	-	3,8
Италия [137]	127	5,9	39,3	84,7	73,4	-	68,7	-	-	-	-	-
Дели [136]	0,14	-	0,27	0,23	0,12	-	0,19	-	1	-	-	0,005 8
Исфахан [136]	111,5	-	34,6	85,9	66,2	14,7	35,7	-	-	-	-	-
Малайзия [137]	602	0,3 8	90,4	17,4	14	-	392	-	928	-	-	0,53
Греция [137]	67	-	24	27,7	159 1	54	32	-	-	-	-	-
Турция [137]	68	-	34,6	85	89	16	27	-	-	-	-	-

Высокая концентрация Pb относится к Белграду, его содержание на южных и центральных частях Таджикистана аналогична Греции. Среднее содержание Cr, Ni, Co, Cu и V по сравнению с северной частью Таджикистана различаются очень мало, но по сравнению с другими регионами наблюдается высокое различие. Средняя концентрация MnO аналогична Гане, ниже, чем в Тегеране, Малайзии и Белграде, больше всех остальных регионов. Среднее содержание TiO<sub>2</sub> оказалось больше на Севере Таджикистана, но средняя концентрация Sr больше на исследуемом регионе. Концентрации

тяжелых металлов в разных странах претерпевают значительные изменения, и уровень каждого металла сильно меняется в каждой стране. Этот широкий разброс концентрации тяжелых металлов может быть связан с несколькими факторами: 1) различные фоновые значения металлов в почве в разных странах; 2) изменение политики обращения с отходами с течением времени; 3) использование искусственных или открытых свалок; 4) расположение полигонов.

**Таблица 4.2.3.** - Корреляционная матрица Пирсона между ТМ в атмосферной пыли южного и центрального Таджикистана

	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb
V	-0,27	0,33	0,28	0,18	0,26	-0,09	0,24	0,3	0,24	0,25	0,14
Cr		-0,08	-0,6	0,07	0,02	0,23	0,12	-0,64	-0,3	-0,65	-0,1
Ni			0,2	-0,1	0,29	0,23	0,05	0,17	0,2	0,28	0,2
Co				-0,004	-0,07	-0,6	-0,04	0,1	0,15	<b>0,96</b>	-0,17
Cu					0,09	-0,12	<b>0,5</b>	-0,03	0,28	-0,03	-0,05
Zn						0,23	0,09	-0,08	0,3	-0,04	0,09
MnO							-0,03	-0,6	0,3	-0,5	0,35
As								-0,08	<b>0,54</b>	-0,08	0,13
TiO									-0,12	<b>0,95</b>	-0,14
Sr										-0,07	0,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											-0,1

**Таблица 4.2.4.** - Корреляционная матрица Пирсона между ТМ в почвах южного и центрального Таджикистана

	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO <sub>2</sub>	Sr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pb
V	<b>0,68</b>	<b>0,66</b>	0,45	0,18	0,27	<b>0,76</b>	0,12	<b>0,5</b>	0,15	0,17	0,44
Cr		0,3	0,22	-0,11	0,2	<b>0,68</b>	0,22	0,44	0,2	0,03	0,45
Ni			<b>0,55</b>	0,15	<b>0,52</b>	<b>0,5</b>	0,005	<b>0,51</b>	0,15	0,23	0,45
Co				0,07	0,4	0,46	<b>0,5</b>	<b>0,55</b>	0,22	0,07	0,13
Cu					-0,14	0,12	-0,12	0,1	0,17	0,28	-0,02
Zn						0,22	0,35	0,19	0,06	0,03	<b>0,6</b>
MnO							0,26	0,46	0,26	0,1	0,35
As								0,3	0,17	-0,09	0,14
TiO <sub>2</sub>									0,17	0,19	0,2
Sr										0,007	0,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											-0,01

Корреляционная матрица Пирсона для тяжелых металлов в образцах атмосферной пыли южных и центральных регионов Таджикистана представлена в таблице 4.2.3. Концентрации  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  имеют значительную положительную корреляцию ( $r = 0,96$ ) с  $\text{Co}$  и с  $\text{TiO}_2$  ( $0,95$ ). Эта прочная связь указывала на общий источник загрязнения, возможно, природный.  $\text{As}$  показал относительно сильную положительную связь с  $\text{Cu}$  ( $r = 0,5$ ) и  $\text{Sr}$  ( $r = 0,54$ ), что указывает на их общее происхождение от коррозии металлических отходов, автомобильных выбросов и выбросов при производстве цемента.

Корреляционный анализ ТМ в почвах показал, что концентрации многих ТМ имеют положительную корреляцию между собой за исключением  $\text{As} - \text{Fe}_2\text{O}_3\%$  ( $-0,09$ ),  $\text{Fe}_2\text{O}_3\% - \text{Pb}$  ( $-0,01$ ),  $\text{Cu}$  с  $\text{Zn}$  ( $-0,14$ ), с  $\text{Cr}$  ( $-0,11$ ) и также с  $\text{As}$  ( $-0,12$ ). Концентрация  $\text{V}$  имеет значительную положительную корреляцию с  $\text{Cr}$  ( $0,68$ ),  $\text{Ni}$  ( $0,66$ ) и  $\text{MnO}$  ( $0,76$ ). Средние корреляции обнаружены между концентрациями  $\text{Pb}$  и  $\text{Zn}$  ( $0,6$ ),  $\text{Co}$  и  $\text{As}$  ( $0,5$ ),  $\text{Co}$  и  $\text{TiO}_2$  ( $0,55$ ), концентрация  $\text{Ni}$  имеет среднюю корреляцию со многими ТМ:  $\text{Co}$  ( $0,55$ ),  $\text{Zn}$  ( $0,52$ ),  $\text{MnO}$  ( $0,51$ ),  $\text{TiO}_2$  ( $0,55$ ) (таблица 4.2.4).

### **4.3. Расчёт обратных траекторий воздушных масс с наибольшим содержанием Zn, As и Pb в атмосферном аэрозоле**

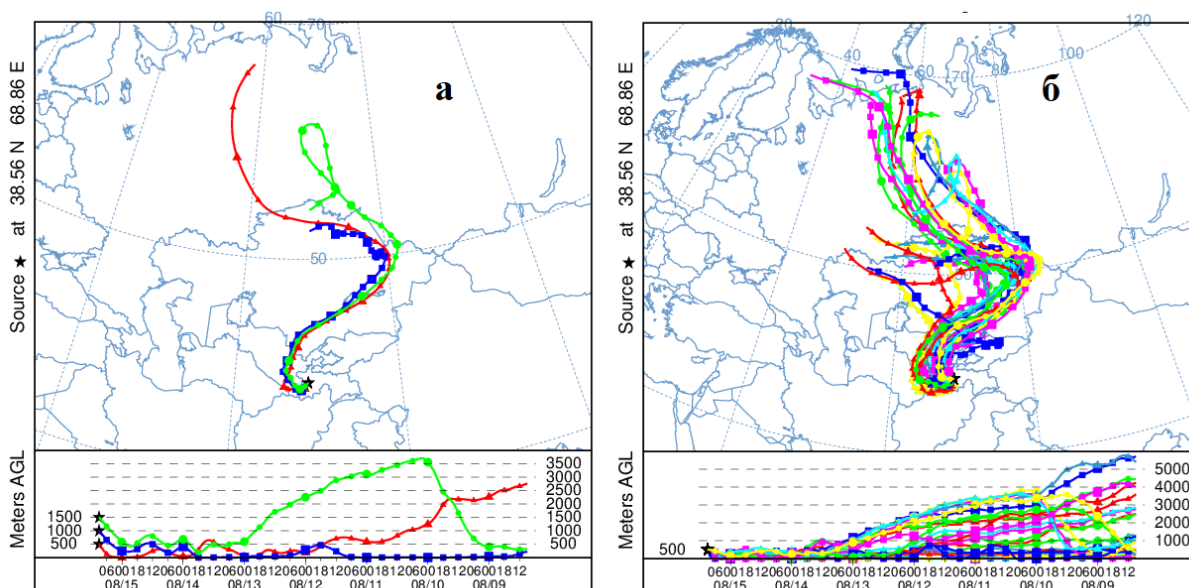
Модель гибридной одночастичной Лагранжевой интегрированной траектории (HYSPLIT) широко используется для создания траекторий движения воздушных масс в обратном направлении в заданных начальных точках. HYSPLIT позволяет обнаружить расположение возможных источников тех или иных ТМ.

Для расчёта обратных траекторий использовались следующие параметры: GDAS1 – в архиве которого хранятся данные с 2006 по сей день, время движения воздушных масс 168 часов, высота траекторий воздушных масс над уровнем земли – 500м, 1000м, 1500м.

Параметр ансамбля траекторий запускает несколько траекторий из первого выбранного начального местоположения. Каждый элемент ансамбля траекторий рассчитывается путем смещения метеорологических данных на

фиксированный коэффициент сетки. В результате получается 27 элементов для всех возможных смещений по осям X, Y и Z. Для оптимальной конфигурации ансамбля начальная высота должна быть больше 250 м [122].

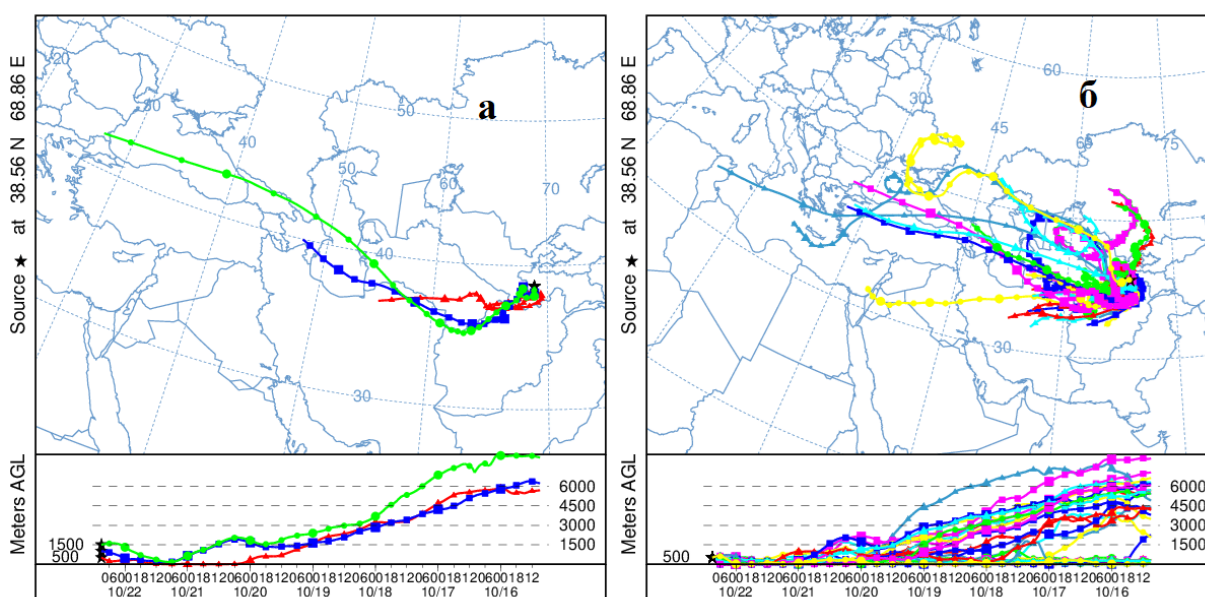
Воздушные массы, в пробах аэрозольных частиц которых найдена высокая концентрация Zn, прошли на территорию Таджикистана 15.08.2008 г. На рисунке 4.3.1. (а) приведены три траектории с разными высотами над уровнем земли в точке сбора проб. Траектория на уровне 500м за неделю распространения проходила над территорией России на высоте 1000 м.



**Рисунок 4.3.1.** - Обратные траектории воздушных масс содержащих максимальные концентрации Zn в пробах АА (Душанбе, 15.08.08 г.).

Над Казахстаном, западной частью Узбекистана и южной частью Таджикистана, эта траектория проходила над поверхностью земли. Вторая траектория (на уровне 1000 м) началась над северным Казахстаном, прошла над западной частью Узбекистана, южной частью Таджикистана и на всем пути была близка к поверхности земли. Третья траектория преодолела тот же самый путь, что и вторая траектория, но над Казахстаном находилась выше 500 м над уровнем земли. Ансамбли обратных траекторий воздушных масс также прошли путь над Россией, Казахстаном и Узбекистаном.

Обратные траектории воздушных масс с высоким содержанием Рb в пробах аэрозоля представлены на рисунке 4.3.2. Траектория, заданная на высоте 500м в конечной точке, 168 часами ранее находилась над Азербайджаном, прошла над Каспийском море, частично Ираном и Афганистаном и вошла в Таджикистан. Вторая траектория (на высоте 1000 м), обнаружена на территории Ирана, пройдя путь через Туркменистан и Афганистан, вошла в Таджикистан через южную границу.



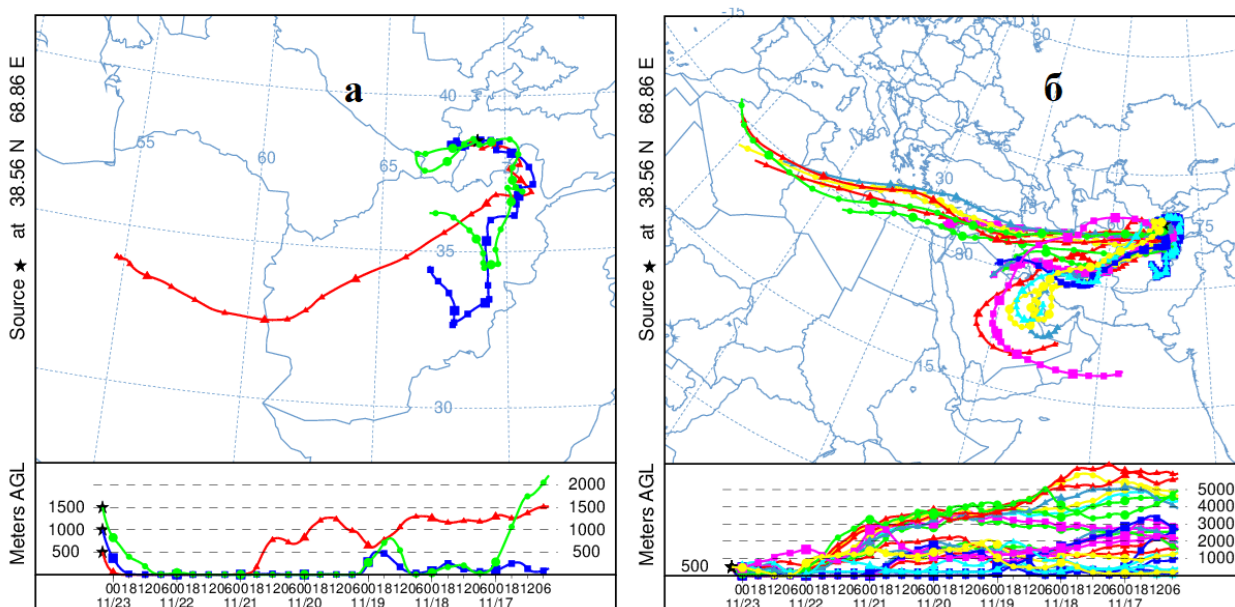
**Рисунок 4.3.2.** - Обратные траектории воздушных масс с максимальной концентрацией Рb в пробах АА (Душанбе, 22.10.2013 г.).

Третья траектория от Румынии, пройдя над Черным морем, Каспийским морем, Туркменистаном, Ираном и Афганистаном, пришла в Таджикистан. Необходимо отметить, что все траектории проходили у поверхности земли на южной части Таджикистана.

Ансамбль обратных траекторий воздушных массы, в атмосферных частицах которых, было обнаружена высокая концентрация As показывает (рисунок 4.3.3.), что воздушный поток пересек Таджикистан с востока и юга рисунок 4.4.3б. На рисунке 4.4.3а приведены три траектории с параметрами, что и в рисунках 4.3.1а и 4.3.2а. Первая траектория (на высоте 500 м) за неделю ранее началась на территории Ирана пройдя над Афганистаном, пересекла



границу Таджикистана. Вторая (на высоте 1000м) началась в Афганистане, прошла над южной и центральной частями Таджикистана, через западные границы прониклась в Узбекистан и через те же границы пришла в Душанбе. Первая траектория над южным Таджикистаном, вторая траектория почти на всем пути и третья траектория над северной частью Афганистана, южной и центральной частями Таджикистана и южной части Узбекистана проходили близко от поверхности Земли.



**Рисунок 4.3.3.** - Обратные траектории воздушных масс с максимальной концентрацией As в пробах AA (Душанбе, 23.11.2007 г.).

По результатам расчета обратных траекторий воздушных масс, можно предположить, что части траекторий, проходившие над поверхностью земли, содержат возможные источники загрязнений. Исходя из результатов работы, возможными источниками загрязнений могут быть южная часть Таджикистана, Афганистан и южная часть Узбекистана. Исходя из вычисленных коэффициентов вариации и корреляции, данных расчета обратных траекторий воздушных масс и информации об источниках ТМ (таблица 4.3.1), можно выделить основные источники загрязнения AA и почв ТМ южного и центрального Таджикистана.

**Таблица 4.3.1. - Источники ТМ в атмосферном аэрозоле и почвах**

<b>ТМ</b>	<b>Источники</b>
<b>Zn</b>	Местные источники: добыча полезных ископаемых, хозяйственная деятельность, ТЭЦ, автотранспорт, бытовой мусор, эрозия почвы и горных пород, промышленные предприятия; предприятия по нефтедобыче и нефтепереработки, предприятия черной и цветной металлургии, ТЭЦ, расположенные на территории Центральной Азии
<b>As</b>	Местные источники: добыча полезных ископаемых, хозяйственная деятельность, ТЭЦ, автотранспорт, бытовой мусор, эрозия почвы и горных пород; дальний перенос из пустынь Ирака, Сирии, Ирана и Сахары) [5]
<b>Pb</b>	Местные источники: хозяйственная деятельность, промышленные предприятия, добыча полезных ископаемых, ТЭЦ, автотранспорт, бытовой мусор, эрозия почвы и горных пород; дальний перенос из пустынных зон Ирана и Афганистана; предприятия по нефтедобыче и нефтепереработке, предприятия черной и цветной металлургии, расположенные на территории Центральной Азии
<b>Cr</b>	Местные источники: хозяйственная деятельность, промышленные предприятия, предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов, ТЭЦ, автотранспорт; трансграничный перенос из соседних стран: предприятия черной и цветной металлургии
<b>Ni</b>	Местные источники: хозяйственная деятельность, промышленные предприятия, добыча полезных ископаемых, бытовые отходы, ТЭЦ, автотранспорт; трансграничный перенос: предприятия по нефтедобыче и нефтепереработке, предприятия черной и цветной металлургии
<b>Co</b>	Местные источники: хозяйственная деятельность, промышленные предприятия, добыча полезных ископаемых, ветровая эрозия почв и горных пород
<b>Cu</b>	Местные источники: добыча полезных ископаемых, хозяйственная деятельность, ТЭЦ, автотранспорт, бытовой мусор, эрозия почвы и горных пород; дальний перенос из пустынь Ирака, Сирии, Ирана и Сахары) [5]
<b>V</b>	Местные источники: добыча полезных ископаемых, хозяйственная деятельность; предприятия черной и цветной металлургии соседних государств
<b>MnO</b>	Местные источники: добыча полезных ископаемых, хозяйственная деятельность, ТЭЦ, автотранспорт, почвенный покров, выветривание горных пород; предприятия по нефтедобыче и нефтепереработке на территории Центральной Азии
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Местные источники: добыча полезных ископаемых, почвенный покров, выветривания горных пород; трансграничный перенос из пустынных зон
<b>Sr</b>	Местные источники: хозяйственная деятельность, промышленные предприятия, ТЭЦ, автотранспорт
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Местные источники: добыча полезных ископаемых, ТЭЦ, эрозия почвы, промышленные предприятия, выветривание горных пород; трансграничный перенос из пустынных зон и от предприятий черной и цветной металлургии

Ими являются: хозяйственная деятельность, промышленные предприятия, находящиеся на территории Таджикистана; предприятия по нефтедобыче и

нефтепереработке, предприятия черной и цветной металлургии, расположенные на территории Центральной Азии; многочисленные ТЭЦ, автотранспорт, бытовой мусор; добыча полезных ископаемых, эрозия почвы и горных пород; дальний перенос из пустынных зон Ирана, Афганистана, Ирака, Сирии и Сахары. Эти результаты для каждого из тяжелых металлов приведены в таблице 4.3.1.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### *Основные результаты и выводы диссертации*

1. Систематически исследована вариация содержания ТМ в АА и почвах южной и центральной частей Таджикистана. Самые высокие концентрации As (195 мг/кг), Pb (232,3 мг/кг) и Zn (685 мг/кг) найдены в пробах АА с территории Айваджа. Самые высокие концентрации этих ТМ в почвах были найдены в пробах из центральной части Таджикистана. Максимальная концентрация As в почве превышает ПДК в 130 раз, Sr в 17 раз, остальные ТМ меньше, чем в десять раз [1-А, 3-А, 4-А, 6-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 17-А].

2. Высокие стандартные отклонения содержания ТМ (кроме  $TiO_2$ ) указывают на широкий разброс концентраций в АА и почве региона. Асимметрии разброса для Cu, Zn, As,  $TiO_2$ , Sr,  $Fe_2O_3$ , Pb в пыли, а Ni, Co, Cu, Zn, As, MnO, Sr,  $Fe_2O_3$ , Pb в почве, выше единицы, то есть концентрации этих элементов положительно смещены в сторону более низких значений, что подтверждается и тем, что их медианы меньше, чем их средних концентраций. Асимметрии разброса для  $TiO_2$  и Cr в почве и V в пыли близки нулю, а асимметрия разброса Cr и MnO в пыли отрицательна, т.е. концентрации этих ТМ положительно смещены в сторону высоких значений [2-А, 5-А, 6-А, 12-А, 14-А, 20-А].

3. Отношение средних содержаний Zn, As и Sr к их ПДК выше единицы, то есть почва региона значительно загрязнена этими ТМ [6-А, 14-А, 15-А, 19-А].

4. Концентрации As, Pb, Zn, MnO, Sr,  $TiO_2$ , V, Co в пыли города Душанбе, As, Pb, Zn, Sr,  $TiO_2$ , Cu в пыли Айваджа и As, Sr, Pb,  $Fe_2O_3$ , MnO, V, Co, Zn и Ni в почве показали высокую изменчивость, что указывает на интенсивное или переменчивое антропогенное воздействие. Концентрации  $Fe_2O_3$ , Cu и Cr в АА Душанбе и Co, V, Ni, MnO,  $Fe_2O_3$  в пыли Айваджа изменялись умеренно, то есть антропогенная деятельность влияет на них [2-А, 20-А].

5. По фактору загрязнений (ФЗ) в класс очень сильных загрязнителей были отнесены As, Co, V в пробах атмосферной пыли Душанбе и Pb, Cr, Ni, V,

MnO в Айвадже, As, Co, V, Pb, TiO<sub>2</sub>, Sr и MnO в почвах. Судя по индексу нагрузки загрязнения почв, регион очень сильно загрязнен As, Co, V, Pb, TiO<sub>2</sub>, Sr и значительно загрязнен Zn и Ni. Наибольший ИНЗ был обнаружен в Айвадже для Pb (14,3) и V (20). В обоих регионах ИНЗ в АА для всех ТМ выше единицы [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 9-А].

6. Данные по индексу геоаккумуляции показали, что Айвадж сильно загрязнен следующими элементами: V, Pb, Cr ( $3 < I_{geo} \leq 4$ ). В класс от умеренных до сильных загрязнителей попали As, V и Co в пыли Душанбе и MnO в пробах пыли Айваджа ( $2 < I_{geo} \leq 3$ ). По индексу геоаккумуляции Pb сильный загрязнитель почв. TiO<sub>2</sub>, V, Co и As относятся к группе сильных загрязнителей и интенсивно накапливались в почвах региона [2-А, 6-А, 12-А, 20-А].

7. В пыли Айваджа As попал в класс «среднего потенциального экологического риска», а Pb в пыли Айваджа и As в пробах Душанбе дает «значительный потенциал экологического риска. Результаты ЭР в почвах варьировались от 3,75 до 855, т.е. As и Co относятся к группе высокого потенциального риска, Pb и V имеют значительный потенциал риска [2-А, 20-А].

8. Индекс риска для Душанбе составил ИР=202, а для Айваджа ИР=245. В Душанбе наибольший вклад в ИР дают As (49%), Co (16%) и Pb (14%). В пробах пыли Айваджа наибольший вклад в ИР дают Pb (34 %), As (19 %), Co (13 %) и Cr (12%). Индекс риска ТМ в пробах почв южной и центральной частей Таджикистана составил ИР=1463,5. В почвах наибольшие вклады в ИР дают As (59%), Co (22%), Pb (8%) и V (7%). По ИР почв As и Co являются основными загрязняющими веществами в исследуемом регионе [2-А, 20-А].

9. Обнаружена высокая положительная корреляция в АА концентраций Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с Co ( $r = 0,96$ ) и с TiO<sub>2</sub> (0,95). Относительно сильная положительная связь As с Cu ( $r = 0,5$ ) и Sr ( $r = 0,54$ ) указывает на их общее происхождение. Концентрация V в почвах имеет значительную положительную корреляцию с Cr (0,68), Ni (0,66) и MnO (0,76) [1-А, 2-А, 6-А, 14 -А].

10. По данным расчета обратных траекторий воздушных масс, возможными источниками загрязнений дальнего переноса являются южный Таджикистан, Афганистан и юг Узбекистана [1-А, 4-А, 10-А].

**Рекомендации по практическому использованию результатов:**

Для определения зоны высокого содержания ТМ в составе АА и почв могут быть использованы результаты экспериментальных исследований по содержанию ТМ в АА и почвах. При мониторинге экологического состояния почвы региона следует учитывать степень их загрязнённости тяжелыми металлами и вклад антропогенных источников, расположенных в исследуемом регионе. Результаты проведенных исследований могут быть использованы в качестве базы данных при дальнейшем исследовании загрязнения атмосферной пыли и почв южной и центральной частей Таджикистана. Результаты работы могут быть использованы городскими и республиканскими организациями, занимающимися вопросами экологии при прогнозировании экологической обстановки южной и центральной частей Таджикистана.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1]. Shahadev, R. Advanced micro- and nanoscale characterization techniques for carbonaceous aerosols. /R. B. Shahadev, K. Saikia // Handbook of Nanomaterials in Analytical Chemistry. Modern Trends in Analysis. – 2020. – Pp.449-472.
- [2]. Udachin, V. N. Heavy metals and Zn isotope ratios in the snow of the Karabash copper smelting area (Southern Urals, Russia). /M. Streletskaya, D. Kiseleva, M. Zaitseva et.al. //E3S Web of Conferences 98, 12023. – 2019. – Pp.6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199812023>
- [3]. Gubanova, D.P. Elemental composition of aerosols in the near-surface air of Moscow: seasonal changes in 2019 and 2020 / D.P. Gubanova, A.I. Skorokhod, N.F. Elansky et.al //Atmospheric and Oceanic Optics. – 2021. – Т. 34. – No5. – С.475-482.
- [4]. Buchelnikov, V.S. Analysis of the content of chemical elements in aerosols using data from passive sampling at Fonovaya observatory /V.S. Buchelnikov, A.V. Talovskaya, E.G. Yazikov, D.V. Simonenkov, B.D. Belan, M.P. Tentyukov // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2020. – Vol. 33. – No5. – С.490-495.
- [5]. Назаров, Б.И. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии. / Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов // Душанбе: Дониш. – 2017. – 416 с.
- [6]. Shevchenko, V. Heavy metals in aerosols over the seas of the Russian Arctic / V. Shevchenko, A. Lisitzin, A. Vinogradova, R. Stein. // Science of The Total Environment. – 2003. – Vol.306.- issue (1-3). – Pp.11-25.
- [7]. Сердюкова, А. Ф. Последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. / А. Ф. Сердюкова, Д. А. Барабанщиков // Молодой ученый. – 2017. – №51. – С.131-135.
- [8]. Seinfeld, J.H. Tropospheric chemistry and composition. / J.H. Seinfeld // Aerosols /Particles. Encyclopedia of Atmospheric Sciences. – 2003. – Pp.2349-2354.
- [9]. Тиллобоев, Х.И. Содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Сырдарьи (в пределах северного Таджикистана). / Х.И.

Тиллобоев, В.М. Миряхьяев, Х.М. Назаров //Ученые записки ХГУ. Серия естеств. и эконом. наук. 2019 №3 (49) С.62-67.

[10]. Абдушукуров, Д.А. Геохимические и изотопные аномалии в ущелье реки Сиёма в центральном Таджикистане. / Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2019. – Т. 19. – № 12. – С.167-173.

[11]. Englemann, R. CADEX and beyond: Installation of a new PollyXT site in Dushanbe / R. Engelmann, J. Hofer, A. N. Makhmudov, H. Baars, K. Hanbuch, A. Ansmann, S. F. Abdullaev, A. Mackle and D. Althausen // E3S Web of Conf. – 2019. – Vol.99. – №02010. – Pp.3

[12]. Mirsaidov, I.U. Physico-chemical basics of processing of uranium-containing ores of the “Western Tajikistan” deposit /I.U. Mirsaidov, B.B. Barotov, M.D. Boboyorov, U.M. Mirsaidov // Applied Solid Stable Chemistry. – 2019 – №1 – С. 53-56. DOI: 10.18572/2619-0141-2018-2-3-2-16.

[13]. Разыков, З.А. Сезонная динамика содержания тяжелых металлов в реке Сырдарья. / З.А. Разыков, Д.Д. Ходжибаев // ДАН РТ. – 2018– Т.61 – №5. – С.485-490.

[14]. Jin, C. W. Contamination in Tea Garden Soils and Factors Affecting Its Bioavailability. / C. W. Jin, S. J. Zhang, Y. F. He, G. D. Zhou, Z. X. Zhou //Chemosphere. – 2005. – Vol.59. – Pp.1151-1159.

[15]. Lee, P. Metal Contamination and Solid Phase Partitioning of Metals in Urban Roadside Sediments. / P. Lee, Y. Yu, S. Yun, B. Mayer. // Chemosphere. – 2005. – V.60 (5). – Pp. 672-689.

[16]. Халифаева, Ш. Х. Вариации содержания тяжелых металлов в пылевом аэрозоле южной и центральной частей Таджикистана / Ш. Х. Халифаева, С. Ф.Абдуллаев, В. А. Маслов, М. Н. Рахматов // Оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т. 35. – № 08. – С.632-637. DOI: 10.15372/AOO20220806.

[17]. Рахматов, М.Н. Элементный состав атмосферного аэрозоля и почв Северного Таджикистана. / М.Н.Рахматов, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Х.Х. Расулзода // Учёные записки ХГУ. – 2018. – № 3(46). – С.56-62.



- [18]. Крапивцева, Т. В., Кривчикова Т. В., Шукуров А. Х. Об аэросиноптических условиях в период советско-американского пылевого эксперимента в Таджикистане в сентябре 1989 г. Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля. / Т. В. Крапивцева, Т.В. Кривчикова, А.Х. Шукуров // Санкт-Петербург. – 1992. – С.20-24.
- [19]. Ранов, В. А. Душанбе город древний. / Соловьев, В. С., Масов, Р. М./ Душанбе: Изд-во «Дониш». – 1993. – С.110. ISBN 5-8366-0427-4. OCLC 32311792.
- [20]. Диноршоев, М. «Природные условия». – Душанбе: Энциклопедия Душанбе: Главная научная редакция Таджикской национальной энциклопедии. – 2004. ISBN 5-89870-071-4. OCLC 65068362.
- [21]. Offroy, M., Duponchel, L. Super-Resolution in Vibrational Spectroscopy: From Multiple Low-Resolution Images to High-Resolution Images. / M. Offroy, L. Duponchel. // Science and Technology. – 2016. – V. 30. – Pp.477-517.
- [22]. Stephanou, E.G. Aerosols PM10 and PM2.5. Reference Module in Chemistry. / E.G. Stephanou // Molecular Sciences and Chemical Engineering. –2012. – V. 1. – Pp.191-199
- [23]. Ryan, C. Characterization of Individual Aerosol Particles. / C. Ryan, K. Sullivan, L.J. Gorkowski // Physical Chemistry of Gas-Liquid Interfaces. Developments in Physical & Theoretical Chemistry. – 2018. – Pp.353-402.
- [24]. Deshler, T. Observations for chemistry (in situ). / T. Deshler // Particles. Encyclopedia of Atmospheric Sciences. – 2003. – Pp.1476-1484
- [25]. Yu, H. A review of measurement-based assessments of the aerosol direct radiative effect and forcing. / H. Yu, Y. J. Kaufman, M. Chin et.al // Atmos. Chem. Phys. – 2006. – V.6. – Pp.613–666
- [26]. Csavina, J.A. Review on the Importance of Metals and Metalloids in Atmospheric Dust and Aerosol from Mining Operations. /J. Csavina, J. Field, S. Gao //Science Total Environment. – 2012. – №4. – Pp.58-73.
- [27]. Ивлев, Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. / Л.С. Ивлев //Л.: – ЛГУ. – 1982. – 365с.

- [28]. Mohamed, A. H. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk. / A. H. Mohamed, E. N. Ahmed, F. F. Madkour// American Journal of Water Science and Engineering. – 2016. – V. 2(3). – Pp.14-19
- [29]. Abdullaev, F.S. The elemental composition of soils and dust aerosol in the south-central part of Tajikistan. / F.S. Abdullaev, V.A. Maslov, B.I. Nazarov et.all //Atmospheric and Oceanic Optics. – 2015. – №28. –Pp.347-358.
- [30]. Kulmatov, R. Distribution of heavy metals in atmospheric air of the arid zones in Central Asia. /R. Kulmatov, M.F. Hojamberdiev. //Air Quality, Atmosphere & Health. – 2010. – Vol.3. – №4. – Pp.183–194.
- [31]. Guangjian, Wu. Heavy metals in aerosol samples from the Eastern Pamirs collected 2004– 2006. / Wu Guangjian, Xu Baiqing, Yao Tandong et.all// Atmospheric Research. – 2009. – Vol. 93. – Pp.784–792.
- [32]. Verma, T. S. Elemental analysis of atmospheric aerosols in Gaborone. / T. S. Verma, K. John. Shibu // African Journal of Environmental Science and Technology. – 2009. – Vol. 3. – № 12. – Pp. 422-428.
- [33]. Csavina, J. Metal and Metalloid Contaminants in Atmospheric Aerosols from Mining Operations /J. Csavina, L. Andrea, A. Wonaschuts, C. Rine, B. Barbaris, W. Conant, A. Eric // Water Air Soil Pollution. – 2011. – №2. – Pp.145-157.
- [34]. Ahmad, G. Determination of selected heavy metals in air samples from the northern part of Jordan. //G. Ahmad, O. Abdul-Wahab, K. Mohammad // Environmental Monitoring and Assessment. – 2009. – Pp.425-429.
- [35]. Lee, B. Variation and Sources of Heavy Metals in Atmospheric Aerosols in a Residential Area of Ulsan, Korea. / B. Lee, T. Nguyen // Aerosol and Air Quality Research. – 2011. – №11. – Pp. 679–688
- [36]. Norouzi, S. Source identification of heavy metals in atmospheric dust. /S. Norouzi, H. Khademi // Eurasian Journal Soil Science. – 2015. – № 4 (3). – Pp. 144 – 152.
- [37]. Khdaychi, Y. Simultaneous electrochemical analysis of heavy metals in atmospheric deposits. /Y. Khdaychi, L. Idrissi, Y. Souabi // Journal of Materials and Environmental Science. – 2018. – Vol.9. – № 7. –Pp. 2189-2200.

- [38]. Mondol, M.N. Trace metal concentration in atmospheric aerosols in some city areas of Bangladesh. / M.N. Mondol, A.S. Khaled // Bangladesh journal of scientific and industrial research. – 2014. – Vol.49. – №4. – Pp.263-270.
- [39]. Łokas, E. Airborne radionuclides and heavy metals in high Arctic terrestrial environment as the indicators of sources and transfers of contamination. /E. Łokas, A. Zaborska, I. Sobota, P. Gaca, J.A. Milton // The Cryosphere. – 2019. – Vol.13. – №7. – Pp.2075-2086.
- [40]. Lee, S. C. PM1 .0 and PM2 .5 Characteristics in the Roadside Environment of Hong Kong / S. C. Lee, Y. Cheng, K. F. Ho, J. J. Cao, K. K. Louie, J. Chow, J. G. Watson // Aerosol Science and Technology. – 2006. – Vol.40. – Issues 3. –Pp.157-165.
- [41]. Кондратьев, К.Я. Атмосферный аэрозоль. / К.Я. Кондратьев, Н.И. Москаленко, Д.В. Поздняков //Л. – Гидрометеиздат. – 1983. – 225с.
- [42]. Naderizadeh, Z. Biomonitoring of atmospheric heavy metals pollution using dust deposited on date palm leaves in southwestern Iran. /Z. Naderizadeh, H. Khademi, Sh. Ayoubi // Atmósfera. – 2016. – №29. – Pp.141-155.
- [43]. Popoola, L. T. Assessment of atmospheric particulate matter and heavy metals: a critical review. / L. T. Popoola, S. A. Adebajo, B. K. Adeoye //International Journal of Environmental Science and Technology. – 2018. – №15. – Pp.935-948
- [44]. Andrew, D. Atmospheric trace metals measured at a regional background site (Welgegund) in South Africa. / D. Andrew, P.G. Venter, P. Johan, J. Josipovic, V. Vakkari // Atmosphere Chemistry Physics. – 2017. – №17. – Pp. 251-263.
- [45]. Pieter, V. Z. Assessment of atmospheric trace metals in the western Bushveld Igneous Complex, South Africa. / V. Z. Pieter, P.J. Beukes, D. Mabaso, J. Hendriks //South African journal of science. – 2014. – Vol.110. – №.3-4. –Pp.1-10
- [46]. Windhoek, S. A. Some Heavy Metals' concentrations in roadside dusts at Monte Christo. / S.A. Windhoek, B. Nambundunga, J. A. Onjefu // International Journal of Environmental Science and Development. – 2017. – Vol.8. – №9. – Pp.647-652.

- [47]. Mohd, T.L. Composition of heavy metals in indoor dust and their possible exposure: a case study of preschool children in Malaysia. / T.L. Mohd, N. H. Baharudin, S. M. Yong // *Air Quality Atmosphere Health*. – 2014. – Vol.7. – Pp.181-193.
- [48]. Iqbal, M.I. Source of Heavy Metals in Aerosol Particles in Atmosphere of Jeddah City, Saudi Arabia. / M.I. Iqbal, M. B. Jalal, A.H. Ibrahim, S. S. Ahmed // *Environment and Agriculture of Arid Environment*. – 2018. – Vol.1. – Issue.1. 102 – 115.
- [49]. Vincent, K. Assessment of Heavy Metal Concentrations in the United Kingdom. / K. Vincent, K. Passant // 2006. – 46p.
- [50]. Alghamdi, M.A. Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Airborne PM10 from a Residential Area of Northern Jeddah City, Saudi Arabia. / M.A. Alghamdi // *Polish journal of Environmental studies*. – 2016. – Vol.25. – №3. – Pp.939-949.
- [51]. Юркова, Р. Е. Загрязнение почв тяжелыми металлами и приемы их инактивации в условиях орошения: автореф., к.сель.хоз.н., 06.01.03./ Р.Е. Юркова //п. Персиановский. – 2006. – 24 с.
- [52]. Ветошкин, А. Г. Источники загрязнения гидросфер. / А. Г. Ветошкин // *Процессы и аппараты защиты гидросфер*. – Пенза. – 2004. – 28 с.
- [53]. Тяжёлые металлы. // *Большой энциклопедический словарь*. – 1991. – 1456с.
- [54]. Mahowald, N.M. Aerosol trace metal leaching and impacts on marine microorganisms. / N.M. Mahowald, D.S. Hamilton, K.R. Mackey, A.R. Baker // *Nature and communications*. – 2018. – Vol.9. – №1. – Pp.1-15
- [55]. Buhari, T.R. Heavy Metals Pollution and Ecological Risk Assessment in Surface Sediments of West Coast of Peninsular Malaysia. / T.R. Buhari, A. Ismail // *International Journal of Environmental Science and Development*. – 2016. - Vol. 7. - No. 10. Pp.750-756
- [56]. Khan, A.B. Evaluation of heavy metal and total petroleum hydrocarbon contamination of roadside surface soil. / A.B. Khan, S. Kathi // *Intrnational Journal Environement Science Technology*. – 2014. – Vol.11. – Pp.259-270.

- [57]. Al-Jasir, M.S. Deposition of heavy metals on green leafy vegetables sold on roadsides of Riyadh city, Saudi Arabia. / M.S. Al-Jasir, A. Shaker, M.A. Khaliq // Bull. Environ. Contaim. Toxicol. – 2005. – Pp.1020-1027.
- [58]. Hansvan, M. Identification of Individual Aerosol Particles Containing Cr, Pb, and Zn above the North Sea. /M. Hansvan, H. Stefaan, G. Reneävan// Environ. Sci. Technol. –1996. – №30. – Pp.489-498.
- [59]. Miranda, J. A study of elemental contents in atmospheric aerosols in Mexico City. /J. Miranda, J.R. Morales, T.A. Cahill //Atmosfera. – 1992. – №5. –Pp.95-108.
- [60]. Jing, Y. D. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. / Y.D. Jing, Z.L. He, X.I. Yung // J. Zhejiang. Univ. Sci. – 2007. – Vol.8. – Pp.192-207.
- [61]. McKeague, J. A. Background levels of minor elements in some Canadian soils. / J.A. McKeague, M.S. Wolynetz // Geoderma. – 1980. – Vol.24. – №4. –Pp.299-307.
- [62]. Khanna, P. Assessment of Heavy Metal Contamination in Different Vegetables Grown in and Around Urban Areas. /P. Khanna, S. Khanna //Research Journal of Environmental Toxicology. – 2011. – Vol.5. – №3. – Pp.162-179.
- [63]. Кармышова, У.Ж. Содержание микроэлементов в почвах хвостохранилищ и отвалов Майлуу-Суу (Кыргызстан). / У.Ж. Кармышова, Б.М. Дженбаев // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн. –2016. – №5.
- [64]. Азбаев, Б.О. Динамика содержания тяжелых металлов в почве зеленого пояса г. Астаны. / Б.О. Азбаев, Е.Ж. Кентбаев, Б.А. Кентбаева, Д.А. Тургалиев // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – 2013. – Т.16. – №16. – С.3-6
- [65]. Павличенко, Л.М. Содержание тяжелых металлов в почве Мангистауской области. / Л.М. Павличенко, А.Р. Есполаева, А. Изтаева // Естественные и математические науки в современном мире: сб. ст. по матер. XL междунар. науч.-практ. конф. № 3(38). – Новосибирск: СибАК, 2016. – С.114-123.

- [66]. Корчагина, К. В. Оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами с учетом профильного распределения их объемных концентраций. Автореф: к. б.н./ К.В. Корчагина // Москва. – 2014. – 25 с.
- [67]. Водяницкий, Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор). / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2013. – №7. – С.793-801.
- [68]. Zhang, R. The Elemental Composition of Atmospheric Particles at Beijing during Asian Dust Events in Spring 2004. / R. Zhang, Zh. Shen, T. Cheng, Y. Liu // Aerosol and Air Quality Research. – 2010. – Vol.10. – Pp.67-75
- [69]. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас // пер. с англ. – М.: Мир. – 1989. – 439 с.
- [70]. Duffus, J.H. Heavy metals “a meaningless term? (IUPAC Technical Report) / J. H. Duffus // Pure and Applied Chemistry. – 2002. – Vol.74. – Pp.793-807.
- [71]. Егорова, О.С. Тяжелые металлы и мусоросжигание как источник их поступления в окружающую среду / О.С. Егорова, Э.В. Гоголь, Р.Р. Шипилова, Ю.А. Тунакова // Вестник КТУ. – 2013. – Т.16. – №21. – 2013. – С.203-208.
- [72]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Toxicological Profile for Arsenic TP-92/09. Georgia: Center for Disease Control. – 2000. –Atlanta. – 493 p.
- [73]. Водяницкий Ю. Н. Об опасных тяжелых металлах / металлоидах в почвах/ Ю. Н. Водяницкий // М.: Изд-во ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. – 2001. – Вып. 68. – 58 с.
- [74]. Tchounwou, P.B. Important considerations in the development of public health advisories for arsenic and arsenic-containing compounds in drinking water. / P.B. Tchounwou, B. Wilson, A. Ishaque // Rev Environ Health. – 1999. – Vol.14. – Pp.211–229.
- [75]. Путилина, В. С. Адсорбция тяжелых металлов почвами и горными породами. Характеристики сорбента, условия, параметры и механизмы адсорбции: аналит. обзор / В. С. Путилина, И. В. Галицкая, Т. И. Юганова// Новосибирск : ГПИТБ СО РАН. –2009. – 155 с.

- [76]. Родькина, И. А. Влияние состава аутигенных пленок на сорбцию свинца в песках / И.А. Родькина, Е.Н. Самарин, Н.А. Ларионова // Геозкология. – 2009. – № 3. – С.248-257.
- [77]. Ендовицкий, А. П. Коэффициенты ассоциации и активность ионов кадмия свинца в почвенных растворах / А.П. Ендовицкий, В.П. Калиниченко, В.Б. Ильин, А. А. Иваненко // Почвоведение. – 2009. – № 2. – С.218-225.
- [78]. Мурадова, Г. Р. Сравнительное изучение хронического воздействия ионов кадмия и свинца на динамику активности супероксиддисмутазы в тканях сеголеток карпа. / Г. Р. Мурадова, В. Р. Абдуллаев, С.А. Чалаева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – Т.17. – №6. – С.28-30
- [79]. Ильин, В. Б. Биогенная и техногенная аккумуляция химических элементов в почве. / В.Б. Ильин // Почвоведение. – 1988. – № 7. – С.124-132.
- [80]. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. / В.Б. Ильин // Почвоведение. – 2007. – № 9. – С.112-1119.
- [81]. Калиниченко, К. В. Биоэкстракция тяжелых металлов из коллоидных иловых систем /К.В. Калиниченко, Г.Н. Никовская, З.Р. Ульберг // Коллоидный журн. – 2012. – Т. 74. – № 5. – С.576-581.
- [82]. Костин, А. В. Изучение механизма сорбции ионов меди и свинца на бентонитовой глине / А.В. Костин, Л.В. Мосталыгина, О.И. Бухтояров // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2012. – Т. 12. – № 6. – С.949-957.
- [83]. Водяницкий, Ю.Н, Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю.Н. Водяницкий, Д.В. Ладонин А.Т. Савичев //М.: – Изд-во Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН. – 2012. – 306 с.
- [84]. Добровольский, В. В. Роль органического вещества почв в миграции тяжелых металлов. / В.В. Добровольский // Природа. – 2004. – № 7. – С.35-39.
- [85]. Путилина, В. С. Сорбционные процессы при загрязнении подземных вод тяжелыми металлами и радиоактивными элементами. Цинк: анализ. обзор / В.С. Путилина, И.В. Галицкая, Т.И. Юганова//Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. – 2014. – 99 с.

- [86]. Колесников, С. И. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков// Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ. – 2000. – 232 с.
- [87]. Путилина, В. С. Сорбционные процессы при загрязнении подземных вод тяжелыми металлами и радиоактивными элементами. Стронций: анализ. обзор / В.С. Путилина, И.В. Галицкая, Т.И. Юганова// Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. – 2013. – 95 с.
- [88]. Гончарук, В. В. Физико-химические аспекты проблемы загрязнения почвы гидросферы тяжелыми металлами. / В.В. Гончарук, Н.М. Соболева, А.А. Носонович // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – Т.11. – № 6. – С.795-809.
- [89]. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник:бкн./ В.В. Иванов // Под. ред. Э. К. Буренкова. -М.: -Изд-во Экология. -Кн.4: Главные элементы. – 1995. – 416 с.
- [90]. Чертко, Н.К. Геохимия: Учебное пособие для студентов геологических специальностей вузов / Н.К. Чертко // – Мн.: Изд-во «ТЕТРА СИСТЕМС». – 2007. – 254 с.
- [91]. Muñoz, A. Elucidating the mechanisms of nickel compound uptake: A review of particulate and nano-nickel endocytosis and toxicity. / A. Muñoz, M. Costa // Toxicol. Appl. Pharm. – 2012. – Vol.260. – Issue1. – Pp.1-16.
- [92]. Song, X. Molecular mechanisms of nickel induced neurotoxicity and chemoprevention. / X. Song, S.S.F. Kenston, L. Kong, J. Zhao // Toxicology. – 2017. – Vol.392. – Pp.47-54.
- [93]. Tebo, B. M. Geomicrobiology of manganese (II) oxidation. / B.M. Tebo, H.A. Johnson, J.K. McCarthy, A.S. Templeton // Trends Microbiol. – 2005. –Vol.13. – Issue 9. – Pp.421-428.
- [94]. Wood, J. M. Biological cycles for toxic elements in the environment. / J. M. Wood //Science. – 1974. – Vol.183. – Pp.1049-1059.



- [95]. Han, Y. Particulate-associated potentially harmful elements in urban road dusts in Xi'an, China / Y. Han, J. Cao, E.S. Posmentier, K. Fung, H. Tian, Z. An. // *Appl. Geochem.* – 2008. – Vol.23. – Pp.835-845.
- [96]. Shi, D. Accumulation degree and source apportionment of trace metals in smaller than 63  $\mu\text{m}$  road dust from the areas with different land uses: a case study of Xi'an, China / D. Shi, X. Lu // *Sci. Total Environ.* – 2018. – Vol.636. – Pp.1211-1218.
- [97]. Krogstad, T. Methods for soil analysis (In Norwegian) / T. Krogstad // NLH report no. 6. Institutt for Jordfag, Ås-NLH, 1992. ISSN 0803-1304. 32 pp.
- [98]. ICP Forests 2006. II. Crown condition assessments. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessments, monitoring and analysis of the effect of air pollution on forests. Part II. Visual assessment of crown condition. [http://www.icp-forests.org/N8f/Chapt2\\_compl06.N8f](http://www.icp-forests.org/N8f/Chapt2_compl06.N8f).
- [99]. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. // М.: ЦИНАО. – 1989. – 62 с.
- [100]. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа - Свидетельство Госстандарта РФ № 2420/53-2002.
- [101]. Абдурахимов, С. Я. Проблемы изменения, рационального использования и охраны геологической среды в Таджикистане: автореф. дисс. д-ра наук, 25.00.36 / С. Я. Абдурахимов // – Худжанд. – 2003. – 44 с.
- [102]. Бобоев, Б.Д. Физико-химические основы миграции урана в системе «дренажные воды-почва» на примере хвостохранилищ №1-2 г.Табошар Республики Таджикистан: автореф. к. х. н., 02.00.04 / Б.Д. Бобоев // Душанбе. – 2010. – 24 с.
- [103]. Рахимов, А. И. Гидрогеоэкологические особенности вододефицитных районов Таджикистана / А.И. Рахимов // *Известия вузов (Кыргызстан)*. – 2014. – №8. – С.47-50.

- [104]. Кожевникова, М.Ф. Идентификация источников загрязнения: вычислительные методы. / М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, И.Л. Ролик // Вопросы атомной науки и техники. – 2011. – № 6. – С.149-156.
- [105]. Лосев, Н.Ф. Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ / Н.Ф. Лосев // Изд-во: М.: – Наука. – 1969. – 336 с.
- [106]. Черноруков, Н.Г. Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа. / Н.Г. Черноруков, О.В. Нипрук // Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. – 2012. – 57 с.
- [107]. Афонин, В.П. Рентгенофлуоресцентный анализ. / В.П. Афонин, Н.И. Комяк, В.П. Николаев, Р.И. Плотников // Новосибирск: Наука. – 1991. – 173 с.
- [108]. Ясников, И.С. Сканирующая электронная микроскопия как метод изучения микроскопических объектов электролитического происхождения. / И.С. Ясников, Ю.С. Нагорнов, И.В. Горбачев, Р.Р. Микеев, П.С. Садовников, Н.Ю. Шубчинская, А.В. Аминаров. // Фундаментальные исследования. – 2013. – №1. – С.758-764.
- [109]. Полежаев, Ю.М. Оптический атомно-эмиссионный и рентгенофлуоресцентный методы спектрального анализа. / Ю.М. Полежаев // Учебное пособие. Екатеринбург: УПИ. – 1992. – 92 с.
- [110]. Ивлев, Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. / Л.С. Ивлев // Л.: -ЛГУ. – 1982. – 365 с.
- [111]. Дубинкина, Е. С. Моделирование аэрозольных полей на основе совместного анализа данных солнечной фотометрии и информации о динамике атмосферы. / Е.С. Дубинкина // Российская академия наук, Уральское отделение, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт промышленной экологии». – 2015. – 139 с.
- [112]. Khademi, H. Environmental impact assessment of industrial activities on heavy metals distribution in street dust and soil / H. Khademi, M. Gabarron, A. Abbaspour, S. Martinez–Martínez, A. Faz, J.A. Acosta // Chemosphere. – 2019. – Vol.217. – Pp.695-705. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.045>

- [113]. Kabir, M.H. Determination of Heavy Metal Contamination and Pollution Indices of Roadside Dust in Dhaka City, Bangladesh / M.H. Kabir, M.H. Rashid, Q. Wang, W. Wang, S. Lu, S. Yonemochi // *Processes*. – 2021. - Vol.9. – No.10. [https://doi.org/ 10.3390/pr9101](https://doi.org/10.3390/pr9101)
- [114]. Khuzestani, R.B. Evaluation of heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan Province, western Iran / R.B. Khuzestani, B. Souri // *J. Environ. Sci.* – 2013. – Vol.25. – Pp.1346-1354.
- [115]. Dytłow, S. Concentration of heavy metals in street dust: An implication of using different geochemical background data in estimating the level of heavy metal pollution. / S. Dytłow, B Górka-Kostrubiec. // *Environ. Geochem. Health.* – 2020. – Vol. 43. – Pp. 521-535.
- [116]. Ali, M.U. Pollution characteristics and human health risks of potentially ecotoxic elements (PTEs) in road dust from metropolitan area of Hefei, China / M.U. Ali, G. Liu, B. Yousaf, Q. Abbas, H. Ullah, M.A.M. Munir, B. Fu // *Chemosphere.* – 2017. – Vol.181. – Pp.111-121.
- [117]. Gope, M. Bioavailability and health risk of some potentially toxic elements (Cd, Cu, Pb and Zn) in street dust of Asansol, India / M. Gope, R.E. Masto, J. George, R.R. Hoque, S. Balachandran // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 2017. – Vol.138. – Pp. 231-241.
- [118]. Fan, X. Risk and sources of heavy metals and metalloids in dust from university campuses: A case study of Xi'an, China / X. Fan, X. Lu, B. Yu, L. Zuo, P. Fan, Y. Yang, S. Zhuang, H. Liu, Q. Qin. // *Environmental Research.* – 2021. – Vol.202. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111703>
- [119]. Håkanson, L., An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. / L. Håkanson// *Water Res.* – 1980. – Vol.14. – Pp.975-1001. [https://doi.org/10.1016/ 0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)

- [120]. Kamani, H. Concentration and ecological risk of heavy metal in street dusts of Eslamshahr, Iran / H. Kamani, N. Mirzaei, M. Ghaderpoori, E. Bazrafshan, S. Rezaei, A.H. Mahvi // Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J. – 2017. – Vol. 24. – Pp.961-970.
- [121]. Alsafran, M. Ecological and Health Risks Assessment of Potentially Toxic Metals and Metalloids Contaminants: A Case Study of Agricultural Soils in Qatar. / M. Alsafran, K. Usman, H.A. Jabri, M. Rizwan // Toxics. – 2021. – Vol.9. – No. 35. DOI:10.29117/quarfe.2021.0015
- [122]. <https://ready.arl.noaa.gov/index.php>
- [123]. Виноградова, А.А. Загрязнение воздушной среды в центральной Карелии при дальнем переносе антропогенной примеси в атмосфере / А.А. Виноградова, Ю.А. Иванова // Известия Российской академии наук. – 2013. – № 5. – С. 98-108.
- [124]. Scarchilli, C. Snow precipitation at four ice core sites in East Antarctica: provenance, seasonality and blocking factors. / C. Scarchilli, M. Frezzotti, P.M. Ruti // Climate Dynamics. – 2011. – Vol. 1. – Pp. 2107-2125.
- [125]. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль // – Л.: Гидрометеиздат. – 1984. – 560 с.
- [126]. 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. – 2015. – Vol.96. – Pp. 2059-2077.
- [127]. Lua, X. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China / X. Lua, L. Wanga, L. Y. Li, K. Lei, L. Huanga, D. Kanga// Journal of Hazardous Materials. – 2010. – Vol.173. – Pp.744-749
- [128]. Duzgoren-Aydin, N.S. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China / N.S. Duzgoren-Aydin, C.S.C. Wong, A. Aydin, Z. Song, M. You, X.D. Li // Environ. Geochem. Health. – 2006. – Vol.28. – Pp.375-391.
- [129]. Yeung, Z.L.L. Determination of multi-element profiles of street dust using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) / Z.L.L. Yeung, R.C.W. Kwok, K.N. Yu// Appl. Radiat. Isotopes. – 2003. – Vol.58. – Pp.339-346.

- [130]. Rasmussen, P.E. A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa Canada / P.E. Rasmussen, K.S. Subramanian, B.J. Jessiman // *Sci. Total Environ.* – 2001. – Vol.267. – Pp.125-140.
- [131]. Ordóñez, A. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain / A. Ordóñez, J. Loredó, E. De Miguel, S. Charlesworth// *Arch. Environ. Con. Tox.* – 2003. – Vol.44. – Pp.160-170.
- [132]. Chatterjee, A. Determination of lead and other metals in a residential area of greater Calcutta / A. Chatterjee, R.N. Banerjee/ *Sci. Total Environ.* – 1999. –Vol.227. – Pp.175-185.
- [133]. Ferreira-Baptista, L. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda Angola: a tropical urban environment / L. Ferreira-Baptista, E. de Miguel//*Atmos. Environ.* – 2005. – Vol.39. – Pp.450-4512.
- [134]. E. de Miguel. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead / E. de Miguel, J.F. Llamas, E. Chacón, T. Berg, S. Larssen, O. Røyset, M. Vadset // *Atmos. Environ.* – 1997. – Vol.31. – Pp.2733-2740.
- [135]. Yusupov, D.V. Heavy metals in dust aerosol in the northwestern industrial area of Blagoveshchensk (Amur Region) / D.V. Yusupov, V.I. Radomskaya, L.M. Pavlova, N.V. Trutneva, S. S. Ilyenok // *Optica Atmosfery i Okeana.* – 2014. – Vol. 27. - No.10. – Pp. 906-910.
- [136]. Karimian, Sh. Health and ecological risk assessment and simulation of heavy metal-contaminated soil of Tehran landfill. / Sh. Karimian, S. Shekoohiyan, Gh. Moussavi // *Royal soceity of chemistry.* – 2021. – Vol.11. – Pp. 8080-8095. DOI: 10.1039/D0RA08833A
- [137]. Matthew, T. K. Assessment of health risk due to the exposure of heavy metals in soil around mega coal-fired cement factory in Nigeria. / T. K. Matthew, U.Kh. Mayeen, M.A. Yusoff, W.H.B. Abdullah, A.B. David, S. A. Khalid // *Results in Physics.* – 2018. – Vol.11. – Pp.755-762. DOI:10.1016/j.rinp.2018.10.003

## Список публикаций автора по теме диссертации

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

[1-А]. Халифаева, Ш. Х. Вариации содержания тяжелых металлов в пылевом аэрозоле южной и центральной частей Таджикистана / Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов, М. Н. Рахматов // **Оптика атмосферы и океана**. – 2022. – Т. 35. – № 08. – С.632-637. DOI: 10.15372/AOO20220806.

[2-А]. Халифаева, Ш. Х. Статистический анализ тяжёлых металлов в пыли города Душанбе и Айваджа / Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, Д. С. Шерматов, В. А. Маслов // **Вестник ТНУ**. – 2023. – №1. – С.133-148

[3-А]. Халифаева, Ш. Х. Тяжелые металлы в почвах южной и центральной частей Таджикистана / Ш. Х. Халифаева // **Известия НАНТ**. – 2022. – №1(186). – С.71-77

[4-А]. Халифаева, Ш. Х. Тяжелые металлы в составе атмосферного аэрозоля юго – центральной части Таджикистана / Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов, Ф. Рахими, Б. И. Назаров // **Известия НАНТ**. – 2019. – №4(177). – С.63-69

[5-А]. Халифаева, Ш. Х. Содержание тяжелых металлов в пылевом аэрозоле южной и центральной частей Таджикистана / Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов // **Вестник ТНУ**. – 2020. – №2. – С.139-149

[6-А]. Халифаева, Ш. Х. Загрязнения почв тяжелыми металлами юго-центральной части Таджикистана / Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов // **Учёные записки ГОУ ХГУ им. академика Б. Гафурова**. – 2020. – №3(54). – С.25-32

### Депонированные научные работы

[7-А]. Халифаева, Ш. Х. Особенности содержания тяжелых металлов в составе проб атмосферного аэрозоля и почв / Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов // 32 с., –Библиогр.: 65 назв. – Рус. – Душанбе. 2019 г. – Деп. в ГУ НПИЦентре под №10 (1919) от 26 ноября 2019 г.

**Статьи и тезисы, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:**

**[8-А]. Халифаева, Ш. Х.** Межгодовые вариации тяжелых металлов в составе атмосферной пыли южной и центральной частей Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов**// Материалы VII – ой международной конференции «Современные проблемы физики». ФТИ НАНТ. – 2020. – С.241-242.

**[9-А]. Халифаева, Ш. Х.** Вариации содержания тяжелых металлов в пылевом аэрозоле южной и центральной частей Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов**// Материалы X-ой научно-практической конференции «Ломоносовские чтения», посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной Войне. Филиал МГУ в г. Душанбе. – 2020. – С.174-178

**[10-А]. Халифаева, Ш. Х.** Временная вариация тяжелых металлов в пылевом аэрозоле юго-центральной части Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева**// Материалы II Международной научно-практической конференции «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий». АЯРБ НАНТ. – 2021. – С.136-143

**[11-А]. Халифаева, Ш. Х.** Межгодовая вариация содержания As, Pb и Zn в пробах атмосферного аэрозоля юго-центральной части Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов**// Материалы международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования». ТТУ. – 2019. – С.290-292

**[12-А]. Халифаева, Ш. Х.** Статистический анализ тяжёлых металлов в пыли Душанбе/ **Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев, Д. С. Шерматов, В. А. Маслов**// Материалы юбилейной (70-й) научно-практической конференции ГОУ «ТГМУ им. Абуали ибни Сино» «Современная медицина: традиции и инновации». ТГМУ. – 2022. – С.536-538

**[13-А]. Халифаева, Ш. Х.** Тяжелые металлы первого класса опасности As, Pb и Zn в атмосферном аэрозоле южной и центральной частей

Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева**// Материалы VIII международной конференции «Современные проблемы физики». ФТИ НАНТ. – 2022. – С.262-265

[14-А]. **Халифаева, Ш. Х.** Статистический анализ содержания тяжелых металлов в составе почв города Душанбе / **Ш. Х. Халифаева**, С. Ф. Абдуллаев, М.Н. Рахматов// Материалы симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова. ФТИ НАНТ. – 2021. – С.119-123

[15-А]. **Халифаева, Ш. Х.** Содержания As, Pb и Zn в составе почв города Душанбе / **Ш. Х. Халифаева**, С. Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов// Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук. РТСУ. – 2020. – С.291-292

[16-А]. **Халифаева, Ш. Х.** Особо опасные тяжелые металлы в составе почв города Душанбе /**Ш. Х. Халифаева**, С. Ф. Абдуллаев, С.С. Ибронов// Материалы международной научно – практической конференции (68-ой годичной), посвященной «Годам развития села, туризма и народных ремёсел». ТГМУ. – 2020. – С.522-533

[17-А]. **Халифаева, Ш. Х.** Тяжелые металлы в составе атмосферного аэрозоля юго-центральной части Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева**, С. Ф. Абдуллаев, Б.И. Назаров// Материалы республиканской научно-практической конференций посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук» на тему «Современные проблемы физики конденсированное состояние и ядерная физика». ТНУ. – 2020. – С.292-295

[18-А]. **Халифаева, Ш. Х.** Содержание тяжелых металлов в составе атмосферного аэрозоля и почв юго-центральной части Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева**// Сборник тезисов XV-международной научно-практической конференция молодых учёных и студентов ГОУ ТГМУ им. Абуали ибни Сино, посвященная годам развития села, туризма и народных ремесел. ТГМУ. – 2020. – С.7-8



**[19-А]. Халифаева, Ш. Х.** Тяжелые металлы в почвах южной и центральной частей Таджикистана / **Ш. Х. Халифаева**// Сборник тезисов XV-международной научно-практической конференция молодых учёных и студентов ГОУ ТГМУ им. Абуали ибни Сино, посвященная годам развития села, туризма и народных ремесел. ТГМУ. – 2020. – С.519.

**[20 -А]. Халифаева, Ш. Х.** Статистические подходы к оценке загрязнения почв южной и центральной частей Таджикистана тяжелыми металлами / **Ш. Х. Халифаева, С. Ф. Абдуллаев**// Материалы республиканской научно-практической конференций посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных ми математических наук» на тему «Вклад физики в развитии современной техники и технологии». ХГУ им. акад. Б. Гафурова. – 2023. – С.192-196.