

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
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**

АВТОРЕФЕРАТ

**на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)
(физико-математических наук)
по специальности 25.00.30 — метеорология, климатология и агрометеорология**

Душанбе – 2023

Работа выполнена в лаборатории физики атмосферы Физико-технического института им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана.

- Научный руководитель:** **Абдуллаев Сабур Фузайлович**-доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией физики атмосферы ФТИ им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана
- Официальные оппоненты:** **Удачин Валерий Николаевич**, - доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук
Баротов Бахтиёр Бурхонович, - кандидат технических наук, заведующей научно-исследовательским отделом Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана
- Ведущая организация:** Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (г.Душанбе)

Защита состоится «21» декабря 2023 г. в 15³⁰ на заседании объединенного диссертационного совета **6D.KOA-055** при Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, по адресу: 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Айни, 299/1, факс (+992-372)25-79-14. Зал заседаний Ученого совета ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ. E-mail: shuro.ift@gmail.com.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Физико-технического института им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана и на сайте www.phti.tj.

Автореферат разослан « 21 » ноября 2023 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор**

Д.М. Акдодов

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 и 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, Fe₂O₃, TiO₂, 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 загрязнённости 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, TiO₂, 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 Fe₂O₃ и Co (0,96), Fe₂O₃ и TiO₂ (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, Fe₂O₃, MnO, Cr, V и TiO₂ 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 Fe₂O₃ с Co ($r = 0,96$) и с TiO₂ (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 годичной) 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цели и задачи исследования. Указана научная новизна, достоверность и практическая значимость проведенных исследований, описана структура диссертационной работы. Приведены положения, выносимые на защиту, публикации и доклады по теме диссертации, отмечен личный вклад автора.

Первая глава представляет аналитический обзор литературы и постановку задачи диссертационной работы. Дана краткая характеристика о физико-географических и климатических условиях исследуемой территории. Рассмотрены литературные данные об элементном составе атмосферного аэрозоля и почв. Представлены свойства и распространение ТМ в природе. Изложены проблемы загрязнения тяжелыми металлами природной среды. Дан обзор различных классификаций АА в зависимости от их размеров и происхождения. Показаны предыдущие исследования по элементному анализу АА и почв. В целом, первая глава отражает научные работы и исследования в области элементного состава атмосферных аэрозолей и почв.

Во второй главе описаны способы и методика отбора проб, пробоподготовка АА и почв. Объектами для исследований служили дисперсные системы: атмосферный аэрозоль и почва. Сбор проб аэрозоля и почв проводился сотрудниками лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С. У. Умарова НАНТ с 2007 по 2022 гг. На территории южного и центрального Таджикистана собрано и проанализировано 244 проб (125 пробы аэрозоля и 119 пробы почв).

Подробно описана методика сбора, транспортировки и хранения проб. Приведены координаты мест отбора проб АА и почв. Описана экспериментальная установка. Концентрации ТМ (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Fe₂O₃, TiO₂ и MnO) определялись методом

рентгенофлуоресцентного анализа на волно-дисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» (ООО «СПЕКТРОН», г. Санкт-Петербург), в лаборатории физики атмосферы ФТИ НАНТ. Описаны статистические методы анализа содержания ТМ в составе атмосферной пыли и почв. Представлены методы оценки степени загрязнения:

Коэффициент вариации (CV) концентрации элемента отражает ее изменчивость, а также роль деятельности человека в загрязнении; высокое значение CV предполагает большее антропогенное вмешательство. Рассчитывается по следующей формуле:

$$CV = \frac{\sigma}{\langle C \rangle} \quad (1)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение ТМ, а $\langle C \rangle$ - среднее содержание ТМ.

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

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1,5 \times B_i} \right) \quad (2)$$

где C_i – концентрация тяжелого металла в пробах, B_i – фоновая концентрация ТМ.

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

$$ФЗ = \frac{C_i}{B_i} \quad (3)$$

где C_i – концентрация i -го ТМ в пробах, а B_i - фоновая концентрация ТМ.

Индекс нагрузки загрязнения (ИНЗ) дает представление о кумулятивной нагрузке загрязнения. ИНЗ рассчитывается по формуле (4):

$$ИНЗ = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n C_i / B_i} \quad (4)$$

где C_i и B_i имеют тот же смысл, что и в уравнениях 1 и 2.

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

$$ЭР = T_i \times ФЗ \quad (5)$$

где T_i – токсичность металла для окружающей среды, а $ФЗ$ - фактор загрязнения.

Индекс риска (ИР) определяется значениями потенциального риска всех тяжелых металлов, а коэффициент загрязнения рассчитывается по следующей формуле [2-А]:

$$ИР = \sum_{i=1}^n ЭР \quad (6)$$

где n – количество изучаемых элементов, а i – указывает i -й элемент.

Приведены данные о методе расчёта обратных траекторий в модели HYPPLIT.

В третьей главе рассмотрена временная вариация концентрации ТМ в АА и почвах. 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.

На рисунке 1 представлены вариации концентрации As, Pb, Zn и отношение среднего содержания их 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 13.07.2010г. Максимальное значение больше регионального фона мышьяка в 74 раза, а отношение средней концентрации к фоновой равно 9.

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). Среднее содержание Pb составило 30 ppm, что превышает фоновое содержание в 17 раз.

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

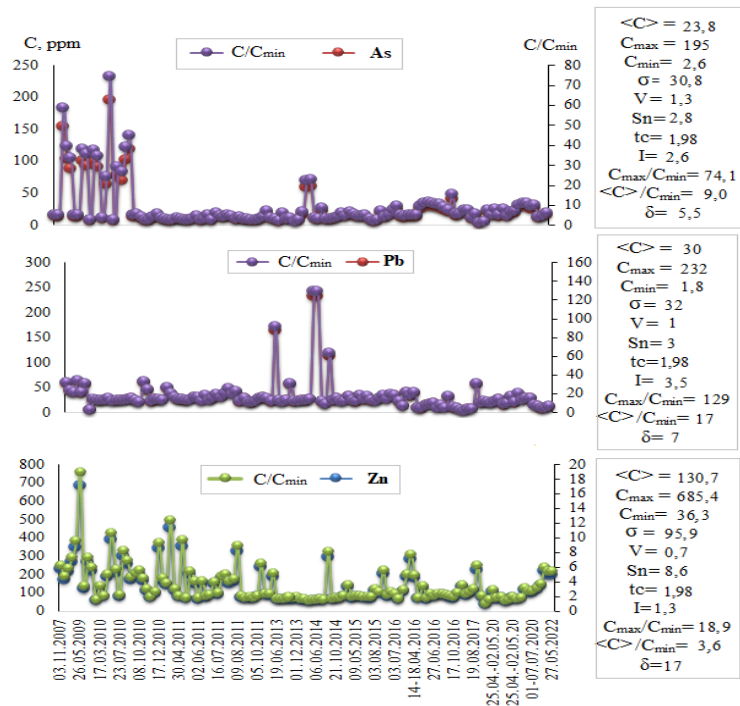


Рисунок 1. - Вариация содержания As, Pb, Zn в пробах АА

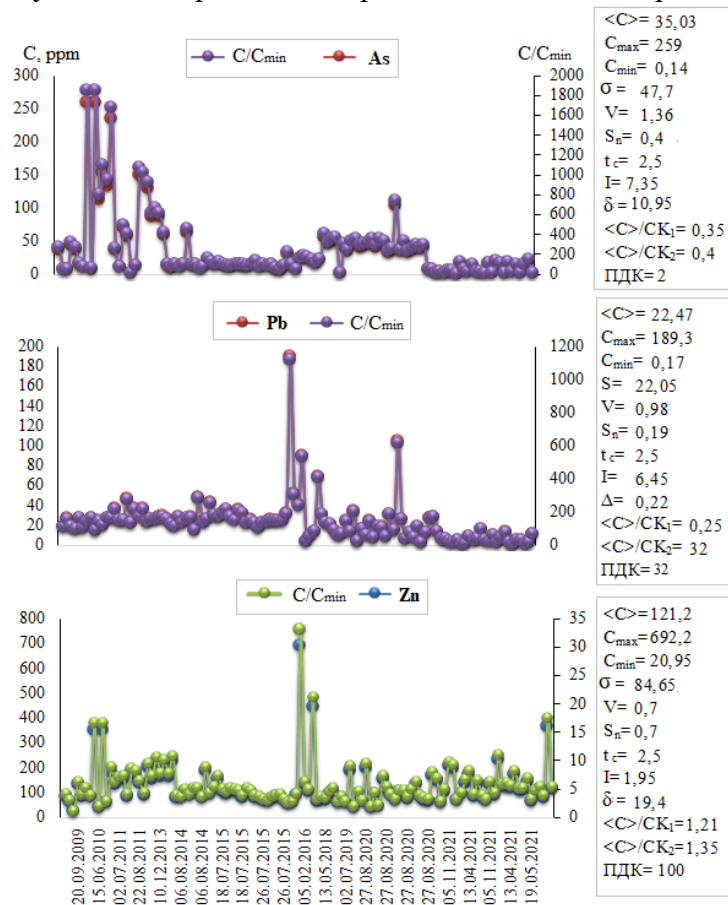


Рисунок 2. - Вариация содержания As, Pb, Zn в пробах почв

Содержание Pb в пробах почв колеблется от 0,17 ppm до 189,7 ppm, среднее содержание его в почвах составило 22,47 ppm. Среднее содержание свинца в пробах почв превышает фоновый уровень в 5 раз, но 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 2).

Интервал содержания мышьяка в пробах почв составляет от 0,14 ppm до 259 ppm. Самые высокие концентрации As обнаружены в западной части Таджикского алюминиевого завода «ТАЛКО» в г. Турсунзаде – 259 ppm и в городе Душанбе (Охтог) – 259 ppm и также на территории северной части г. Душанбе – 103 ppm. Среднее содержание составляет 35 ppm и превышает фоновый уровень в 245 раз. ПДК этого элемента 2 ppm и среднее содержание As превышает его на 17 раз.

Самое высокое содержание цинка, отмечено 05.02. 2016 года вблизи ТЭЦ №1 (692 ppm) и 19.05.2021 г. на территории Караболо г. Душанбе (365 ppm). Средняя концентрация Zn в пробах превышала фоновое значение в 33 раза и близка к ПДК для этого элемента.

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 ЦТС №1 г. Душанбе и мышьяка в западной части алюминиевого завода «ТАЛКО». Можно предположить, что основными источниками Pb, As и Zn, являются выбросы этих предприятий.

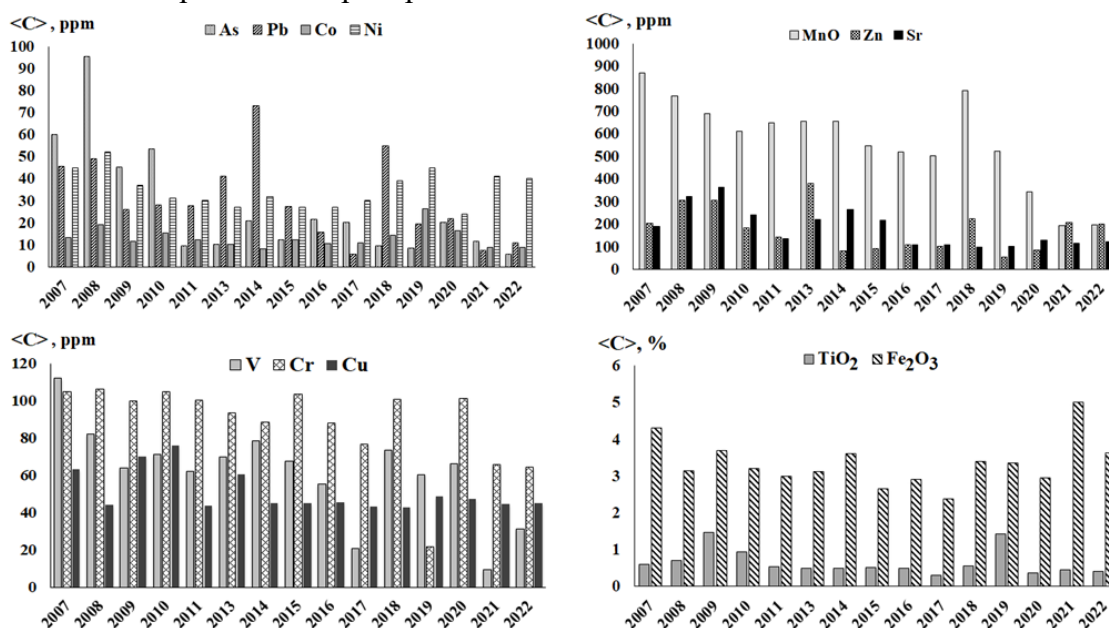


Рисунок 3. - Межгодовые вариации концентрации ТМ в составе АА

Межгодовой ход содержания ТМ в атмосферной пыли и почв представляют рисунки 3 и 4. 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 в АА выше, чем у остальных металлов. 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. 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. Выделяются только два высоких скачка средней концентрации Pb: в 2016 (56,4 мг/кг) и 2018 (49,7 мг/кг) г. и превышающие ПДК для этого элемента (32 мг/кг). Скачки среднего содержания цинка наблюдались (Рисунок 4) только в 2015 (85 мг/кг), 2019 и 2020 г. (96 мг/кг), в другие годы ПДК Zn (100 мг/кг) превышена, то есть регион значительно загрязнен цинком. Почва южного и

центрального Таджикистана чрезвычайно сильно загрязнена мышьяком. За период наблюдения средняя концентрация As в разы превышала ПДК для этого элемента. В 2010 (133,3 мг/кг) и 2013 гг. (106,5 мг/кг) ПДК превышает более, чем в 50 раз.

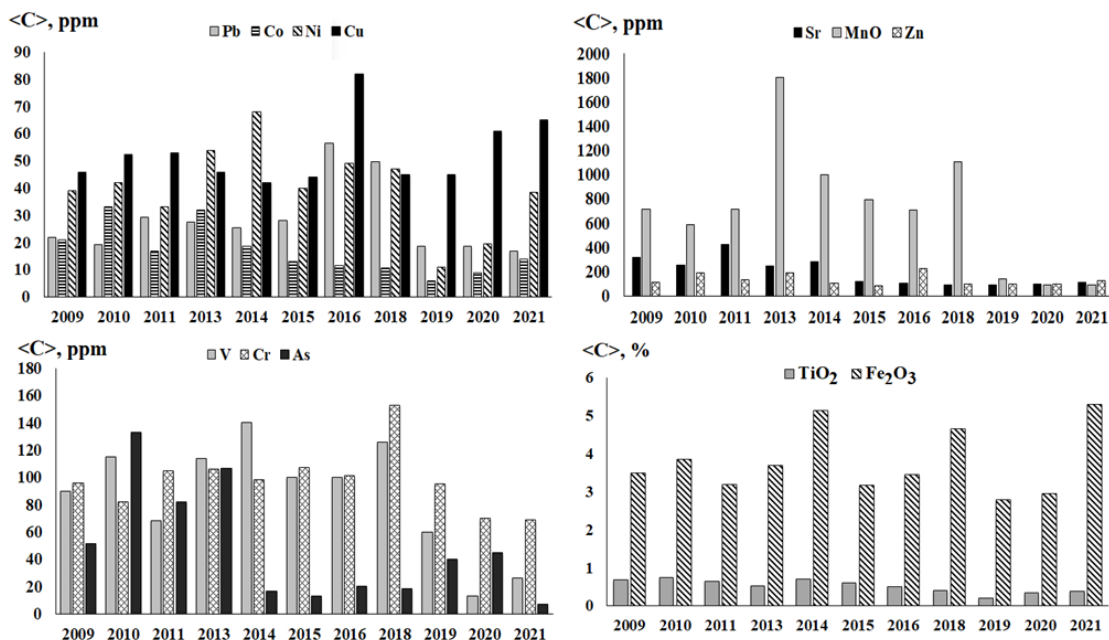


Рисунок 4. - Межгодовые вариации концентрации ТМ в составе почв

На рисунке 5 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.

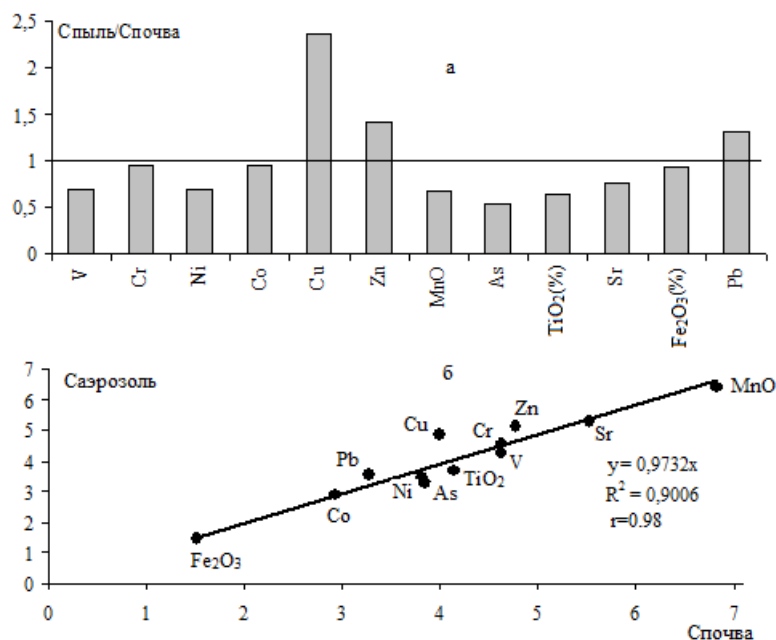


Рисунок 5. - Соотношение концентрации ТМ в пробах АА к почве южной и центральной частей Таджикистана

В четвертой главе приведены результаты мультивариационного статистического анализа концентрации ТМ, данные корреляционного анализа и сравнительного анализа

содержания ТМ в АА и почвах южного и центрального Таджикистана и других регионов мира. Степень загрязнённости АА и почв оценены по индексам загрязнений, приведены обратные траектории воздушных масс с наибольшим содержанием особо опасных ТМ.

В таблицах 1, 2, 3 и 4 приведены данные по содержанию ТМ в пробах АА 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), $1 \text{ мг/кг (ppm)} = 0,0001\%$.

Таблица 1. - Статистические характеристики содержания ТМ 1-го и 2-го классов опасности в пробах АА 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_{max}	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_{min}	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
S_n	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_{max}/C_{min}	9,5	58,5	30,3	3,2	4,1	11,5	2,4

Таблица 2. - Статистические характеристики содержания ТМ 4-го класса опасности в пробах АА города Душанбе

Параметр	Элементы				
	4-й класс опасности				
	V	MnO	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃
<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_{max}	135 04.08.08	1040 13.11.07	1,45 12.08.19	402 15.08.08	5,8 03.07.21
C_{min}	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
S_n	5,75	54,1	0,05	14	0,2
Δ	20,3	191,7	0,18	49,5	0,7
C_{max}/C_{min}	20,5	11,7	6,1	4,3	2,5

Статистический анализ показал, что средние концентрации в АА Zn, As и Pb в Душанбе и Айвадже мало отличаются: <C> – 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. 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, Fe₂O₃ и TiO₂ в исследуемых регионах немного отличаются.

Стандартные отклонения содержания тяжелых металлов оказались высокими для всех ТМ кроме TiO₂. Это указывает на широкий разброс концентраций в пыли. Значения асимметрии разброса для Cu, Zn, As, TiO₂, Sr, Fe₂O₃ и Pb 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.

Таблица 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 _{max}	685,5	195	232	111,75	69,8	28	190
	16.09.09	13.07.10	26.04.14	23.07.10	16.09.09	08.10.10	25.08.10
C _{min}	50,6	4,85	1,8	6,65	11,6	1,95	31,3
	04.07.14	14.12.13	09.11.16	21.05.11	03.08.15	06.05.11	06.05.11
σ	101,5	30,45	32,55	14,9	9,65	4,4	31,75
S _n	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 _{max} /C _{min}	13,5	40,1	129	16,8	6	14,3	6,1

Таблица 4. - Статистические характеристики содержания ТМ 4-го класса опасности в пробах атмосферной пыли Айваджа

Параметр	Элементы				
	4-й класс опасности				
	V	MnO	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃
<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 _{max}	136	925,3	2,86	416	6,8
	13.07.10	18.10.16	17.03.10	01.06.10	04.07.14
C _{min}	3	88,7	0,24	96	2,3
	19.03.10	02.06.16	03.08.15	2.06.16	03.08.15
σ	23,15	150,5	0,35	108,5	0,7
S _n	2,35	15,3	0,04	11,1	0,07
δ	6,3	41	0,1	29,5	0,2
C _{max} /C _{min}	45,3	10,4	11,5	4,3	3

В таблицах 5 и 6 приведены данные по содержанию ТМ в пробах почв южной и центральной частей Таджикистана и их статистические характеристики.

Средняя концентрация ТМ в поверхностных слоях почвы южного и центрального Таджикистана убывает в одинаковом порядке Fe₂O₃ > TiO₂ > MnO > Sr > Zn > Cr > V > Cu > Ni > As > Pb > Co. Высокие среднеквадратичные отклонения для всех элементов, кроме TiO₂ (0,022) указывают на широкий разброс ТМ в почве региона.

Таблица 5. - 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 _{max}	692 5.02.16 ТЭЦ-1	259 15.06.10 ТАЛКО, запад	189 5.02.16 ТЭЦ-1	169 13.05.18 Душ. Аэроп.	142 6.08.14 ТАЛКО, север	61 15.06.10 ТАЛКО, запад	127 6.08.14 ТАЛКО, север
C _{min}	21 20.09.09 Пуст. Шаартуз	0,4 2.07.19 Душ. западная	0,97 19.05.21 Душ. южная	48 20.09.09 Пуст. Шаартуз	69 27.08.20 Душ. Текстиль	0,2 2.07.19 Душ. западная	26 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 _{max} /C _{min}	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 ^{почв}	2,4	5,8	2,25	0,6	0,9	1,8	2,6
<C>/K ^{эк}	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

Таблица 6. - 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 ₂	Sr	Fe ₂ O ₃
<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 _{max}	251 6.08.14 ТАЛКО, север	2675 10.12.13 г.Турсунз.	1,15 15.06.10 ТАЛКО, запад	1701 2.07.11 Хуросон	47 20.09.09 Восточный ТЭЦ
C _{min}	1,3 19.05.21 ТЭЦ-2	89 27.03.20 Душ. южная	0,013 10.12.13 Чоряккор.	19 19.05.21 Парк А.Дониш	1,4 20.09.09 Пуст. Айвадж
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 _{max} /C _{min}	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 ^{почв}	0,7	0,65	1,05	0,6	1,15
<C>/K ^{эк}	0,8	0,55	0,9	0,5	1,05
<C>/ПДК	0,5	0,23	0,6	1,75	-

Асимметрия следующих элементов оказались выше единицы Ni, Co, Cu, Zn, As, MnO, Sr, Fe₂O₃ и Pb и означает, что концентрации этих элементов положительно смещены в сторону более низких концентраций. Значения асимметрии разброса для TiO₂ и Cr близки к нулю.

Отношение средних концентраций Zn, As и Sr к их ПДК выше единицы, что указывает на значительное загрязнение региона этими ТМ. Средние концентрации Zn, As, Pb, Co, Cu и Fe₂O₃ также оказались выше их Кларка в почве и в земной коре.

Обнаружение высоких концентраций Zn (692 мг/кг) и Pb (189 мг/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 TiO₂ (1,15%) на территории алюминиевого завода «ТАЛКО», видимо, указывает на антропогенных источников указанных тяжелых элементов.

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) > TiO₂ (0,54) > Sr (0,51) > V (0,5) > Co (0,4) > Ni (0,33) > Fe₂O₃ (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) > TiO₂ (0,6) > Cu (0,59) > Co (0,36) > V (0,35) > Ni (0,3) > MnO (0,25) > Fe₂O₃(0,23) > Cr (0,13) (рисунок 6).

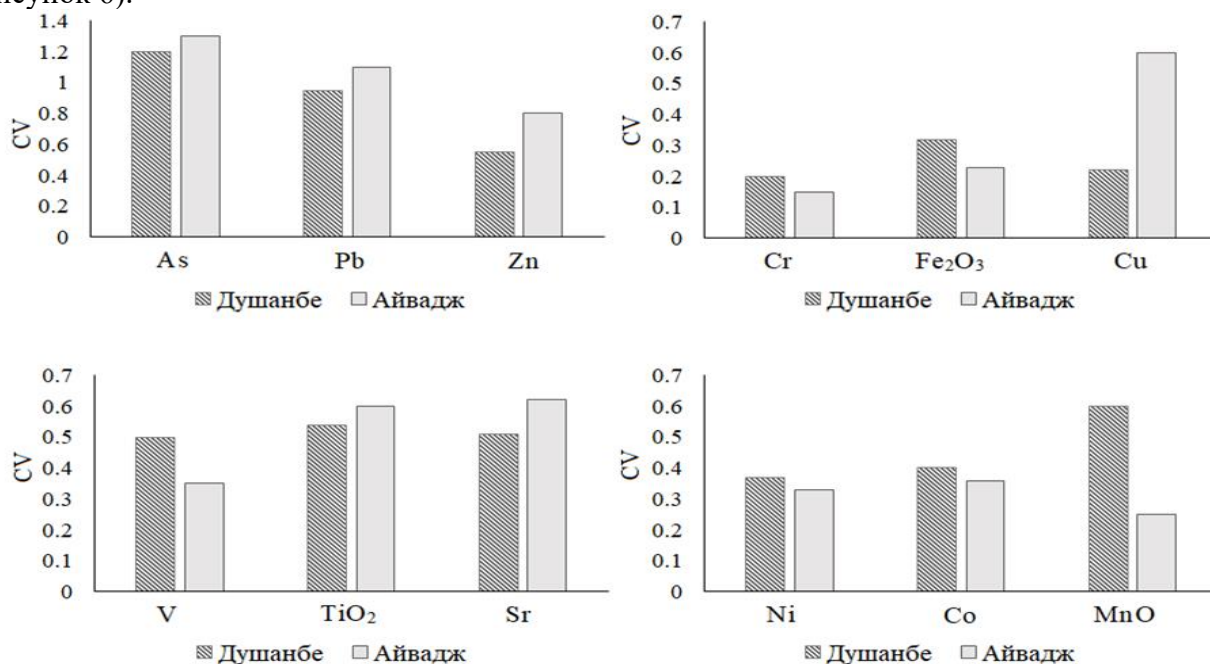


Рисунок 6 - Коэффициент вариации (CV) ТМ в составе пыли Душанбе и Айваджа

Концентрации As, Pb, Zn, MnO, Sr, TiO₂, V, Co в пыли города Душанбе и As, Pb, Zn, Sr, TiO₂, Cu в пыли Айваджа показали высокую изменчивость (CV>35%), что свидетельствует об интенсивном антропогенном воздействии. Концентрации Fe₂O₃, Cu и Cr в атмосферном аэрозоле Душанбе и Co, V, Ni, MnO, Fe₂O₃ в составе АА Айваджа изменялись умеренно (15% <CV <35%). Концентрация Cr в пыли Айваджа обладала самой низкой изменчивостью (CV = 0,13), т. е. антропогенная деятельность мало влияет на содержание хрома.

Коэффициент вариации ТМ в поверхностных слоях почвы региона возрастает в следующем порядке Cr (0,23) < Cu (0,3) < TiO₂ (0,5) < Ni (0,6) < Zn (0,7) < Co (0,73) < V (0,8) < MnO (0,93) < Fe₂O₃ (0,96) < Pb (0,98) < Sr (0,982) < As (1,4). Очень высокий CV для As, Sr, Pb, Fe₂O₃, 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 7). 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.

Вычислены факторы загрязнения тяжелых металлов в атмосферной пыли города Душанбе и Айваджа и представлены в таблице 7. На основании классификации фактора загрязнения Cu, Sr, Fe₂O₃, TiO₂, Ni, Cr в пыли обоих регионов были отнесены в класс умеренного загрязнения (1 < ФЗ < 3), за исключением Cr в пробах пыли Айваджа, где хром

попал в класс очень сильных загрязнителей ($\Phi 3 = 14,6$). Zn, Pb, MnO в пыли города Душанбе и As в пыли Айваджа отнесены в класс значительных загрязнителей ($3 < \Phi 3 < 6$). В класс чрезвычайно сильных загрязнителей отнесены As, Co, V в атмосферной пыли города Душанбе и Pb, Cr, Ni, V, MnO в пыли Айваджа ($\Phi 3 > 6$).

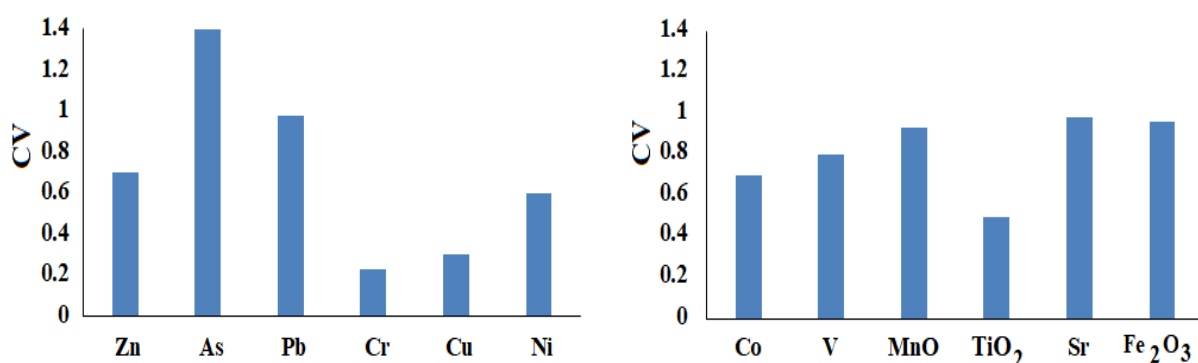


Рисунок 7. - Коэффициент вариации (CV) тяжелых металлов в почвах южной и центральной частей Таджикистана

Наибольший ИНЗ обнаружен в Айвадже для Pb (14,3) и V (20), а наименьший в обеих местностях – для Cu, Sr, Fe₂O₃. Тем не менее, значения ИНЗ были выше единицы в обоих регионах, и атмосферный аэрозоль Айваджа и Душанбе загрязнен указанными ТМ. По фактору загрязнения ТМ в составе почв в группу сильных загрязнителей попали As, Co, V, Pb, TiO₂, Sr и MnO (таблица 7). Zn, Ni и Fe₂O₃ относятся к классу значительных загрязнителей ($3 < \Phi 3 < 6$). Почва южной и центральной частей Таджикистана мало или умеренно загрязнена Cr (1,9) и Cu (2).

Таблица 7. - Значения фактора загрязнений ($\Phi 3$) и индекса нагрузки загрязнений ТМ в пыли Душанбе, Айваджа и в почвах всей исследуемой территории

Элементы	Душанбе		Айвадж		Почва южной и центральной частей Таджикистана		
	$\Phi 3$	ИНЗ	$\Phi 3$	ИНЗ	$\Phi 3$	ИНЗ	ЭР
Zn	3,8	3,3	2,6	2,1	5,8	5	11,5
As	10	6,8	4,7	3	85,55	43	855
Pb	5,7	4,3	16,7	10	23,2	15,8	116
Cr	2,8	2,7	14,6	14,3	1,9	1,85	3,75
Ni	2,3	2,15	2,5	2,45	2	1,95	10
Co	6,4	6,6	6,1	5,6	5,4	4,7	27,2
Cu	1,1	1,1	1,7	1,6	65,4	54	327
V	9,5	7,5	22	20	53,4	34,8	107
MnO	5,6	4,3	6,7	6,4	6,2	3,6	6,1
TiO ₂	2,2	2	2,4	2,2	37	29	-
Sr	1,6	1,45	1,8	1,6	9,2	7,6	-
Fe ₂ O ₃	1,4	1,4	1,3	1,3	3,2	2,85	-

По индексу нагрузки загрязнения показывают, что регион очень сильно загрязнен следующими ТМ: As, Co, V, Pb, TiO₂, 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 ($1 < \text{ИНЗ} \leq 2$).

Значения ЭР варьировались от 3,75 до 855, As и Co отнесены к группе высокого потенциального риска, Pb и V имеют значительный потенциал риска, остальные ТМ (Ni, Zn, Cu, MnO, Cr) в почвах изучаемой территории относятся к категории низкого риска.

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 умеренных загрязнителей ($1 < I_{geo} \leq 2$). В класс от умеренных до сильных загрязнителей попали As , V и Co в пыли Душанбе и MnO в пробах пыли Айваджа ($2 < I_{geo} \leq 3$). Индекс геоаккумуляции показал, что Айвадж сильно загрязнен следующими элементами: V , Pb , Cr ($3 < I_{geo} \leq 4$) (рисунок 8).

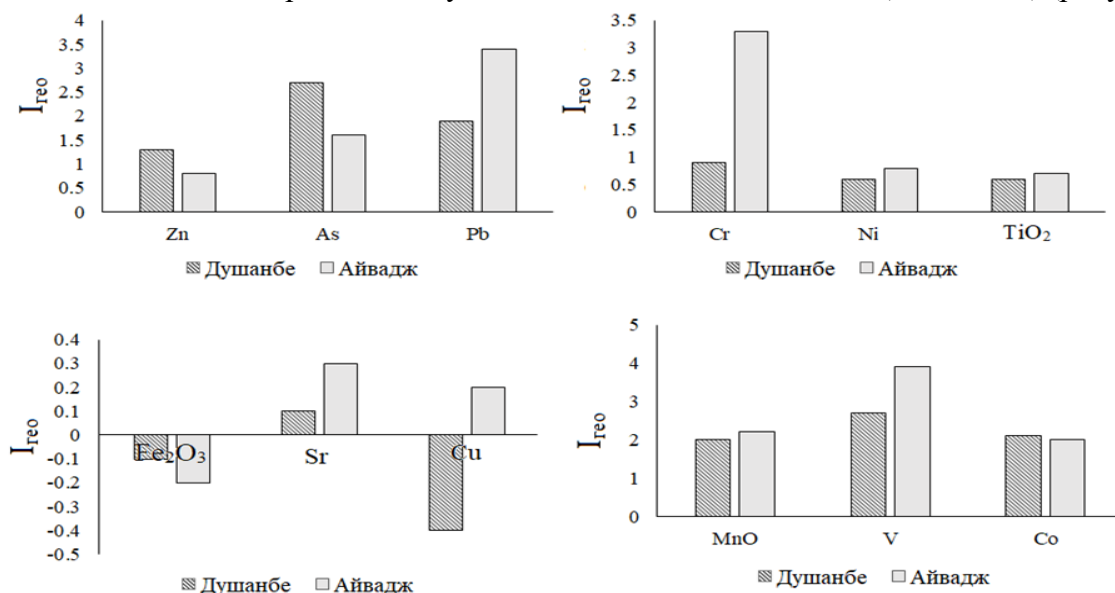


Рисунок 8. - Индекс геоаккумуляции ТМ в пыли Душанбе и Айваджа

Средние значения I_{geo} для Cr и Cu в почвах лежат на интервале от незагрязнённого до умеренно загрязненного. Судя по средним значениям I_{geo} для Fe_2O_3 , Zn , Ni и MnO почва южного и центрального Таджикистана умеренно загрязнена этими ТМ. Sr попал в класс от умеренно загрязнённого до сильного (рисунок 9). Индекс геоаккумуляции для Pb соответствует очень сильному загрязнению. Все остальные ТМ, такие как TiO_2 , V , Co и As относятся к группе чрезвычайных загрязнителей, то есть эти тяжелые элементы в значительной степени накапливаются в почвах региона.

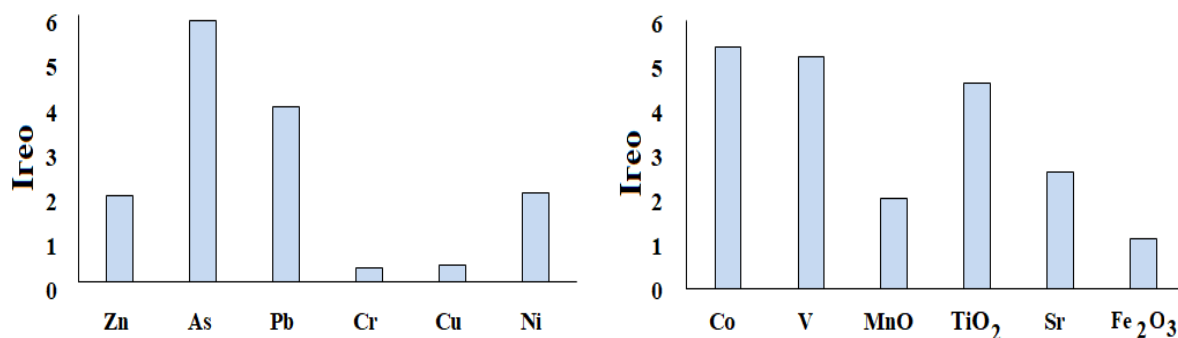


Рисунок 9. - Индекс геоаккумуляции ТМ в почвах южной и центральной частей Таджикистана

На рисунке 10 представлены экологические риски для АА Айваджа и Душанбе, основанные на подходе Хакансона [2-А]. 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» ($40 < ЭР < 80$), а Pb в пыли Айваджа и As в пробах Душанбе проявляет «значительный потенциал экологического риска» ($80 < ЭР <$

160). Для большей части ТМ характерен «низкий потенциальный экологический риск», то есть эти тяжелые металлы не оказывают особо неблагоприятного воздействия на экосистему.

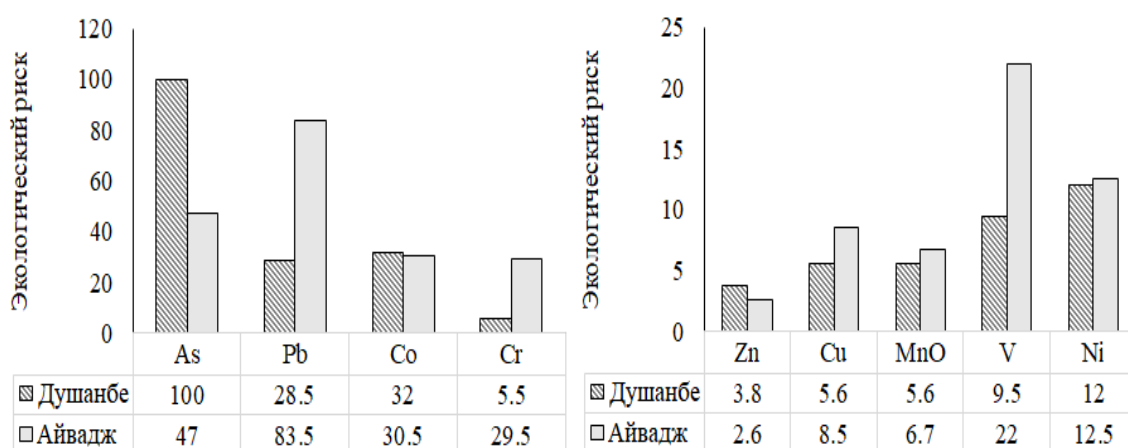


Рисунок 10. - Экологический риск (ЭР) ТМ в пыли г.Душанбе и Айваджа

Для оценки загрязнения тяжелыми металлами АА 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%), 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, Ni, Cr) представляют потенциальную опасность для местной экосистемы (рисунок 11 а, б).

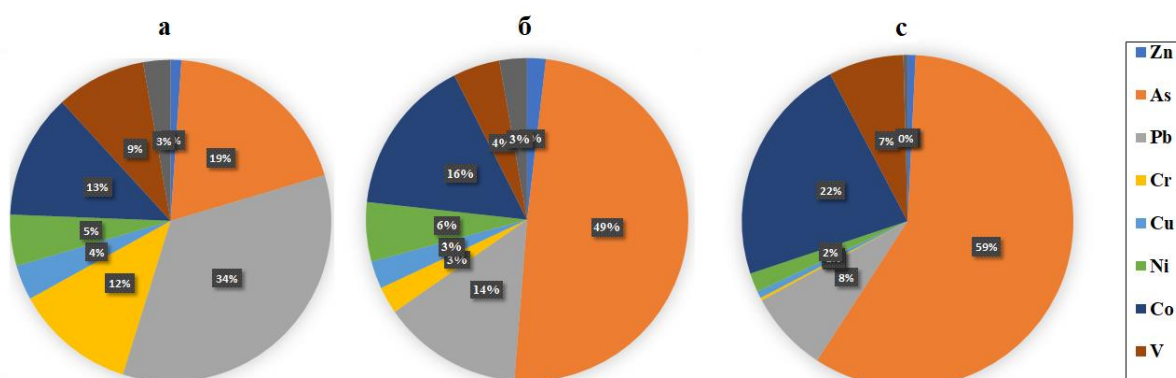


Рисунок 11. - Вклад ТМ в ИР пыли Айваджа (а), Душанбе (б) и в почвах (с)

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.

Корреляционная матрица Пирсона для тяжелых металлов в образцах атмосферной пыли южных и центральных регионах Таджикистана представлена в таблице 8. Концентрации Fe₂O₃ имеют значительную положительную корреляцию ($r = 0,96$) с Co и с TiO₂ (+0,95). Это указывает на общий источник загрязнения, возможно, природный. Сильная положительная связь As с Cu ($r = 0,5$) и Sr ($r = 0,54$) указывает на их общее происхождение (коррозия, автомобильных выбросов и выбросов при производстве цемента).

Корреляционный анализ ТМ в почвах показал, что концентрации многих ТМ имеют положительную корреляцию между собой за исключением As – Fe₂O₃% (-0,09), Fe₂O₃% – Pb (-0,01), Cu с Zn (-0,14), с Cr (-0,11) и также с As (-0,12). Концентрация V имеет значительную положительную корреляцию с Cr (0,68), Ni (0,66) и MnO (0,76). Средние корреляции обнаружены между концентрациями Pb и Zn (0,6), Co и As (0,5), Co и TiO₂ (0,55), концентрация

Ni имеет среднюю корреляцию со многими ТМ: Co (0,55), Zn (0,52), MnO (0,51), TiO₂ (0,55) (таблица 9).

Таблица 8. - Корреляционная матрица Пирсона между концентрациями ТМ в АА южного и центрального Таджикистана

	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃	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	0,96	-0,17
Cu					0,09	-0,12	0,5	-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	0,54	-0,08	0,13
TiO ₂									-0,12	0,95	-0,14
Sr										-0,07	0,3
Fe ₂ O ₃											-0,1

Таблица 9. - Корреляционная матрица Пирсона между концентрациями ТМ в почвах южного и центрального Таджикистана

	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃	Pb
V	0,68	0,66	0,45	0,18	0,27	0,76	0,12	0,5	0,15	0,17	0,44
Cr		0,3	0,22	-0,11	0,2	0,68	0,22	0,44	0,2	0,03	0,45
Ni			0,55	0,15	0,52	0,5	0,005	0,51	0,15	0,23	0,45
Co				0,07	0,4	0,46	0,5	0,55	0,22	0,07	0,13
Cu					-0,15	0,12	-0,12	0,1	0,17	0,3	-0,02
Zn						0,22	0,35	0,19	0,06	0,03	0,6
MnO							0,25	0,46	0,26	0,1	0,35
As								0,3	0,17	-0,09	0,14
TiO ₂									0,17	0,19	0,2
Sr										0,007	0,05
Fe ₂ O ₃											-0,01

Обычной практикой является сравнение средних концентраций ТМ в пыли различных городских сред [2-А], хотя общепринятые методики выборки и аналитические процедуры пока не существуют. Средняя концентрация Pb и Zn в пыли Душанбе и Айваджа гораздо ниже, чем в других городах, а средняя концентрация As оказалось выше всех, кроме Гонконга. На почвах северного 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 Fe₂O₃ на территории Таджикистана выше, чем в других странах. Высокая концентрация Pb в почве относится к Белграду, его содержание на южном и центральном Таджикистане аналогична Греции. Подобный анализ проведен также для остальных ТМ.

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

Можно предположить, что части траекторий воздушных масс, 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.

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 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 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_2 , Sr и MnO в почвах. Судя по индексу нагрузки загрязнения почв, регион очень сильно загрязнен As, Co, V, Pb, TiO_2 , 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_2 , V, Co и As относятся к группе сильных загрязнителей и интенсивно накапливались в почвах региона [2, 6, 12, 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_2O_3 с Co ($r = 0,96$) и с TiO_2 (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 загрязнённости почвы 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 южного и центрального частей Таджикистана.

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 и математических наук» на тему «Вклад физики в развитии современной техники и технологии». ХГУ им. акад. Б. Гафурова. – 2023. – С.192-196.

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. Streletskaaya, D. Kiseleva, M. Zaitseva et.al. //E3S Web of Conferences 98, 12023. – 2019. – Pp.6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199812023>
- [3]. Gubanov, D.P. Elemental composition of aerosols in the near-surface air of Moscow: seasonal changes in 2019 and 2020 / D.P. Gubanov, 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 Сырдарья (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. Абдусаматова // 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. Englemann, 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 State 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 // Ученые записки ХГУ. – 2018. – № 3(46). – С.56-62.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
ИНСТИТУТИ ФИЗИКАЮ ТЕХНИКАИ БА НОМИ С.У.УМАРОВ**

Бо ҳуқуқи дастнавис



УДК 551.576. 551.521.3(575.3)

ХАЛИФАЕВА Шохина Хуршедҷонова

**ТАҲҚИҚОТИ ТАРКИБИ УНСУРИИ АЭРОЗОЛИ АТМОСФЕРӢ ВА ХОКИ
ТОҶИКИСТОНИ ҶАНУБӢ ВА МАРКАЗӢ**

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии

доктори фалсафа (PhD)

(илмҳои физика ва математика)

**аз рӯи ихтисоси 25.00.30 – Обуҳовошиносӣ, иқлимшиносӣ, обуҳовошиносии
кишоварзӣ**

Душанбе – 2023

Диссертатсия дар лабораторияи физикаи атмосфераи Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон омода гардидааст.

Рохбари илмӣ: **Абдуллаев Сабур Фузайлович**, - доктори илмҳои физикаю математика, профессор, мудири лабораторияи физикаи атмосфераи Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Муқарризони расмӣ: **Удачин Валерий Николаевич**, - доктори илмҳои геологияю минералогӣ, профессор, директори Маркази федералии илмии минералогии ва геозэкологияи Южно-Урали ҷанубии Шуъбаи Уралии академияи илмҳои Россия

Баротов Бахтиёр Бурхонович, - номзади илмҳои техника, Мудири шубаи илмӣ-таҳқиқотии Агентии амнияти химиявӣ,биологӣ,радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Муассисаи пешбар: Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (ш.Душанбе)

Ҳимояи диссертатсия санаи « 21 » декабри соли 2023 соати « 15:30» дар ҷаласаи Шӯрои муштараки диссертатсионии **6D.KOA-055** назди Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон баргузор мегардад. Суроға: 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/1, факс (+992-372) 25-79-14. Толори Шӯрои илмии ИФТ ба номи С.У.Умарови АМИТ. E-mail: shuro.ift@gmail.com.

Бо матни пурраи рисола дар китобхонаи Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва дар сомонаи www.phfi.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат санаи « 21 » ноябри соли 2023 аз рӯи феҳристи пешниҳодшуда ирсол карда шудааст.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионии муштарақ,
доктори илмҳои физикаю математика, профессор

Д.М. Ақдодов

МУҚАДДИМА

Муҳиммияти кор. Аэрозоли атмосферӣ (АА) суспензияи заррачаҳои хурди саҳт ё катраҳои моеъ дар ҳаворо ташкил мекунад. Аэрозолиҳо ҳам аз падидаҳои табиӣ (буҳоршавии об, рӯфта шудани сатҳи хок, таркиши вулқонҳо, сӯхторҳои ҷангал) ва аз манбаъҳои антропогенӣ, аз қабали сӯзиши биомасса ё сӯзишвории истихроҷшуда пайдо мешаванд [1-3]. Аэрозолиҳои атмосферӣ дар минтақаи хушк аксар вақт ҳангоми тӯфони ҷангӣ пайдо мешаванд [4].

Қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон дар камарбанди глобалии ҷангӣ ҷойгир буда, ҷанг ба ин минтақа тавассути сарҳади ҷанубии кишвар аз сарчашмаҳои, ҷун биёбонҳои Аралқум, Қизилқум, Қароқум, Гоби ва Такла-Макан, биёбонҳои эронии Дашти Лут ва Дашти Кабир, инчунин аз баҳри хушкшудаистодаи Арал ворид мешавад. Водии кӯҳӣ аксар вақт бо абрҳои ҷангу ғубор фаро гирифта шуда, аз оқибатҳои он зарар мебинанд [5].

Дар рисолаи мазкур масъалаҳои муҳимтарини ифлосшавии муҳити зист бо металлҳои вазнин (МВ) ва ифлосшавии техногенӣ табиат бо МВ, ки ба гурӯҳи моддаҳои махсусан хатарнок мансубанд, таҳқиқ карда шудаанд. Барои ҳалли ин масъала таҳлили геохимиявии параметрҳои микдорӣ ва сифатии ифлосшавии муҳити зист гузаронида мешавад [6].

Омӯзиши таркиби МВ дар аэрозолиҳои атмосфера ва хок аз сабаби заҳролуд будани онҳо барои одамон зарур аст [2]. Баъзе металлҳои вазнин (хроми шашвалентӣ (Cr), арсен (As), кадмий (Cd) ва никел (Ni)) ба рӯйхати канцерогенҳо шомил карда шудаанд. Металлҳои вазнин аз атмосфера метавонанд дар наботот ва ҳайвонот ҷамъ шуда, тавассути занҷири ғизо ба организми инсон ворид шаванд [3]. Бар хилофи ифлоскунадаҳои органикӣ, вайрон намешаванд, балки аз як шакл ба шакли дигар мегузаранд, аз ҷумла, онҳо ба таркиби намакҳо, оксидҳо ва пайвастагиҳои металлҳои органикӣ дохил мешаванд. [7, 8].

Таҳқиқи ифлосшавии аэрозолиҳои атмосфера дар Тоҷикистон барои омӯзиш ва ҳалли мушкилоти интиқоли ҷангӣ фаромарзӣ ва минтақавӣ муҳим аст. Атмосфераи ҷанубӣ ва марказии кишвар дар фасли сармо аз партовҳои нақлиёт, шабакаҳои барқу гармидиҳӣ, заводҳои сементбарорӣ, хоҷагии манзилию коммуналии сектори хусусӣ ва дар фасли гармо аз ҳисоби селҳои саҳти ҷангӣ аз сарҳадҳои ҷануб ва ғарби ҷумҳурӣ, олуида мегардад [9, 10].

Омӯзиши таркиби аэрозолиҳои атмосферӣ ва хок дар қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон имкон медиҳад, ки таъсири антропогенӣ ба муҳити табиӣ, ки ба саломатӣ ва фаъолияти хоҷагидорӣ одамон таҳдид мекунад ва нақши интиқоли моддаҳои ҳавоии модаҳо ба қаламрави кишвар, баҳодод карда шавад. Барои гузаронидани ҷунин таҳқиқот солҳои охир шабакаҳои рӯи заминии мониторинги аэрозолиҳои атмосферӣ бисёр шуда истодаанд [11].

Таҳқиқи таркиби аэрозолиҳои РМ 10 ва РМ 2.5 аз ҷониби олимони ва муҳаққиқони бисёр кишварҳои ҷаҳон (Чин, Ҳиндустон, Русия, Иордания, Юнон, ИМА, Олмон, Африқо ва ғ.) мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд [1-12], ки муҳимияти мавзӯи интиҳобшударо ифода мекунад.

Дар заминаи тағйирёбии иқлим ва афзоиши таъсири антропогенӣ ба муҳити зист, омӯзиши сатҳи ифлосшавии аэрозолиҳои атмосферӣ ва хоки Тоҷикистон бо металлҳои вазнин, омӯзиши генезиси ин гуна ифлосиҳо аҳамияти калон пайдо кардааст.

Зарурати баргузори таҳқиқот. Воридшавии моддаҳои хавфнок ба муҳити зист ба саломатии инсон, ҳосилнокии кишоварзӣ ва экосистема таъсири манфӣ мерасонад [12]. Сарчашмаҳои МВ дар ҷанг ва хок аксар вақт бо фаъолиятҳои антропогенӣ (партовҳои нақлиёт, обҳои ташноб ва партовҳои саноатӣ) алоқаманданд [13, 14]. Рушди саноат ва шахрсозӣ боиси ба хок дохил шудани металлҳои вазнин мегардад. Аксар вақт қайд карда мешавад, ки бо микроэлементҳо олуида шудани ҷангу хокро омӯхтан лозим аст [15].

Дар давоми 30 соли охир шумораи эпизодҳои ҷангӣ дар Тоҷикистон ҳадди ақал 10 баробар афзуд. Дар ибтидои солҳои 90-ум дар давоми сол ҳамагӣ ду-се маротиба ба қайд гирифта шуда бошанд, дар солҳои охир ҳар сол то 35 ҳодисаи ҷангӣ сабт мешавад.

Дар қисмҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон дар давоми даҳсолаи охир ҷангу ғубор тез-тез ба амал омада, дар таркиби ҷангӣ моддаҳои зиёди ифлоскунада, аз ҷумла МВ

мавҷуданд, бинобар ин таҳқиқи таркиби унсурҳои ҷанги атмосферӣ ва ҳок аҳамияти калон дорад.

Дарачаи азхудшудаи маъъалаи илмӣ ва заминаҳои назариявӣ методологии таҳқиқот. Аввалин таҳқиқоти муфассали таркиби аэрозолҳои Тоҷикистон соли 1989 гузаронида шуда буд [16]. Вазифаи озмоиши Иттиҳоди Шӯравӣю Америка муқаррар намудани хусусиятҳои физикию химиявии ҷанг дар минтақаи биёбонии ҷануби Тоҷикистон буд. Намунаҳои аэрозол ва ҳоке, ки дар филтрҳо дар ноҳияи Шахритуз пас аз тӯфони ҷангу ғубор 20 сентябри соли 1989 ҷамъ оварда шудаанд, омӯхта баромада шуданд. Муайян карда шуд, ки концентратсияи Ti, Al, Cu, As дар аэрозол зиёдтар аст, концентратсияи Sr, Ca бисёртар дар ҳок ва Fe, Co, Cr дар таркиби ҳам аэрозол ва ҳам ҳок қариб якхелаанд. Ҷанд муддат пеш таркиби ҷанги атмосфера ва ҳоки Тоҷикистони Шимолӣ таҳқиқ шуда буд [17]. Айвоч «дарвоза»-и селайи ҷанг аст, тӯфонҳои ҷангӣ аз сарҳадҳои ҷанубӣ вориди кишвар шуда, аз шаҳру ноҳияҳои қисмати ҷанубӣ гузашта, ба маркази Тоҷикистон мерасад. Аз сабаби шароити орографии минтақа, ҷанг дар шакли тумани ҷангӣ муддати дароз дар атмосфера мемонад. Он дорои микроэлементҳои зиёд мебошад, ки аксарияти МВ ба саломатии инсон таъсири манфӣ мерасонанд.

Дар ин таҳқиқот, вариатсияи вақтӣ ва солонаи МВ дар ҷанг ва ҳок дида баромада шуда, таҳлили омӯрӣ ва гуногунҷанбаи концентратсияи МВ, дарачаи олудагии аэрозолҳои атмосферӣ ва ҳок бо истифода аз усулҳои баҳодихии ифлосшавӣ, хатарҳои экологӣ ва индекси хатари МВ гузаронида шудааст. Траекторияҳои баръакси селайи ҳаво, ки дар таркибаш концентратсияи баланди МВ дар ҷанг дошт ҳисоб карда шуда, манбаҳои олудашавӣ муайян карда шуданд.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади кори рисола - омӯхтани таркиби унсурҳои аэрозолҳои атмосферӣ ва ҳоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон мебошад.

Объекти таҳқиқот аэрозолҳои атмосферӣ ва ҳоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон мебошанд.

Мавзӯи таҳқиқот: намунаҳои аэрозолҳои атмосферӣ ва ҳок, ки аз соли 2007 то 2022 дар ҳудуди Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ ҷамъоварӣ шудаанд.

Вазифаҳои асосӣ:

1. Таҳқиқ намудани вариатсияи вақтии концентратсияи МВ ва олудагии аэрозолҳо бо МВ дар ҳок ва АА;

2. Муайян кардани дарачаи олудагии қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон бо металлҳои вазнин;

3. Ошкор кардани саҳми манбаҳои антропогенӣ ва табиӣ ифлосшавӣ бо истифода аз коэффисиенти тағйирёбии концентратсияи МВ;

4. Баҳодихии имкониятҳои истифодаи яқҷояи маълумотҳо дар бораи таркиби МВ дар сатҳи замин ва траекторияҳои массаҳои ҳаво барои муайян кардани манбаҳои ифлосшавии атмосфера ва ҳок бо МВ;

5. Таҳқиқи қонуниятҳои таркиботи МВ дар аэрозоли атмосферӣ ва ҳоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон бо истифода аз усулҳои таҳлили статистикӣ ва коррелясионӣ;

6. Баҳодихии хатарҳои экологӣ ва индекси хатари МВ дар ҷанг ва ҳок.

Усулҳои таҳқиқот. Миқдори дувоздаҳ МВ (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Fe₂O₃, TiO₂, MnO) тавассути таҳлили флуоресценсияи рентгенӣ ҷен карда шуд. Бо истифода аз усулҳои таҳлили гуногунҷанбаи омӯрӣ ва баҳодихии индекси олудашавӣ, прокандагии концентратсияи МВ ва дарачаи ифлосшавии ҷанги атмосферӣ ва ҳок бо МВ баҳодод карда шуданд. Усули траекторияҳои баръакс манбаҳои эҳтимолии олудашавии бо МВ-ро ошкор намуд.

Соҳаи таҳқиқот. Мавзӯи таҳқиқоти рисола ба шиносномаи номенклатураи ихтисосҳои Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи

ихтисоси 25.00.30 – Обухавошиносӣ, иқлимшиносӣ, агрометеорология, аз ҷумла бандҳои 8, 12 ва 16 мувофиқат мекунад.

Марҳилаҳои таҳқиқот чамъоварӣ ва тайёр кардани намунаҳои аэрозоли хок ва ченкунии таркиби унсурҳои намунаҳоро дар бар мегиранд. Вариатсияи вақтии концентратсияҳои МВ омӯхта шудааст. Таҳлили омӯри барои баҳодихии дараҷаи парокандагии қимматҳои бадастомада нисбат ба ҳисоби миёна гузаронида шуд. Дараҷаи олудашавии аэрозоли хок бо МВ арзёбӣ шуда, хатарҳои потенсиалии экологии металлҳои вазнин ифода карда шуданд. Таҳлили муқоисавии концентратсияи МВ бо дигар минтақаҳои ҷаҳон ва таҳлили коррелятсионӣ барои баҳодихии робитаи байни миқдори МВ дар ҷанги атмосферӣ ва хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон гузаронида шуд.

Пойгоҳи асосии иттилоотӣ ва озмоишӣ. Барои муайян кардани таркиби унсурҳои АА ва хок чунин пойгоҳи озмоишӣ истифода шудааст: спектрометри мавҷӣ – дисперсии флуоресентии рентгении «СПЕКТРОСКАН МАКС-Г» (ЧДММ «СПЕКТРОН», Санкт-Петербург). Таҳлили омӯри ва баҳодихии дараҷаи олудашавии ҷанг ва хок бо МВ дар бастаи омӯри татбиқшавандаи барномаҳои стандартҳои Excel гузаронида шуд. Модели HYSPLIT барои муайян кардани манбаъҳои эҳтимолии МВ-и хатарнок тавассути ҳисоб кардани траекторияҳои баръакси интиқоли массаи ҳаво, ки интиқолкунандаи олудагиҳо ҳастанд истифода шудааст.

Эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада. Барои коркарди натиҷаҳои тадқиқот усулҳои омӯри математикӣ истифода шуданд. Таҳқиқоти гузаронидашудаи таркиби унсурӣ репрезентивӣ мебошанд. Эътимоднокии натиҷаҳоро коркарди маълумоти омӯри тасдиқ кард. Натиҷаҳои таҷрибавӣ бо маълумоти аз ҷониби дигар олимони усулҳои гирифташуда, мувофиқат мекунад.

Навгони илмӣ таҳқиқот дар он аст, ки бори аввал:

1. Маҷмӯи маълумоти базавӣ оид ба таркиби унсурҳои аэрозоли атмосферӣ ва хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон ташкил карда шуд.

2. Вариатсияи вақтии миқдори МВ дар аэрозоли атмосферӣ дар давраи солҳои 2007–2022 ва дар хок аз солҳои 2009 то 2021 омӯхта шуд. Концентратсияи заминавии МВ дар АА ва хок бо мақсади баҳодихии саҳми аэрозоли дар ифлосшавии хок муайян карда шуданд.

3. Саҳми манбаъҳои антропогенӣ ва табиӣ дар ифлосшавӣ аз рӯи коэффисиенти тағйирёбии концентратсияи металлҳои вазнин муайян карда шуда, бо усули траекторияҳои баръакси массаҳои ҳаво манбаъҳои эҳтимолии олудашавӣ бо МВ муайян карда шуданд.

4. Дараҷаи парокандагии концентратсияи унсурҳои ва тағйирёбии тақсими онҳо дар ҳудуди ҷануби марказии Тоҷикистон бо истифодаи усули таҳлили омӯри таҳлил карда шуд. Дараҷаи ифлосшавии ҷанги атмосферӣ ва хок бо МВ бо усулҳои баҳодихии индекси олудашавӣ: омили олудашавӣ (ОО), индекси сарбории олудашавӣ (ИСО), индекси олудашавии геохимиявӣ (I_{geo}) муайян карда шуд. Хатарҳои экологии (ХЭ) металлҳои вазнин ва индексҳои хатар (ИХ) дар ҷанг ва хок муайян карда шудаанд.

5. Миқдори зиёди As, Co, V дар намунаҳои ҷанги атмосфераи Душанбе, Pb, Cr, Ni, V ва MnO дар намунаҳои АА Айвоч ва As, Co, V, Pb, TiO₂, Sr ва MnO дар хок ошкор карда шуд, ба миқдори онҳо дар таркиби АА бо дараҷаҳои гуногуни сарбории антропогенӣ баҳо дода шуд;

6. Коэффисиентҳои коррелятсионии концентратсияи МВ дар намунаҳои аэрозоли ва хок ҳисоб карда шуда, таҳлили муқоисавӣ бо минтақаҳои дигар гузаронида шуд.

Аҳамияти назариявӣ таҳқиқот.

– Муайянкунии коэффисиенти тағйирёбӣ ва вариатсияи вақтии таркиби МВ дар аэрозоли атмосферӣ ва хок имкон дод, ки таъсири антропогенӣ ба муҳити зист баҳодихӣ карда шавад, ки ин натиҷаро дар масъалаҳои моделсозии назариявӣ истифода бурдан мумкин аст;

– Ошкоркунии коррелятсияи баланди мусбат байни концентратсияҳои Fe₂O₃ ва Co (0,96), Fe₂O₃ ва TiO₂ (0,95) дар намунаҳои АА ва коррелятсияи назарраси мусбати V бо Cr (0,68), Ni (0,66) ва MnO (0,76)) дар хок аз манбаи умумии ин ифлоскунандаҳо дарак медиҳад;

– Таҳлили маълумотҳо оид ба ОО, ИСО ва I_{Geo} сахми ҳар як МВ-ро дар ифлосшавии чанги атмосферӣ ва ҳок нишон дод, ки баҳисобирии онҳо метавонад дар ҳисобкуниҳои назариявии ифлосшавии муҳити зист истифода шавад;

– Сатҳи хатари экологӣ барои As (100) дар АА Душанбе ва Pb (83,5) дар чанги атмосферии Айвоҷ баландтарин буд. As (855) ифлоскунандаи пурқувват дар намунаҳои ҳок мебошад. Дар чанги атмосферии Душанбе ва Айвоҷ МВ индекси хатари муътадилро нишон доданд, аммо дар ҳок баландтарин ХЭ ошкор карда шуд. Ин натиҷаҳо бояд ҳангоми баҳодиҳии вазъи экологии минтақа истифода шаванд;

– Траекторияи массаҳои ҳаво дар сатҳи замин муайян карданд, ки манбаъҳои асосии ифлосшавии аэрозол бо МВ дар минтақаи Осиёи Миёна ҷойгиранд.

Аҳамияти амалии таҳқиқот:

1. Дар давоми таҳқиқоти минбаъдаи ифлосшавии чангу хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон натиҷаҳои таҳқиқоти мазкурро ҳамчун пойгоҳи маълумот истифода бурдан мумкин аст;

2. Маълумот дар бораи концентратсияҳои заминавӣ, ОО, ИСО ва I_{Geo} - и МВ: Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Fe_2O_3 , MnO, Cr, V ва TiO_2 дар чанги атмосфера ва ҳокҳои қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон меъёри дараҷаи ифлосшавии ҳудуди минтақа мебошанд;

3. Нишон дода шудааст, ки ҳангоми мониторинги ҳолати экологии хоки минтақа дараҷаи олудашавии ҳок бо металлҳои вазнин ва сахми манбаъҳои антропогенӣ дар минтақа ба назар гирифта шавад;

4. Ҳангоми муайян кардани манбаъҳои ифлосшавӣ, моделсозии интиқоли ифлосшавӣ тавассути селҳои ҳаво бояд истифода шавад.

Нуктаҳои ҷимояшавандаи диссертатсия:

1. Тағйирёбии вақтии микдори МВ дар АА ва хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон ба таври систематикӣ омӯхта шуд.

2. Хусусиятҳои тақсмоти концентратсияи МВ дар ҳок ва аэрозолҳои атмосферии минтақа омӯхта шуданд.

3. Аз рӯи индекси сарбории олудашавӣ ва индекси геоаккумулятсия ифлоскунандаҳои хавфноктарини ҳок ва АА-и минтақа муайян карда шуданд.

4. Хатари экологии As дар чанги Душанбе ва Айвоҷ, Pb дар чанги Айвоҷ ва As, Pb, V ва Co дар хоки минтақа аз ҳама зиёд буданд. Индекси хатар барои чанги Душанбе $I_{\text{X}}=202$, барои чанги Айвоҷ $=245$ ва барои хоки минтақа $I_{\text{X}}=1463,5$ ташкил дод. Мувофиқи I_{X} , As, Pb, Co, Ni, Cr дар чанг ва As, Co дар ҳок хатари потенциали барои экосистемаи маҳаллӣ доранд.

5. Дар чанги атмосфера коррелятсияи Fe_2O_3 бо Co ($r = 0,96$) ва TiO_2 (0,95) ба таври мусбат баланд буд. Робитаи мусбати нисбатан мустаққама As бо Cu ($r = 0,5$) ва Sr ($r = 0,54$) ошкор шуд, ки ба пайдоиши умумии онҳо ишора мекунад. Дар ҳок V бо Cr (0,68), Ni (0,66) ва MnO (0,76) коррелятсияи мусбати назаррас дорад.

6. Траекторияҳои баръакси массаҳои ҳаво нишон доданд, ки манбаъҳои эҳтимолии МВ қисми ҷанубии Тоҷикистон, Афғонистон ва ҷануби Ўзбекистон мебошанд.

Саҳми шахсии муаллиф: Муаллиф бевосита дар тайёр кардани маводҳо (ҷамъоварии намунаҳои АА ва ҳок, тайёр кардани намунаҳо барои таҳлили физикӣ ва химиявӣ), дар гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣ, коркарди омории натиҷаҳои таҳлил ва муқоиса бо маълумоти адабиёт, дар муҳокимаи натиҷаҳо иштирок кардааст. Муаллиф шахсан натиҷаҳои озмоиширо тафсир карда, мақолаҳо ва тезисҳоро дар асоси маводи рисола омода кардааст.

Таъйиди диссертатсия ва иттилоот доир ба истифодаи натиҷаҳои он. Мӯҳтавои асосии натиҷаҳои таҳқиқоти рисола дар семинарҳои ИФТ ба номи С. У. Умарови АМИТ (Душанбе, 2019 – 2022), баррасӣ шудаанд ва дар конфронсияҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявии зерин муҳокима шудаанд: Симпозиуми физикони Тоҷикистон бахшида ба 85-солагии академики АМИТ – Р. Марупов (ш. Душанбе, 25-26 ноябри соли 2021); II – конфронси байналмиллалӣ илмӣ – амалӣ «Рольи ҷендин – учёных в развитии науки, инноваций и технологий» (ш. Гулистон, 16 – 20 августи соли 2021); конфронси байналмиллалӣ илмӣ – амалӣ бахшида ба «Годам развития села, туризма и народных ремёсел» (ш. Душанбе, 27

ноябри соли 2020); конфронси байналмиллалӣ илмӣ – амалӣ «Роль молодых учёных в развитии науки, инновации и технологий» (ш. Душанбе, 22 октябри соли 2020); Конфронси VII байналмиллалӣ «Мушкилоти муосири физика» (ш. Душанбе, 9-10 октябри соли 2020); конфронси байналмиллалӣ илмӣ – амалӣ «Перспектива развития науки и образования» (ш. Душанбе, 27-28 ноябри соли 2019); Симпозиуми байналмиллалӣ “Проблемы и вклад естественно – математических наук в развитие медицины” (ш. Душанбе, 25 ноябри соли 2022); XV- конфронси байналмиллалӣ илмӣ – амалии олимони ҷавон ва донишҷӯёни МДТ “ДДТТ ба номи Абуали ибни Сино” бахшида ба соли рушди сайёҳӣ ва ҳунарҳои мардумӣ (ш. Душанбе, 24 апрели соли 2020); Конфронси VIII байналмиллалӣ «Мушкилоти муосири физика» (ш. Душанбе, 21-22 октябри соли 2022); конфронси X-уми байналмиллалӣ илмӣ - амалӣ «Ломоносовские чтения», посвященной 75-летию Победы в Великой отечественной Войне (ш. Душанбе 25-26 сентябри соли 2020); Конфронси илмию амалии ҷумҳуриявӣ бахшида ба 20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва математика дар соҳаи илм ва маориф, (ш. Душанбе, 28 октябри 2020); Конфронси илмию амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Муаммоҳои муосири физикаи муҳитҳои конденсӣ ва физикаи ядрой» бахшида ба «20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва математика дар соҳаи илм ва маориф», (ш. Душанбе, 19 феввали соли 2020); Конференсияи илмию амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Рисолати илми физика дар рушди техника ва технологияи муосир» бахшида ба «20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва математика дар соҳаи илм ва маориф», (ш. Хучанд 16-17 марти соли 2023);

Натиҷаҳои навишудаи таҳқиқот. Аз рӯи маводи кори диссертатсионӣ 20 қор нашр шудааст, ки аз он 6 мақола дар маҷаллаҳои тақризии Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таъб расидаанд.

Соҳтор ва ҳаҷми рисола. Рисола аз муқаддима, қор боб бо зерфаслҳо, хулоса, рӯйхати истинодҳои адабиётҳо ва луғат. Қори рисола дар 121 саҳифаи матни компютерӣ, аз ҷумла 21 ҷадвал, 46 расм ва 137 истинодҳои адабиётҳо пешниҳод шудааст.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар **муқаддима** мубрамияти мавзӯи рисола асоснок карда шуда, ҳадаф ва вазифаҳои таҳқиқот муайян карда шудаанд. Навгонии илмӣ, эътимодноқӣ ва аҳамияти амалии таҳқиқоти гузаронидашуда нишон дода шуда, соҳтори қори рисола тавсиф карда шудааст. Нуқтаҳои химояшавандаи рисола, нашрияҳо ва гузоришҳо оид ба мавзӯи рисола оварда шуда, саҳми шахсии муаллиф қайд карда мешавад.

Дар **қори аввал** баррасии таҳлилии адабиёт ва мурағабсозии масъалаҳои қори рисола оварда шудааст. Тавсифи муҳтасари физикию географӣ ва иқлимӣ минтақаи таҳқиқотшаванда дода шудааст. Маълумоти адабиёт дар бораи таркиби унсурҳои азроғолҳои атмосферӣ ва ҳок баррасӣ карда мешавад. Хусусиятҳо ва паҳншавии МВ дар табиат оварда шудаанд. Муаммоҳои ифлосшавии муҳити зист бо металлҳои вазнин нишон дода шудаанд. Тавсифи муҳтасари таснифоти гуногуни АА вобаста ба андоза ва пайдоиши онҳо оварда шудааст. Таҳқиқотҳои қаблӣ оид ба таҳлили унсурҳои АА ва ҳок нишон дода шудаанд. Умуман, қори якум қор ва таҳқиқоти илмиро дар соҳаи таркиби унсурҳои азроғолҳои атмосфера ва ҳок инъикос мекунад.

Дар **қори дуюм** тарзу усулҳои гирифтани намунаҳо, тайёр кардани намунаҳои АА ва ҳок тавсиф карда шудааст. Объектҳои таҳқиқотро системаҳои дисперсӣ: азроғолҳои атмосфера ва ҳок ташкил доданд. Ҷамъоварии намунаҳои азроғол ва ҳокро қормандони лабораторияи физикаи атмосфераи ИФТ ба ном С.У.Умарова АМИТ аз соли 2007 то 2022 анҷом доданд. Аз ҳудуди Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ 244 намуна (125 намунаи азроғол ва 119 намунаи ҳок) ҷамъоварӣ ва таҳлил карда шуд.

Усули ҷамъоварӣ, қашонидан ва нигоҳ доштани намунаҳо муфассал баён карда шудааст. Координатҳои макони намунаҳои АА ва ҳок оварда шудаанд. Таҷҳизоти озмоишӣ, ки қори гирифтани маълумотҳо истифода шуда, тавсиф карда шудааст. Қонцентратсияҳои МВ (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Fe₂O₃, TiO₂ ва MnO) тавассути таҳлили флуоресенсияи рентгенӣ дар спектрометри мавҷӣ - дисперсионии "СПЕКТРОСКАН МАХ-G" (ҶДММ

«СПЕКТРОН», ш. Санкт-Петербург), дар лабораториям физикаи атмосфераи ИФТ АМИТ муайян карда шуд. Усулҳои статистику таҳлили таркибии МВ дар ҷанги атмосферӣ ва баён карда шудаанд. Усулҳои баҳодиҳии дараҷаи ифлосшавӣ оварда шудаанд:

Кoeffисиенти тағйирёбӣ (CV)-и консентратсияи унсур тағйирпазирии он, инчунин нақши фаъолияти инсонро дар ифлосшавӣ инъикос мекунад; қиммати баланди CV ба даҳолати бештари инсон ишора мекунад. Бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$CV = \frac{\sigma}{\langle C \rangle} \quad [1]$$

ки инҷо σ - инҳирофи стандартӣ ва $\langle C \rangle$ - қиммати миёнаи МВ.

Индекси геоаккумулятсия (I_{geo}) консентратсияи мавҷудбудаи металлҳои вазнини намунаҳои ҷамъшударо бо қимматҳои заминавӣ муқоиса мекунад ва ба сатҳи ифлосшавӣ ишора мекунад, ки бояд ба назар гирифта шавад. Он бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1,5 \times B_i} \right) \quad [2]$$

ки инҷо C_i - консентратсияи метали вазнин дар намуна буда, B_i - консентратсияи заминавии МВ мебошад.

Омили олудаашавӣ (OO) таносуби консентратсияи метали вазнин дар намуна ба консентратсияи заминавии он мебошад. OO мувофиқи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$OO = \frac{C_i}{B_i} \quad [3]$$

ки инҷо C_i - консентратсияи МВ дар намуна, B_i - консентратсияи заминавии МВ мебошад.

Индекси сарбории олудагӣ (ИСО) нишондиҳандаи сарбории ҷамъшудаи ифлосшавиро тавсиф мекунад. ИСО бо формулаи (4) ҳисоб карда мешавад:

$$ИСО = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n C_i / B_i} \quad [4]$$

ки инҷо C_i ва B_i маънои дар формулаҳои 2 ва 3-ро доранд.

Хатари экологӣ (ХЭ) барои муайян кардани хатари потенциалии экологии ифлоскунандаи додашуда дар минтақаи таҳқиқот истифода мешавад. Хатари экологӣ бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$ХЭ = T_i \times OO \quad [5]$$

ки инҷо T_i - захролудшавии металл муҳити зист ва OO омили олудакунии мебошад.

Индекси хатар (ИХ) аз рӯи қимматҳои эҳтимолии хатари ҳамаи металлҳои вазнин муайян карда мешавад ва бо формулаи зерин [2-А] ҳисоб карда мешавад:

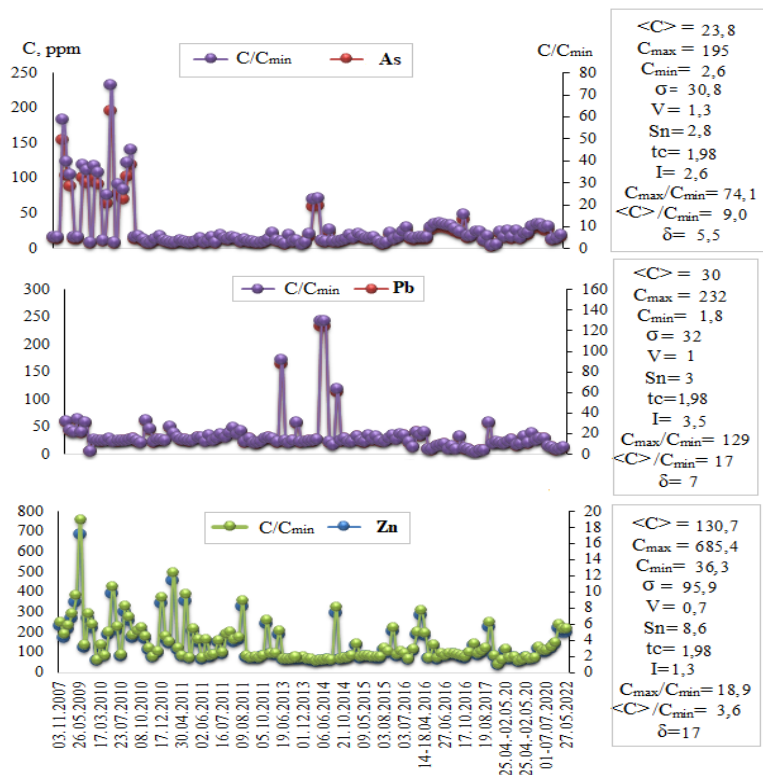
$$ИХ = \sum_i^n ХЭ \quad [6]$$

ки инҷо n - шумораи унсурҳои омӯхташаванда ва i ба унсурҳои i -юм ишора мекунад. Маълумот дар бораи усули ҳисоб кардани траекторияҳои баръакс дар модели HYPPLIT оварда шудааст.

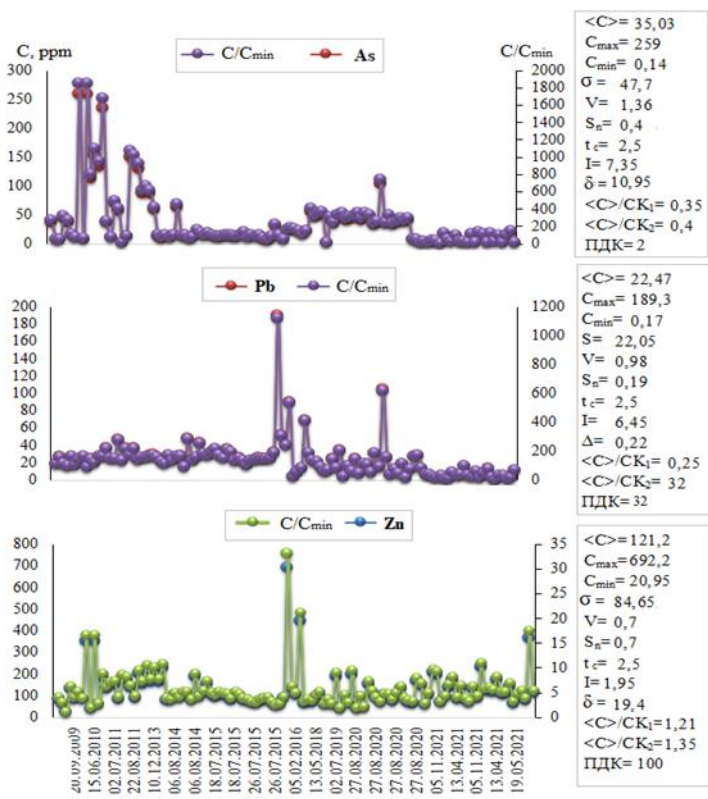
Боби сеюм вариатсияи вақтии консентратсияҳои МВ дар АА ва хок баррасӣ мекунад. Дар тамоми қорҳое, ки ба таҳқиқи МВ бахшида шудааст, омузиши таркибии сурб, арсен ва рух, ки ба МВ синфи якуми хатар дар АА ва намунаҳои хок тааллуқ доранд, диққати махсус дода мешавад. Дар расми 1 тағйирёбии консентратсияи As, Pb, Zn ва таносуби қиммати миёнаи онҳо ба қиммати заминавӣ дар намунаҳои АА дар қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон нишон дода шудааст. Қиммати миёнаи As дар намунаҳои АА 23,8 ppm мебошад. Баландтарин консентратсияи унсур 195 ppm, дар намунаҳои ҷанги Айвоч 13.07.2010 дарёфт карда шуд. Қиммати максималӣ аз қиммати заминавии минтақа барои арсен 74 маротиба зиёдтар аст ва таносуби консентратсияи миёна ба заминавӣ ба 9 баробар аст.

Консентратсияи баландтарини сурб дар намунаҳои АА дар ҳудуди Айвоч 04.07.2014 (231 ppm), 26.04.2014 (232,3 ppm) ва 07.04.2014 (112 ppm) ба қайд гирифта шудааст. Дар намунаҳои АА-и минтақаи марказӣ, микдори максималии Pb 22 октябри соли 2013 (163,5 ppm)

дарёфт шудааст. Қиммати миёнаи Pb 30 ppm буд, ки ин аз қиммати заминавӣ 17 маротиба зиёд аст.



Расми 1. - Вариатсияи консентратсияи Pb, As ва Zn дар намунаҳои АА



Расми 2. - Вариатсияи консентратсияи Pb, As ва Zn дар намунаҳои хок

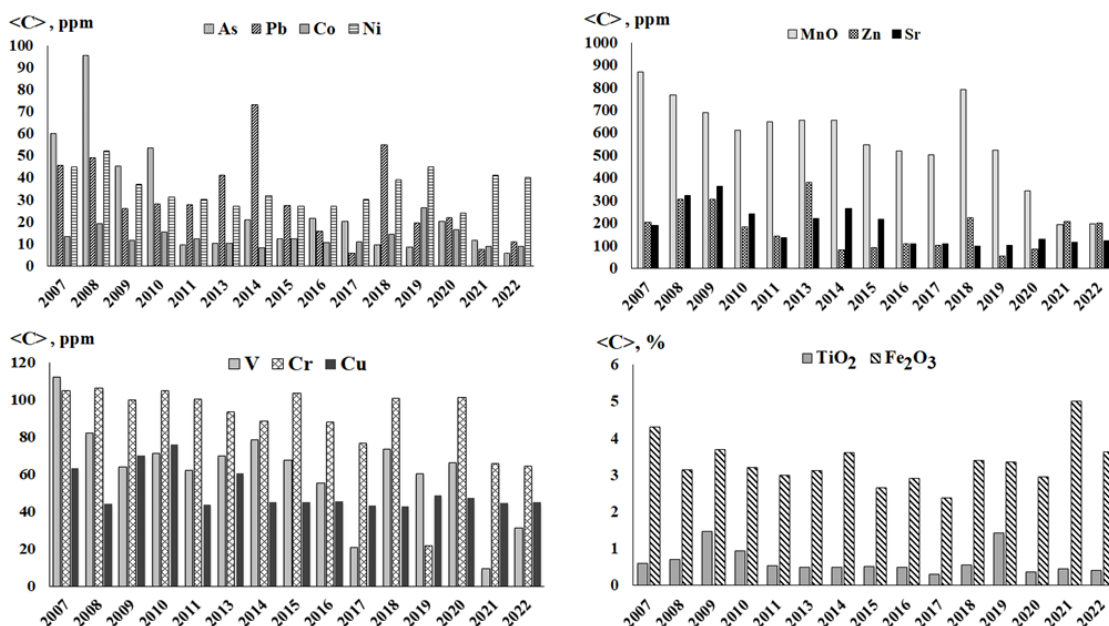
Консентратсияи баланди руҳ дар қисмати марказӣ дар солҳои 2007 ($\langle C \rangle = 245$ ppm), 2021 ($\langle C \rangle = 206$ ppm) ва 2022 ($\langle C \rangle = 206$ ppm) ва дар ҳудуди Айвоҷ солҳои 2009 (685,4; 263; 216 ppm), 2010 (387; 206; 252 ppm), 2011 (352; 197; 186 ppm), 2014 (292 ppm), 2015 (202 ppm),

2016 (280 ppm) ошкор шудааст. Қиммати миёнаи рух 7,3 ppm – ро ташкил дод. Таносуби қиммати максималӣ ба заминавӣ баробар аст ба 19, қимати миёна ба заминавӣ қариб ба 4. Дар намунаҳои қисмати шимолии маркази кишвар консентратсияи рух аз қиммати миёна камтар аст.

Миқдори Pb дар намунаҳои хок аз 0,17 ppm то 189,7 ppm тағйир меёбад, миқдори миёнаи он дар хок 22,47 ppm мебошад. Миқдори миёнаи сурб дар намунаҳои хок аз қиммати заминавӣ 5 маротиба зиёд аст, аммо аз консентратсияи ҳадди ақал (КҲА) камтар аст. Қиммати максималӣ ба намунае дахл дорад, ки 5 феввали соли 2016 дар назди Маркази барқу гармидиҳии №1 (МБГ №1)-и шаҳри Душанбе чамъоварӣ шудааст ва аз ҳадди ақал 130 маротиба зиёд аст (Расми 2).

Интервали қиммати As дар намунаҳои хок аз 0,14 ppm то 259 ppm - ро ташкил медиҳад. Консентратсияи баландтарини As дар қисмати ғарбии заводи алюминии тоҷик «ТАЛКО» дар шаҳри Турсунзода - 259 ppm ва дар шаҳри Душанбе (Охтоғ) - 259 ppm ва инчунин дар ҳудуди қисми шимолии ш. Душанбе - 103 ppm ошкор шудааст. Қиммати миёна 35 ppm- ро ташкил дода, аз қиммати заминавӣ 245 маротиба зиёдтар аст. КҲА-и ин элемент 2 ppm аст ва қиммати миёнаи As аз он 17 маротиба зиёд аст.

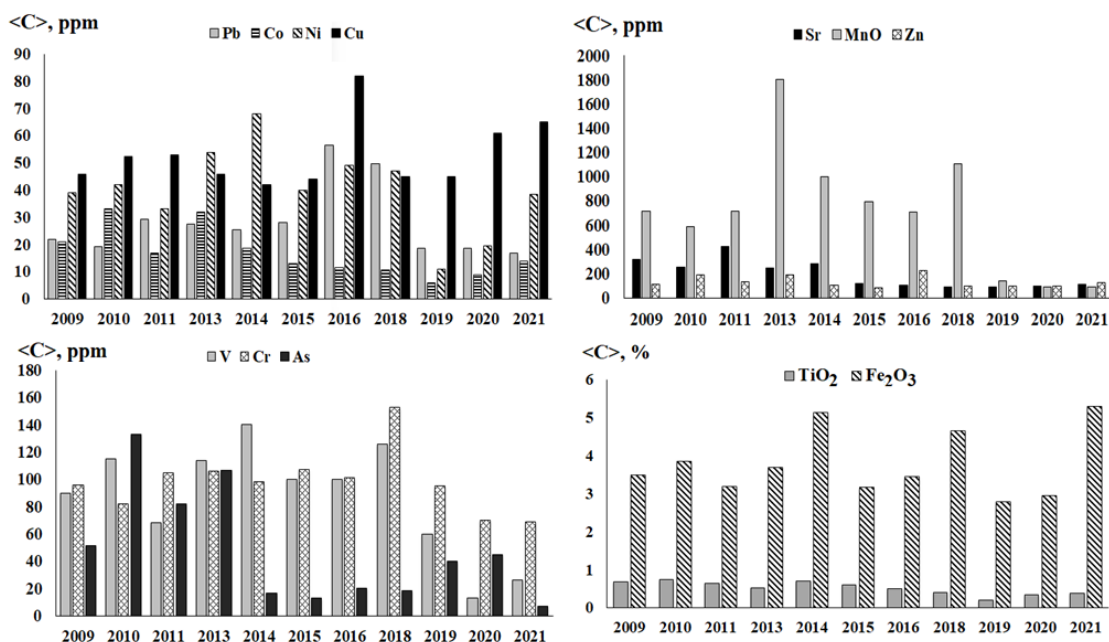
Миқдори зиёди рух 05.02. 2016 дар назди ШБГ №1 (692 ppm) ва 19 майи соли 2021 дар ҳудуди Қараболои ш. Душанбе (365 ppm) ошкор карда шуд. Консентратсияи миёнаи Zn дар намунаҳо аз қиммати заминавӣ 33 маротиба зиёд буда, ба КҲА барои ин элемент наздик аст. Хангоми омӯхтани таркиби МВ-и гурӯҳи якуми хавф дар намунаҳои АА ва хоки Тоҷикистони чанубӣ ва марказӣ консентратсияи баландтарини сурб, арсен ва рух дар АА дар ҳудуди Айвоч ошкор шуд. Дар намунаҳои хок консентратсияи максималии сурб ва рух дар ҳудуди ШБГ-и №1-и шаҳри Душанбе ва арсен дар қисми ғарбии заводи алюминии ТАЛКО ба қайд гирифта шудааст. Тахмин кардан мумкин аст, ки манбаи асосии Pb, As ва Zn партовҳои ин корхонаҳо мебошанд.



Расми 3. - Вариатсияи солонаи консентратсияи МВ дар таркиби АА

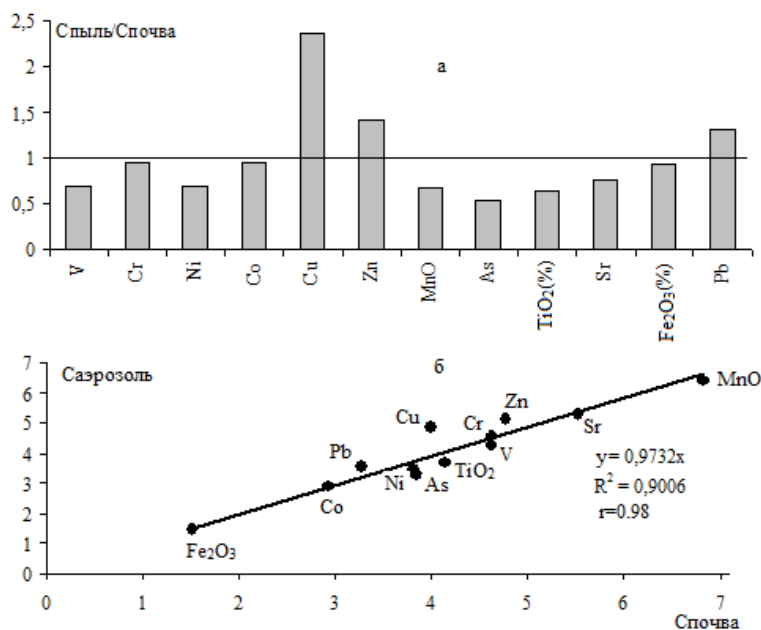
Дар расмҳои 3 ва 4 вариатсияи солонаи таркиби МВ дар ҷанги атмосферӣ ва хок оварда шудааст. Дар солҳои 2007–2010 (2007–60,2 мг/кг, 2008 – 95,5 мг/кг, 2009 – 45,14 мг/кг, 2010 – 53,4 мг/кг) консентратсияи миёнаи As дар АА нисбат ба дигар металлҳо баландтар аст. Дар соли 2015 консентратсияи Co ва As (Co – 12,2 мг/кг, As – 12,15 мг/кг), инчунин Ni ва Pb (Ni – 27 мг/кг, Pb – 27,4 мг/кг) тақрибан як хел аст. Ҷаҳишҳои назарраси консентратсияи миёнаи рух

дар солҳои 2008 (305 мг/кг), 2009 (305,4 мг/кг) ва 2014 (381,35 мг/кг) мушоҳида шуда буданд, дар солҳои дигар онҳо аз якдигар кам фарқ мекунанд (расми 3).



Расми 4. - Вариатсияи солонаи консентратсияи МВ дар таркиби АА

Миқдори миёнаи сурб дар намунаҳои хок мӯътадил арзёбӣ мешавад. Дар консентратсияи миёнаи Рb танҳо ду ҷаҳиши баланд ба назар мерасанд: дар соли 2016 (56,4 мг/кг) ва 2018 (49,7 мг/кг) ва аз меъёри КҲА барои ин элемент (32 мг/кг) зиёд буданд. Ҷаҳиш дар миқдори миёнаи руҳ (расми 4) танҳо дар солҳои 2015 (85 мг/кг), 2019 ва 2020 (96 мг/кг) мушоҳида шудааст, дар солҳои дигар аз меъёри КҲА Zn (100 мг/кг) зиёд буд, яъне минтақа бо руҳ ба қадри кофӣ олуда шудааст. Хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ бо As хеле олуда аст. Дар давраи мушоҳида консентратсияи миёнаи As аз КҲА барои ин элемент якчанд маротиба зиёд буда, дар соли 2010 (133,3 мг/кг) ва 2013 (106,5 мг/кг) 50 маротиба зиёд ба қайд гирифта шудааст.



Расми 5. - Таносуби консентратсияи МВ дар намунаҳои АА ба хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон

Дар расми 5 таносуби концентратсияи металлҳои вазнин дар чанг ва хок нишон дода шудааст. Муайян карда шуд, ки концентратсияи Cu, Pb ва Zn дар чанг назар ба хок зиёдтар аст. Ин натиҷа ташвишовар аст, зеро руҳ ва сурб ба металлҳои вазнини гурӯҳи якуми хатар тааллуқ доранд. Ин фарқиятҳо дар расми 5б бо коэффисиенти коррелятсионии $r=0,98$ равшан нишон дода шудаанд. Металҳои вазнине, ки дар болои хат ҷойгир шудаанд, бештар дар аэрозол ва МВ-и дар зери хат ҷойгиршуда бештар дар хок зиёдтаранд.

Дар **боби чорум** натиҷаҳои таҳлили омории мултивариатсионии концентратсияи МВ, маълумоти таҳлили коррелятсионӣ ва таҳлили муқоисавии миқдори МВ дар АА ва хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ ва дигар минтақаҳои ҷаҳон оварда шудаанд. Сатҳи ифлосшавии АА ва хок аз рӯи индексҳои ифлосшавӣ баҳо дода шудааст, траекторияҳои баръакси массаи ҳаво бо миқдори зиёди МВ-и махсусан хатарнок оварда шудаанд.

Дар ҷадвалҳои 1, 2, 3 ва 4 маълумот оид ба миқдори ТМ дар намунаҳои АА дар Айвоч ва шаҳри Душанбе ва хусусиятҳои омории онҳо оварда шудааст. Онҳо имкон медиҳанд, ки дараҷаи паҳншавии қимматҳои гирифташударо нисбат ба ҳисоби миёна баҳо диҳӣ кунем. Концентратсияи унсурҳои дорои миқдори зиёд дар қабати замин - диоксида титан (TiO_2) ва оксиди оҳан (Fe_2O_3) - бо фоиз, боқимонда металлҳо - бо мг / кг (ppm) дода мешаванд, $1 \text{ мг / кг (ppm)} = 0,0001\%$.

Ҷадвали 1. - Хусусиятҳои омории таркиби МВ-и гурӯҳҳои 1 ва 2 хатар дар намунаҳои АА-и шаҳри Душанбе

Параметр	Унсурҳо						
	Гурӯҳи якуми хатар			Гурӯҳи дуҷуми хатар			
	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_{max}	345	154	163,5	108	56	26	102
C_{min}	15.08.08	23.11.07	22.10.13	15.08.08	15.08.08	23.09.20	13.11.07
	36	2,65	5,4	34	14	2,25	43
	12.08.19	03.07.19	21.04.17	23.09.20	02.05.20	22.10.13	19.08.17
σ	75,35	32,1	29,3	17,8	12	5,75	10,5
S_n	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_{max}/C_{min}	9,5	58,5	30,3	3,2	4,1	11,5	2,4

Таҳлили статистикӣ нишон дод, ки концентратсияи миёнаи Zn, As ва Pb дар АА – и Душанбе ва Айвоч аз якдигар кам фарқ мекунад <C> - 138 мг/кг; 26,4 мг/кг; 31 мг/кг ва 125 мг/кг; 22,8 мг/кг; 29,5 мг/кг. Аммо концентратсияи максималии ин МВ дар Айвоч баландтар буд: C_{max} - 345 мг/кг; 154 мг/кг; 163,5 мг/кг дар Душанбе нисбат ба 685,5 мг/кг; 195 мг/кг; 232 мг/кг. Концентратсияи миёна ва максималии Cr, Ni, Co ва Cu дар намунаҳои дар ҳар ду минтақа ҷамъовардашуда тақрибан яхелаанд, ба истиснои концентратсияи максималии Cu (Душанбе -102 мг/кг, Айвоч - 190 мг/кг). Концентратсияи миёнаи V, MnO, Fe_2O_3 ва TiO_2 дар минтақаҳои омӯхташуда фарқияти зиёд надоранд.

Инҳирофоти стандартии таркиби металлҳои вазнин барои ҳамаи МВ ба истиснои TiO_2 баланд буд. Ин аз доираи васеи парокандагии концентратсияи МВ дар чанг гувоҳӣ медиҳад. Қимматҳои асимметрияи парокандагӣ барои Cu, Zn, As, TiO_2 , Sr, Fe_2O_3 ва Pb аз як воҳид болотаранд, яъне концентратсияи ин унсурҳо ба самти қимматҳои пасттар ба таври мусбӣ кучиш кардаанд, ки ин инчунин бо он тасдиқ карда мешавад, ки медианҳои онҳо аз концентратсияи миёна камтар аст. Асимметрияи V ба сифр наздик аст, асимметрияи

парокандагии Cr ва MnO манфӣ аст; концентратсияи ин MB ба таври мусбат ба самти кимматҳои баланд кучиш кардаанд.

Чадвали 2. - Хусусиятҳои омории таркиби MB-и гурӯҳи 4-уми хатар дар намунаҳои AA-и шаҳри Душанбе

Параметр	Унсурҳо				
	Гурӯҳи чоруми хатар				
	V	MnO	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃
<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 _{max}	135 04.08.08	1040 13.11.07	1,45 12.08.19	402 15.08.08	5,8 03.07.21
C _{min}	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
S _n	5,75	54,1	0,05	14	0,2
Δ	20,3	191,7	0,18	49,5	0,7
C _{max} /C _{min}	20,5	11,7	6,1	4,3	2,5
<C>/C _{min}	9,5	5,6	2,2	1,6	1,4

Чадвали 3. - Хусусиятҳои омории таркиби MB-и гурӯҳҳои 1 ва 2 хатар дар намунаҳои AA-и Айвоч

Параметр	Унсурҳо						
	Гурӯҳи якуми хатар			Гурӯҳи дуюми хатар			
	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 _{max}	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 _{min}	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
S _n	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 _{max} /C _{min}	13,5	40,1	129	16,8	6	14,3	6,1

Дар чадвалҳои 5 ва 6 маълумот оид ба миқдори MB дар намунаҳои хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон ва хусусиятҳои омории онҳо оварда шудаанд.

Концентратсияи миёнаи MB дар қабатҳои сатҳи хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ бо чунин тартиби ягона қоҳиш меёбанд: Fe₂O₃ > TiO₂ > MnO > Sr > Zn > Cr > V > Cu > Ni > As > Pb > Co. Инҳирофҳои баланди квадратии миёна барои ҳамаи унсурҳо, ба истиснои TiO₂ (0,022), парокандагии васеи MB-ро дар хоки минтақа нишон медиҳанд. Асимметрияи унсурҳои зерин: Ni, Co, Cu, Zn, As, Mn, Sr, Fe₂O₃ ва Pb аз як воҳид болотар аст ва маънои онро дорад, ки концентратсияи ин унсурҳо ба самти концентратсияи паст ба таври мусбӣ кӯчидаанд. Арзишҳои асимметрияи парокандагӣ барои TiO₂ ва Cr ба сифр наздиканд. Таносуби концентратсияҳои миёнаи Zn, As ва Sr ба КХА-и онҳо аз як воҳид зиёдтар аст, ки ин нишон медиҳад, ки минтақа бо ин MB хеле олуда шудааст.

Чадвали 4. - Хусусиятҳои омории таркиби МВ-и гурӯҳи 4-уми хатар дар намунаҳои АА-и Айвоч

Параметр	Унсурҳо				
	Гурӯҳи чоруми хатар				
	V	MnO	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃
<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 _{max}	136	925,3	2,86	416	6,8
	13.07.10	18.10.16	17.03.10	01.06.10	04.07.14
C _{min}	3	88,7	0,24	96	2,3
	19.03.10	02.06.16	03.08.15	2.06.16	03.08.15
σ	23,15	150,5	0,35	108,5	0,7
S _n	2,35	15,3	0,04	11,1	0,07
δ	6,3	41	0,1	29,5	0,2
C _{max} /C _{min}	45,3	10,4	11,5	4,3	3

Чадвали 5. - Хусусиятҳои омории таркиби МВ-и гурӯҳҳои 1 ва 2 хатар дар намунаҳои хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ

Параметр	Унсурҳо						
	Гурӯҳи якуми хатар			Гурӯҳи дуюми хатар			
	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 _{max}	692	259	189	169	142	61	127
	5.02.16 ШБГ-1	15.06.10 ТАЛКО, қ. ғарбӣ	5.02.16 ШБГ - 1	13.05.18 Фурудгоҳ Душанбе	6.08.14 ТАЛКО, қ. шимолӣ	15.06.10 ТАЛКО, қ. ғарбӣ	6.08.14 ТАЛКО, қ. шимол ӣ
C _{min}	21	0,4	0,97	48	69	0,2	26
	20.09.0 9 Айвоч	2.07.19 ғарби Душанб е	19.05.21 ҷануби Душанб е	20.09.09 Айвоч	27.08.20 Душ. Текстил	2.07.19 ғарби Душанб е	6.08.14 ТАЛКО, қ. шарқӣ
σ	84,5	47,7	22	20,3	21,6	10,6	16
S _n	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 _{max} /C _{min}	33	632	195,5	3,5	20,4	275	5
КХА	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 ^{ХОК}	2,4	5,8	2,25	0,6	0,9	1,8	2,6
<C>/K ^{КЗ}	1,45	19,5	1,4	1,1	0,7	8,1	1,1
<C>/КХА	1.2	17,5	0,7	0,9	0,4	0,6	0,9

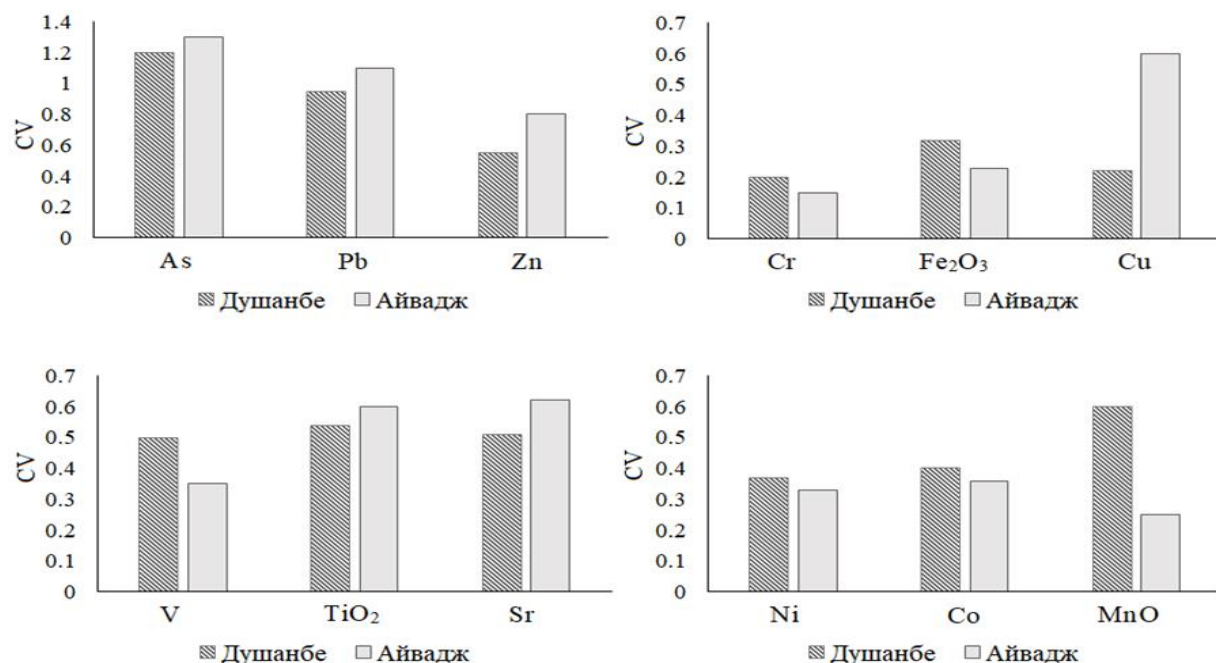
Чадвали 6. - Хусусиятҳои омории таркиби МВ-и гурӯҳи 4-уми хатар дар намунаҳои хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ

Параметр	Унсурҳо				
	Гурӯҳи ҷоруми хатар				
	V	MnO	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃
<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 _{max}	251 6.08.14 ТАЛКО, қ.шимоли	2675 10.12.13 ш.Турсунз.	1,15 15.06.10 ТАЛКО, қ. ғарбӣ	1701 2.07.11 Хуросон	47 20.09.09 МБГ-и шарқӣ
C _{min}	1,3 19.05.21 ШБГ-2	89 27.03.20 ҷануби Душанбе	0,013 10.12.13 Чоряккорон	19 19.05.21 Боғи А.Дониш	1,4 20.09.09 Айвоҷ
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 _{max} /C _{min}	195	30	89	90	35
КҲА	150	2374	0,8	100	-
Кларк	100/90	850/1000	0,46/0,56	300/340	3,8/4,1
<C>/K ^{ХОК}	0,7	0,65	1,05	0,6	1,15
<C>/K ^{КЗ}	0,8	0,55	0,9	0,5	1,05
<C>/КҲА	0,5	0,23	0,6	1,75	-

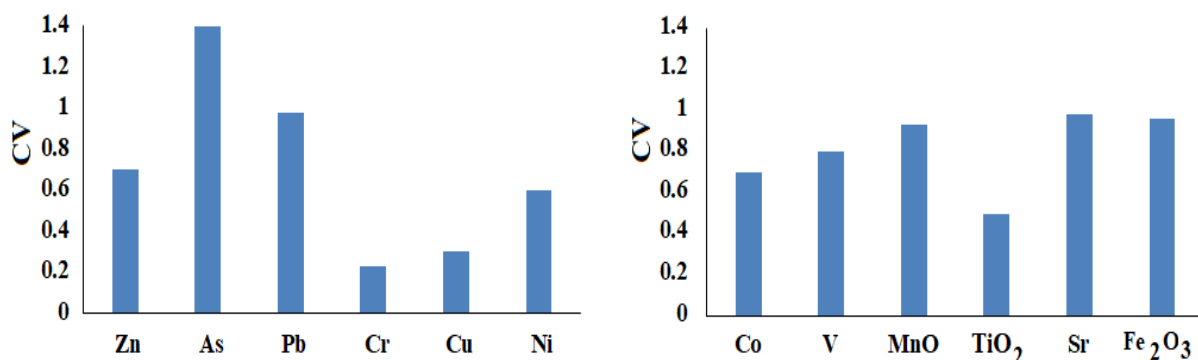
Концентрацияи миёнаи Zn, As, Pb, Co, Cu ва Fe₂O₃ низ аз Кларки онҳо дар хок ва қишри Замин баландтар буд. Ошкор шудани концентрацияи баланди Zn (692 мг/кг) ва Pb (189 мг/кг) дар ҳудуди ШБГ №1 ш. Душанбе; As (259 мг/кг), Ni (142 мг/кг), Co (61 мг/кг), Cu (127 мг/кг), V (251 мг/кг) ва TiO₂ (1,15%) дар ҳудуди заводи алюминии ТАЛКО, зоҳиран ба манобеи антропогенӣ ин унсурҳои вазнин ишора мекунад.

Хусусияти муҳими минтақа ин пайдарпайии интенсивияти унсурҳои ифлоскунанда мебошад. Коэффиенти тағирёбии МВ дар АА шаҳри Душанбе бо тартиби зерин кам мешавад: As (1,2) > Pb (0,95) > MnO (0,6) > Zn (0,55) > TiO₂ (0,54) > Sr (0,51) > V (0,5) > Co (0,4) > Ni (0,33) > Fe₂O₃ (0,32) > Cu (0,22) > Cr (0,2) > V ва дар таркиби ҷанги атмосфераи Айвоҷ хатари ифлоскунандаҳо бо тартиби дигар тағйир меёбад: As (1,3) > Pb (1,1) > Zn (0,8) > Sr (0,62) > TiO₂ (0,6) > Cu (0,59) > Co (0,36) > V (0,35) > Ni (0,3) > MnO (0,25) > Fe₂O₃ (0,23) > Cr (0,13) (расми 6).

Концентрацияи As, Pb, Zn, MnO, Sr, TiO₂, V, Co дар ҷанги Душанбе ва As, Pb, Zn, Sr, TiO₂, Cu дар ҷанги Айвоҷ тағйирёбии хеле зиёд (CV>35%) нишон дод, ки аз таъсири пуршиддати антропогенӣ дарак медиҳад. Концентрацияи Fe₂O₃, Cu ва Cr дар аэрозоли атмосфераи Душанбе ва Co, V, Ni, MnO ва Fe₂O₃ дар таркиби АА Айвоҷ ба таври мӯътадил (15% < CV < 35%) тағйир ёфтанд. Концентрацияи Cr дар ҷанги Айвоҷ дорои пасттарин тағйирёбӣ буд (CV = 0,13), яъне фаъолияти антропогенӣ ба миқдори хром кам таъсир расондааст.



Расми 6. - Коэффициенти тағйирёбии (CV) МВ дар таркиби чанги Душанбе ва Айвоч



Расми 7. - Коэффициенти тағйирёбии (CV) МВ дар таркиби хоки Тоҷикистоничанубӣ ва марказӣ

Коэффициенти тағйирёбии МВ дар қабатҳои рӯзаминии хоки минтақа бо тартиби зерин меафзояд: Cr (0,23) < Cu (0,3) < TiO₂ (0,5) < Ni (0,6) < Zn (0,7) < Co (0,73) < V (0,8) < MnO (0,93) < Fe₂O₃ (0,96) < Pb (0,98) < Sr (0,982) < As (1,4). Коэффициенти тағйирёбии хеле баланд барои As, Sr, Pb, Fe₂O₃, MnO, V, Co, Zn ва Ni нишон медиҳад, ки консентратсияи ин МВ вобаста ба нуқтаҳои гуногуни намунаҳои ҷамъшуда дар минтақаи тадқиқот хеле фарқ мекунад (расми 7). Ин натиҷа инчунин тақсироти гетерогенӣ консентратсияи ин МВ-ро дар минтақаи тадқиқот инъикос мекунад. Коэффициенти тағйирёбии Cr ва Cu аз 20% зиёд, вале камтар аз 50% аст, ки дараҷаи мӯътадилӣ тағйирёбиро нишон медиҳад.

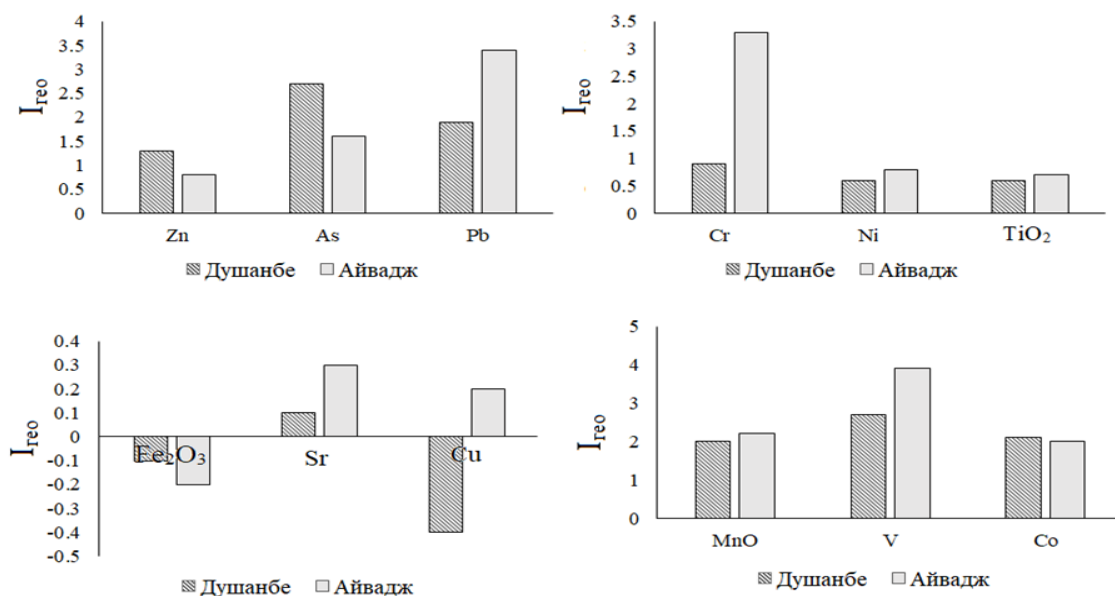
Омилҳои олуҷашавии металлҳои вазнин дар ҷанги атмосфери Душанбе ва Айвоч ҳисоб карда шуда ва дар ҷадвали 7 оварда шудаанд. Дар асоси таснифоти омилҳои олуҷашавӣ Cu, Sr, Fe₂O₃, TiO₂, Ni, Cr дар ҷанги ҳарду минтақа ба синфи олуҷакунондаҳои мӯътадил (1 < OO < 3), ба истисноӣ Cr дар намунаҳои ҷанги Айвоч, ки дар он хром ба синфи ифлоскунондаҳои хеле қавӣ дохил мешавад (OO = 14,6) шомил шудаанд. Zn, Pb, MnO дар ҷанги Душанбе ва As дар ҷанги Айвоч ба ифлоскунондаҳои назаррас дохил мешаванд (3 < OO < 6). Ба синфи ифлоскунондаи ниҳоят ниҳоят қавӣ As, Co, V дар ҷанги атмосфераи Душанбе ва Pb, Cr, Ni, V, MnO дар ҷанги Айвоч (ФЗ > 6) дохил мешаванд.

Чадвали 7. - Қимматҳои омили олудашавӣ (ОО), индекси сарбории олудашавӣ ва ҳатари экологии МВ дар ҷанги шаҳри Душанбе, Айвоҷ ва хоки тамоми минтақаи таҳқиқотшаванда

Унсурҳо	Душанбе		Айвоҷ		Хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ		
	ОО	ИСО	ОО	ИСО	ОО	ИСО	ХЭ
Zn	3,8	3,3	2,6	2,1	5,8	5	11,5
As	10	6,8	4,7	3	85,55	43	855
Pb	5,7	4,3	16,7	10	23,2	15,8	116
Cr	2,8	2,7	14,6	14,3	1,9	1,85	3,75
Ni	2,3	2,15	2,5	2,45	2	1,95	10
Co	6,4	6,6	6,1	5,6	5,4	4,7	27,2
Cu	1,1	1,1	1,7	1,6	65,4	54	327
V	9,5	7,5	22	20	53,4	34,8	107
MnO	5,6	4,3	6,7	6,4	6,2	3,6	6,1
TiO ₂	2,2	2	2,4	2,2	37	29	-
Sr	1,6	1,45	1,8	1,6	9,2	7,6	-
Fe ₂ O ₃	1,4	1,4	1,3	1,3	3,2	2,85	-

Баландтарин ИСО дар Айвоҷ барои Pb (14,3) ва V (20) ва хурдтарин дар ҳарду маҳал барои Cu, Sr ва Fe₂O₃ ошкор шудааст. Азбаски дар ҳарду минтақа қиматҳои ИСО аз як воҳид боло буданд хулоса карда мешавад, ки аэрозоли атмосферии Айвоҷ ва Душанбе бо ин МВ олула шудааст.

Мувофиқи омили олудашавии МВ дар таркиби хок As, Co, V, Pb, TiO₂, Sr ва MnO ба гурӯҳи ифлоскундаҳои хеле қавӣ дохил мешаванд (ҷадвали 7). Zn, Ni ва Fe₂O₃ ба синфи ифлоскундаҳои назаррас тааллуқ доранд ($3 < \text{ОО} < 6$). Хоки минтақаҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон бо Cr (1,9) ва Cu (2) камтар ва ё мӯътадил олула шудааст. Мувофиқи индекси сарбории олудашавӣ нишон дода шудааст, ки минтақа бо МВ-и зерин: As, Co, V, Pb, TiO₂, Sr ($\text{ИСО} > 5$) ниҳоят қавӣ, бо Zn ва Ni ($4 < \text{ИСО} \leq 5$) хеле зиёд, бо MnO мӯътадил ($3 < \text{ИСО} \leq 4$) ва бо Co ва Cu ($1 < \text{ИСО} \leq 2$) камтар олула шудааст.

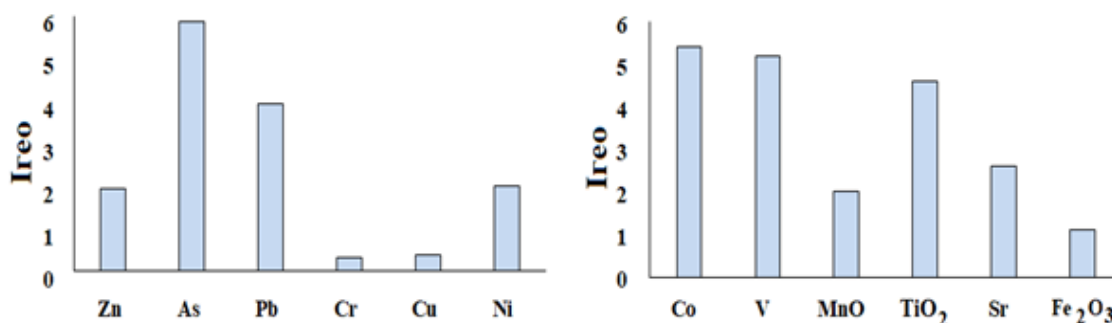


Расми 8. - Индекси геоаккумулятсияи МВ дар ҷанги Душанбе ва Айвоҷ

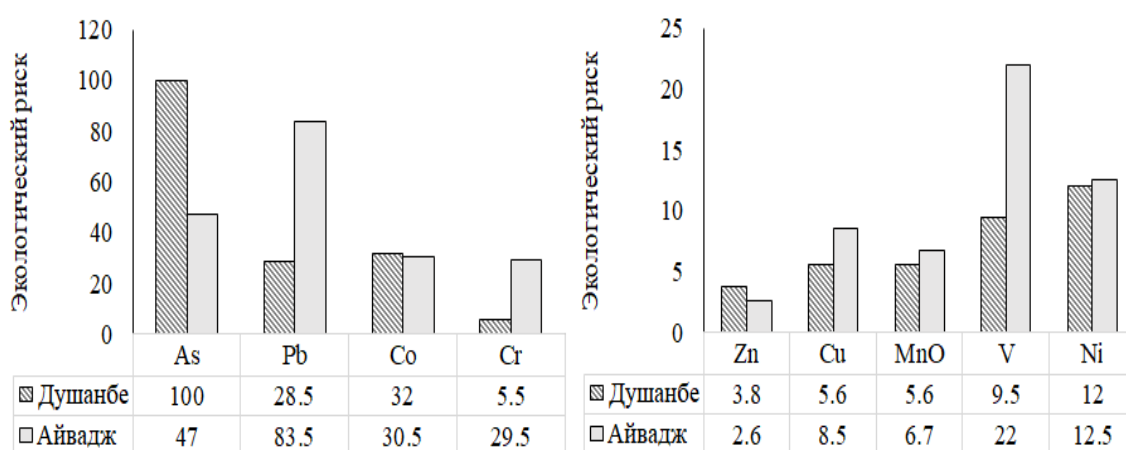
Қимматҳои ХЭ дар намунаҳои хок аз 3,75 то 855 тағйир ёфтанд, As ва Co ба гурӯҳи потенциалии баланди хатар мансубанд, Pb ва V потенциали назарраси хатар доранд, MB -и боқимонда (Ni, Zn, Cu, MnO, Cr) дар хоки минтақаи таҳқиқшаванда ба гурӯҳи хатари паст тасниф карда мешаванд (ҷадвали 7).

Қимматҳои манфии I_{geo} барои Fe_2O_3 ва Cu (ба истиснои Cu дар намунаҳои Айвоҷ) маънои онро дорад, ки ҷанг бо ин MB ($I_{geo} < 0$) олуида нашудааст. Ба синфи аз олуидашуда то миёна олуидашуда Sr, TiO_2 , Ni ($0 < I_{geo} < 1$) дар ҷанги ҳарду минтақа, Cr дар намунаҳои ҷанги Душанбе шомил шудаанд. Pb, Zn ва MnO дар ҷанги Душанбе, инчунин As ва Co дар ҷанги Айвоҷ ба синфи мӯътадили ифлоскунандаҳо ($1 < I_{geo} < 2$) дохил мешаванд. Ба синфи ифлоскунандаҳои аз мӯътадил то қавӣ V ва Co дар ҷанги Душанбе ва MnO дар ҷанги Айвоҷ ($2 < I_{geo} < 3$) шомил карда шудаанд. Индекси геоаккумуляция нишон дод, ки Айвоҷ бо унсурҳои зерин хеле олуида шудааст: V, Pb, Cr ($3 < I_{geo} < 4$) (расми 8).

Қимматҳои миёнаи I_{geo} барои Cr ва Cu дар хок дар интервали аз олуидашуда то мӯътадил олуидашуда меҳобанд. Қимматҳои миёнаи I_{geo} барои Fe_2O_3 , Zn, Ni ва MnO дар хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ нишон доданд, ки намунаҳои хок бо ин MB ба таври мӯътадил олуида шудаанд. Sr ба синфи ифлоскунандаҳои аз мӯътадил то шадид афтод (расми 9). Индекси геоаккумуляция барои Pb ба ифлосшавии хеле шадид мувофиқат мекунад. Хамаи MB-и дигар, аз қабилҳои TiO_2 , V, Co ва As ба гурӯҳи ифлоскунандаҳои фавқулодда дохил мешаванд, яъне ин элементҳои вазнин дар хоки минтақа ба андозаи зиёд ҳам мешаванд.



Расми 9. - Индекси геоаккумуляцияи MB дар хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ

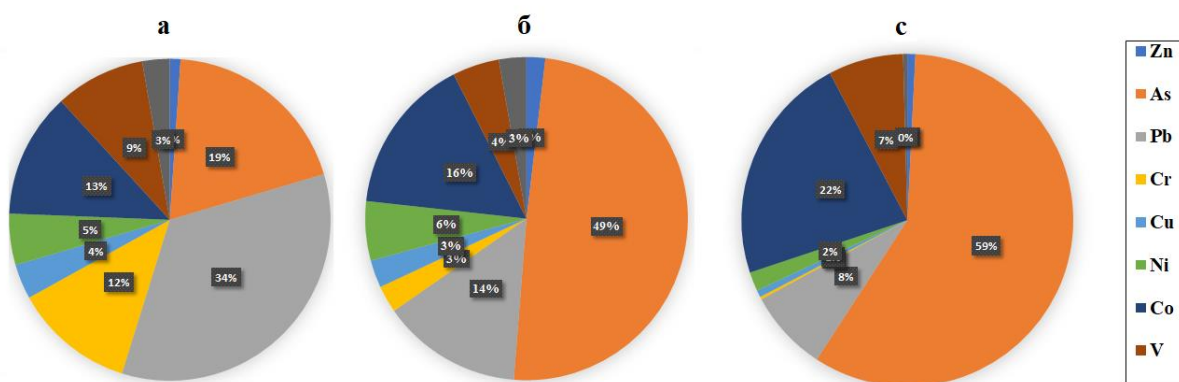


Расми 10. - Хатари экологии MB дар ҷанги Душанбе ва Айвоҷ

Дар расми 10 хатарҳои экологӣ барои AA Айвоҷ ва Душанбе дар асоси усули Хакансон оварда шудааст [2-А]. Ҳисобҳо нишон доданд, ки қимматҳои миёнаи ХЭ барои аксари металлҳои вазнин, ба истиснои As (ХЭ = 100; 47) дар ҷанги ҳарду минтақа ва Pb (ХЭ= 83,5) дар ҷанги Айвоҷ, As дар ҷанги Айвоҷ ба синфи "потенциали миёнаи хатари экологӣ" ($40 < XЭ$

< 80) мувофиқат мекунад, дар ҳоле ки Pb дар чанги Айвоч ва As дар намунаҳои АА Душанбе "потенсиали назарраси хатари экологӣ"-ро ($80 < XЭ < 160$) нишон медиҳанд. Аксарияти МВ дорои "потенсиали ками хатари экологӣ" мебошанд, ки ин металлҳои вазнин ба экосистема таъсири манфии махсус надоранд.

Барои баҳодиҳии олудаҷавии АА бо металлҳои вазнин дар минтақаҳои таҳқиқшуда индекси хатари эҳтимолии экологӣ (ИХ) ҳисоб карда шуд. Индекси хатар дар Душанбе $ИХ=202$ ва дар Айвоч $ИХ=245$ мебошад. Дар чанги Душанбе саҳми аз ҳама бештарро ба ИХ As (49%), Co (16%) ва Pb (14%) гузоштаанд. Дар намунаҳои чанги Айвоч саҳми калонтаринро ба ИХ Pb (34%), As (19%), Co (13%) ва Cr (12%) гузоштаанд. Ҳамин тариқ, ин МВ (As, Pb, Co, Ni, Cr) барои экосистемаи маҳаллӣ хатари потенциалӣ эҷод мекунад (Расми 11 а, б).



Расми 11. - Саҳми МВ ба ИХ дар чанги Айвадж (а), Душанбе (б) ва дар ҳок (в)

Индекси хатари МВ дар ҳоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ $ИХ=1463,5$ буд, ки ин нишондиҳанда хеле баланд аст. Дар ҳок As (59%) саҳми калонтаринро ба ИХ мегузорад, пас аз он Co (22%), Pb (8%) ва V (7%). Саҳми дигар МВ дар ИХ минтақа хеле кам аст. Мувофиқи натиҷаҳои ҳисобкунии ИХ ҳок, As ва Co ифлоскунандаҳои асосии минтақаи тадқиқотшаванда мебошанд.

Матритсаи коррелятсионии Пирсон барои металлҳои вазнин дар намунаҳои чанги атмосферии минтақаҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон дар ҷадвали 8 оварда шудааст. Концентрацияи Fe_2O_3 коррелятсияи қавии мусбат ($r = 0,96$) бо Co ва TiO_2 (0,95) дорад. Ин натиҷа ба манбаи умумии ифлосшавӣ, эҳтимолан табиӣ ишора мекунад. Муносибати назарраси мусбати As бо Cu ($r = 0,5$) ва Sr ($r = 0,54$) пайдоиши умумии онҳоро (коррозия, партовҳои нақлиётӣ ва партовҳо аз истеҳсоли семент) нишон медиҳад.

Таҳлили коррелятсионии МВ дар ҳок нишон дод, ки концентрацияи бисёр МВ бо ҳамдигар таносуби мусбат дорад, ба истиснои As - Fe_2O_3 (-0,09), Fe_2O_3 - Pb (-0,01), Cu бо Zn (-0,14), боз бо Cr (-0,11) ва инчунин бо As (-0,12). Концентрацияи V бо Cr (0,68), Ni (0,66) ва MnO (0,76) таносуби назарраси мусбат дорад. Байни концентрацияи Pb ва Zn (0,6), Co ва As (0,5), Co ва TiO_2 (0,55) таносуби миёна пайдо шуд, концентрацияи Ni бо бисёр МВ коррелятсияи миёна дорад: Co (0,55), Zn (0,52), MnO (0,51), TiO_2 (0,55) (ҷадвали 9).

Муқоисаи концентрацияи миёнаи МВ дар чанг ва ҳоки муҳитҳои гуногуни шаҳрӣ таҷрибаи маъмулӣ аст [2-А], гарчанде усулҳои ягонаи қабулшудаи интиҳоб ва расмиёти таҳлилӣ ҳанӯз вуҷуд надоранд. Концентрацияи миёнаи Pb ва Zn дар чанги Душанбе ва Айвоч назар ба дигар шаҳрҳо хеле паст буда, концентрацияи миёнаи As аз ҳама зиёд, ба ғайр аз Гонконг. Дар ҳоки Тоҷикистони Шимолӣ концентрацияи Zn аз ҳама зиёд буда, дар Италия ва дар минтақаи таҳқиқотшуда наздиканд, дар Малайзия зиёдтар ва дар дигар минтақаҳо камтар аст. Концентрацияи миёнаи As ва Fe_2O_3 дар Тоҷикистон нисбат ба дигар кишварҳо зиёдтар аст. Концентрацияи баландтарини Pb дар ҳок ба Белград тааллуқ дорад, миқдори он дар

Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ ба Юнон монанд аст. Чунин таҳлил барои дигар МВ низ гузаронида шуд.

Ҷадвали 8. - Матритсаи таносуби Пирсон байни концентратсияи МВ дар АА-и Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ

	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃	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	0,96	-0,17
Cu					0,09	-0,12	0,5	-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	0,54	-0,08	0,13
TiO₂									-0,12	0,95	-0,14
Sr										-0,07	0,3
Fe₂O₃											-0,1

Ҷадвали 9. - Матритсаи таносуби Пирсон байни концентратсияи МВ дар хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ

	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO ₂	Sr	Fe ₂ O ₃	Pb
V	0,68	0,66	0,45	0,18	0,27	0,76	0,12	0,5	0,15	0,17	0,44
Cr		0,3	0,22	-0,11	0,2	0,68	0,22	0,44	0,2	0,03	0,45
Ni			0,55	0,15	0,52	0,5	0,005	0,51	0,15	0,23	0,45
Co				0,07	0,4	0,46	0,5	0,55	0,22	0,07	0,13
Cu					-0,15	0,12	-0,12	0,1	0,17	0,3	-0,02
Zn						0,22	0,35	0,19	0,06	0,03	0,6
MnO							0,25	0,46	0,26	0,1	0,35
As								0,3	0,17	-0,09	0,14
TiO₂									0,17	0,19	0,2
Sr										0,007	0,05
Fe₂O₃											-0,01

Барои ҳисоб кардани траекторияҳои баръакс аз параметрҳои зерин истифода шуданд: GDAS1 - дар бойгонии он маълумотҳо аз соли 2006 то имрӯз нигоҳ дошта мешаванд, вақти ҳаракати массаҳои ҳаво 168 соат, баландии траекторияҳои массаҳои ҳаво аз сатҳи замин 500м, 1000м, 1500м. Параметри ансамбли траекторияҳо якҷанд траекторияҳоро аз макони аввали интиҳобшуда оғоз мекунад. Ҳар як элементи ансамбли траекторияҳо бо роҳи тағир додани маълумотҳои метеорологӣ бо коэффисиенти собитӣ панҷара ҳисоб карда мешавад. Дар натиҷа 27 элемент барои ҳамаи кучишҳои имконпазир дар меҳварҳои X, Y ва Z. Тахмин кардан мумкин аст, ки қисмҳои траекторияҳои массаҳои ҳаво, ки ба сатҳи замин наздиканд, манбаҳои эҳтимолии ифлосшавиро дарбар мегиранд. Аз рӯи натиҷаҳои кор минтақаҳои ҷанубии Тоҷикистон, Афғонистон ва ҷануби Ўзбекистон метавонанд манбаи эҳтимолии олудашавӣ бошанд.

ХУЛОСА

Натиҷаҳои асосӣ ва хулосаҳои рисола

1. Вариатсияи концентратсияи МВ дар АА ва хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон систематикӣ омӯхта шудааст. Концентратсияи баландтарини As (195 мг/кг), Pb (232,3 мг/кг) ва Zn (685 мг/кг) дар намунаҳои АА аз ҳудуди Айвоч ошкор карда шуд. Концентратсияи баландтарини ин МВ дар ҳок дар намунаҳои қисмати марказии Тоҷикистон ошкор гардидааст. Концентратсияи максималии As дар ҳок аз КҲА 130 маротиба, Sr - 17 маротиба, боқимонда МВ камтар аз даҳ маротиба зиёд аст [1-М, 3-М, 4-М, 6-М, 8-М, 9-М, 10-М, 11-М, 17-М].

2. Инҳирофҳои стандартҳои баланди миқдори МВ (ба истиснои TiO_2) парокандагии васеи концентратсияи АА ва ҳокро дар минтақаи нишон медиҳанд. Қимматҳои асимметрияи парокандагӣ барои Cu, Zn, As, TiO_2 , Sr, Fe_2O_3 ва Pb дар ҷанг ва Ni, Co, Cu, Zn, As, Mn, Sr, Fe_2O_3 ва Pb дар ҳок аз як воҳид болотаранд, яъне концентратсияи ин унсурҳо ба самти қимматҳои пасттар ба таври мусбӣ кучиш кардаанд, ки ин инчунин бо он тасдиқ карда мешавад, ки медианҳои онҳо аз концентратсияи миёна камтар аст. Асимметрияи парокандагӣ барои TiO_2 ва Cr дар ҳок ва барои V дар ҷанг ба сифр наздик аст, дар ҳоле ки асимметрияи парокандагӣ барои Cr ва MnO дар ҳок манфӣ аст, яъне концентратсияи ин МВ ба самти қимматҳои баланд кучиш кардаанд [2-М, 5-М, 6-М, 12-М, 14-М, 20-М].

3. Таносуби миқдори миёнаи Zn, As ва Sr ба КҲА-и онҳо аз як воҳид зиёд аст, яъне хоки минтақа бо ин МВ хеле олуда шудааст [6, 14, 15, 19-А].

4. Концентратсияи As, Pb, Zn, MnO, Sr, TiO_2 , V, Co дар ҷанги Душанбе, As, Pb, Zn, Sr, TiO_2 , Cu дар ҷанги Айвоч ва As, Sr, Pb, Fe_2O_3 , MnO, V, Co, Zn ва Ni дар ҳок тағирёбии баланд нишон доданд, ки аз таъсири шадиди антропогенӣ дарак медиҳад. Концентратсияи Fe_2O_3 , Cu ва Cr дар АА Душанбе ва Co, V, Ni, MnO, Fe_2O_3 дар хоки Айвоч ба таври мӯътадил тағйир ёфтааст, яъне ба концентратсияи онҳо фаъолияти антропогенӣ таъсири назаррас мерасонад [2-М, 20-М].

5. Аз рӯи омили олудашавӣ As, Co, V дар намунаҳои ҷанги Душанбе ва Pb, Cr, Ni, V, MnO дар ҷанги Айвоч, As, Co, V, Pb, TiO_2 , Sr ва MnO дар ҳок ба синфи олудакунандаҳои хеле қавӣ дохил карда шуданд. Аз рӯи индекси сарбории олудашавии ҳок, минтақа бо As, Co, V, Pb, TiO_2 , Sr хеле қавӣ олуда буда ва бо Zn ва Ni мӯътадил олуда шудааст. Баландтарин ИСО дар Айвоч барои Pb (14,3) ва V (20) ошкор шудааст. Дар ҳарду минтақа ИСО-и АА барои ҳама МВ аз як воҳид болотар аст [1-М, 2-М, 3-М, 4-М, 9-М].

6. Индекси геоаккумуляция нишон дод, ки Айвоч бо унсурҳои зерин хеле олуда шудааст: V, Pb, Cr ($3 < I_{geo} < 4$). Ба синфи олудакунандаҳои аз мӯътадил то қавӣ As, V ва Co дар ҷанги Душанбе ва MnO дар намунаҳои ҷанги Айвоч ($3 < I_{geo} < 3$) дохил шуданд. Мувофиқи индекси геоаккумуляция, Pb як ифлоскунандаи қавӣ ҳок мебошад. TiO_2 , V, Co, As ба гурӯҳи ифлоскунандаҳои хеле қавӣ мансуб буда, дар хоки минтақа ба таври интенсивӣ ҷамъ мешаванд [2-М, 6-М, 12-М, 20-М].

7. As дар ҷанги Айвоч ба синфи "потенсиали миёнаи хатари экологӣ" ($40 < XЭ < 80$) мувофиқат мекунад, дар ҳоле ки Pb дар ҷанги Айвоч ва As дар намунаҳои ҷанги Душанбе «потенсиали назарраси хатари экологиро» медиҳанд. Қимматҳои XЭ дар намунаҳои ҳок аз 3,75 то 855 тағйир ёфтанд, As ва Co ба гурӯҳи потенсиалии баланди хатар мансубанд, Pb ва V потенсиали назарраси хатар доранд [2-М, 20-М].

8. Индекси хатар дар Душанбе $IХ=202$ ва дар Айвоч $IХ=245$ мебошад. Дар ҷанги Душанбе саҳми аз ҳама бештарро ба ИХ As (49%), Co (16%) ва Pb (14%) гузоштаанд. Дар намунаҳои ҷанги Айвоч саҳми калонтаринро ба ИХ Pb (34%), As (19%), Co (13%) ва Cr (12%) гузоштаанд. Индекси хатари МВ дар хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ $IХ=1463,5$ буд, ки ин нишондиҳанда хеле баланд аст. Дар ҳок As (59%) саҳми калонтаринро ба ИХ мегузорад, пас аз он Co (22%), Pb (8%) ва V (7%). Мувофиқи натиҷаҳои ҳисобкунии ИХ ҳок, As ва Co ифлоскунандаҳои асосии минтақаи тадқиқотшаванда мебошанд [2-М, 20-М].

9. Концентрация Fe_2O_3 коррелирует с кавий мусбат ($r = 0,96$) бо Co ва TiO_2 (0,95) дорад. Коррелирует с назарраси мусбати As бо Cu ($r = 0,5$) ва Sr ($r = 0,54$) пайдоиши умумии онҳоро нишон медиҳад. Концентрация V дар хок бо Cr (0,68), Ni (0,66) ва MnO (0,76) коррелирует с назарраси мусбат дорад [1-М, 2-М, 6-М, 14-М].

10. Тибқи ҳисобҳои траекторияҳои баръакси массаҳои ҳаво, манбаҳои эҳтимолии ифлосшавии дурпарвоз чануби Тоҷикистон, Афғонистон ва чануби Узбекистон мебошанд [1-М, 4-М, 10-М].

Тавсияҳо барои истифодаи амалии натиҷаҳо:

Барои муайян кардани минтақаи дорои миқдори зиёди MB дар таркиби AA ва хок натиҷаҳои таҷрибавии таҳқиқот оид ба таркиби MB дар AA ва хок истифода бурдан мумкин аст. Ҳангоми мониторинги ҳолати экологии хок дар минтақа бояд дараҷаи олудашавии хок бо металлҳои вазнин ва сахми манбаҳои антропогенӣ дар минтақаи мавриди таҳқиқ қарордошта ба назар гирифта шавад. Натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашударо барои таҳқиқоти минбаъдаи ифлосшавии ҷанги атмосфера ва хоки чанубӣ ва марказии Тоҷикистон ҳамчун пойгоҳи маълумот истифода бурдан мумкин аст. Натиҷаҳои корро ташкилотҳои шахрӣ ва ҷумҳуриявӣ, ки бо масъалаҳои экологӣ машғуланд, дар пешгуи вазъияти экологии минтақаҳои чанубӣ ва марказии Тоҷикистон истифода бурда метавонанд.

Феҳристи интишороти илмӣ довталаб аз руи мавзӯи диссертатсия Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи ҚОА – и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:

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

[4-М]. 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-М]. 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-М]. 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

Мақолаи ба амонатгузошташуда

[7-М]. 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.

Мақолаҳои дар маводҳои конфронси ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ нашршуда:

[8-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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-М]. 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 -М]. 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 и математических наук» на тему «Вклад физики в развитии современной техники и технологии». ХГУ им. акад. Б. Гафурова. – 2023. – С.192-196

Адабиёти истифодашуда:

- [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. Streletskaia, D. Kiseleva, M. Zaitseva et.al. //E3S Web of Conferences 98, 12023. – 2019. – Pp.6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199812023>
- [3]. Gubanov, D.P. Elemental composition of aerosols in the near-surface air of Moscow: seasonal changes in 2019 and 2020 / D.P. Gubanov, 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 Сырдарья (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. Абдусаматова // 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. Englemann, 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 State 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 // Ученые записки ХГУ. – 2018. – № 3(46). – С.56-62.

АННОТАТСИЯИ

рисолаи илмий Халифаева Шоҳина Хуршедҷоновна дар мавзӯи «Таҳқиқоти таркиби унсурҳои азрозоли атмосферӣ ва хоки Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ» барои дарёфти дараҷаи илмий доктори фалсафа (PhD) (илмҳои физика ва математика) аз рӯи ихтисоси 25.00.30 — метеорология, климатология ва агрометеорология

Калимаҳои калидӣ: азрозоли атмосферӣ (АА), металлҳои вазнин (МВ), хок, масири барёакс, Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ, таҳлили унсурӣ, омили олудашавӣ, индекси хатар, хатари экологӣ, индекси геоаккумулятсия, индекси сарбории олудашавӣ.

Мақсади таҳқиқот омӯхтани таркиби унсурҳои азрозоли атмосферӣ ва хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон мебошад.

Объекти таҳқиқот азрозоли атмосферӣ ва хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон мебошанд.

Мавзӯи таҳқиқот: намунаҳои азрозоли атмосферӣ ва хок, ки аз соли 2007 то 2022 дар ҳудуди Тоҷикистони ҷанубӣ ва марказӣ ҷамъоварӣ шудаанд. Ҳамагӣ 244 – то намунаҳо таҳлил карда шудааст (125 – то намунаҳои азрозоли ва 119 – то намунаҳои хок мебошанд).

Усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда: миқдори дувоздаҳ МВ (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Fe₂O₃, TiO₂, MnO) тавассути таҳлили флуоресценсияи рентгенӣ чен карда шуд. Бо истифода аз усулҳои таҳлили гуногунҷабҳаи омӯрӣ ва баҳодихии индекси олудашавӣ, прокандагии концентратсияи МВ ва дараҷаи ифлосшавии ҷанги атмосферӣ ва хок бо МВ баҳодод карда шуданд. Усули траекторияҳои барёакс манбаҳои эҳтимолии олудашавии бо МВ-ро ошкор намуд.

Натиҷаҳои ҳосилнамуда ва навоғонҳои он.

1. Маҷмӯи маълумоти базавӣ оид ба таркиби унсурҳои азрозоли атмосферӣ ва хоки қисматҳои ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон ташкил карда шуд.

2. Вариатсияи вақтии миқдори МВ дар азрозоли атмосферӣ дар давраи солҳои 2007–2022 ва дар хок аз солҳои 2009 то 2021 омӯхта шуд. Концентратсияи минималии МВ дар АА ва хок бо мақсади баҳодихии саҳми азрозоли дар ифлосшавии хок муайян карда шуданд.

3. Саҳми манбаҳои антропогенӣ ва табиӣ дар ифлосшавӣ аз рӯи коэффисиенти тағирёбии концентратсияи металлҳои вазнин муайян карда шуда, бо усули траекторияҳои барёакси массаҳои ҳаво манбаҳои эҳтимолии олудашавӣ бо МВ муайян карда шуданд.

4. Дараҷаи парокандагии концентратсияи унсурҳо ва тағирёбии таксимоти онҳо дар ҳудуди ҷанубу марказии Тоҷикистон бо истифодаи усули таҳлили омӯрӣ таҳлил карда шуд. Дараҷаи ифлосшавии ҷанги атмосферӣ ва хок бо МВ бо усулҳои баҳодихии индекси олудашавӣ: омили олудашавӣ (ОО), индекси сарбории олудашавӣ (ИСО), индекси олудашавии геохимиявӣ (I_{geo}) муайян карда шуд. Хатарҳои экологии (ХЭ) металлҳои вазнин ва индексҳои хатар (ИХ) дар ҷанг ва хок муайян карда шудаанд.

5. Миқдори зиёди As, Co, V дар намунаҳои ҷанги атмосфераи Душанбе, Pb, Cr, Ni, V ва MnO дар намунаҳои АА Айвоч ва As, Co, V, Pb, TiO₂, Sr ва MnO дар хок ошкор карда шуд, ба миқдори онҳо дар таркиби АА бо дараҷаҳои гуногуни сарбории антропогенӣ баҳо дода шуд;

6. Коэффисиентҳои коррелясионии концентратсияи МВ дар намунаҳои азрозоли ва хок ҳисоб карда шуда, таҳлили муқоисавӣ бо минтақаҳои дигар гузаронида шуд.

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо: Ҳангоми мониторинги ҳолати экологии хок дар минтақа бояд дараҷаи олудашавии хок бо металлҳои вазнин ва саҳми манбаҳои антропогенӣ дар минтақаи мавриди таҳқиқ қарордошта ба назар гирифта шавад. Натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашударо барои таҳқиқоти минбаъдаи ифлосшавии ҷанги атмосфера ва хоки ҷанубӣ ва марказии Тоҷикистон ҳамчун пойгоҳи маълумот истифода бурдан мумкин аст.

Соҳаи истифодабарӣ: физика ва химияи атмосфера, радиоэкология, метеорология ва иқлимшиносӣ, инчунин натиҷаҳои озмоишии таҳқиқот ба сифати базаи маълумот барои омӯзиши минбаъдаи азрозоли атмосфера ва ифлосшавии хок бо металлҳои вазнин пешниҳод карда мешавад.

АННОТАЦИЯ

диссертации Халифаевой Шохины Хуршеджоновной, на тему «Исследование элементного состава атмосферного аэрозоля и почв южной и центральной частей Таджикистана», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) (физико-математических наук) по специальности 25.00.30 — метеорология, климатология и агрометеорология

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль (АА), тяжелые металлы (ТМ), почва, обратная траектория, южная и центральная части Таджикистана, элементный анализ, фактор загрязнения, индекс риска, экологический риск, индекс геоаккумуляции, индекс нагрузки загрязнения, коэффициент корреляции.

Цель исследования. Целью настоящей работы было 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.

Методы исследования, использованная аппаратура. Методом рентгенофлуоресцентного анализа измерено содержание двенадцати ТМ (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Fe₂O₃, TiO₂, 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.

Полученные результаты и их новизна:

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 фоновые 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, индекс нагрузки загрязнения, геохимический индекс загрязнения. Выявлены экологические риски 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, TiO₂, Sr и MnO в пробах почв, дана оценка их содержанию 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.

Рекомендации по практическому использованию результатов: при мониторинге экологического состояния почвы региона следует учитывать степень загрязнённости почвы 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.

Область применения: физики и химии атмосферы, радиоэкология, метеорологии и климатологии, также результаты экспериментальных исследований рекомендуется в качестве базы данных при дальнейшем изучении загрязнения атмосферного аэрозоля и почв тяжелыми металлами.

ABSTRACT

of the dissertation of Khalifayeva Shohina Khurshedjonovna, on the topic "Investigation of the elemental composition of atmospheric aerosol and soils of the southern and central parts of Tajikistan", presented for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) (physical and mathematical sciences) specialty as of 25.00.30 — meteorology, climatology and agrometeorology.

Keywords: atmospheric aerosol (AA), heavy metals (HMs), soil, backward trajectory, southern and central parts of Tajikistan, elemental analysis, contamination factor, risk index, ecological risk, geoaccumulation index, pollution load index, correlation coefficient.

Purpose of the work. The purpose of this work was to study the elemental composition of atmospheric aerosol and soils of the southern and central parts of Tajikistan.

Objects of research are atmospheric aerosol and soil of the southern and central parts of Tajikistan.

Subjects of research: atmospheric aerosol and soil samples taken on the territory of southern and central Tajikistan in the period from 2007 to 2022

Research methods, equipment used. The content of twelve HMs (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Fe₂O₃, TiO₂, MnO) was measured by X-ray fluorescence analysis. By methods of multivariate statistical analysis and estimation of the pollution index, the dispersion of HMs concentration and the degree of contamination of atmospheric dust and soils of HMs were estimated. Possible sources of HMs contamination have been identified by the method of backward trajectories.

The results obtained and their novelty:

1. A data bank has been created on the elemental composition of AA and soils of the southern and central parts of Tajikistan.

2. Temporal variations of HMs content in atmospheric aerosol for the period 2007-2022 and in soil from 2009 to 2021 were studied. Background concentrations of HMs in AA and soils were determined to assess the contribution of aerosol to soil pollution of HMs.

3. The contributions of anthropogenic and natural sources to pollution by the coefficient of variation of heavy metal concentrations were revealed, possible sources of HMs pollution were identified by the method of backward trajectories of air masses.

4. The degree of dispersion of element concentrations and variations of their distribution on the territory of the southern and central parts of Tajikistan are analyzed by statistical analysis. The level of pollution of atmospheric dust and soils of HMs was determined using the method of estimating the pollution index: pollution factor, pollution load index, geochemical pollution index. Environmental risks of heavy metals and risk index in dust and soils have been identified.

5. The high content of As, Co, V in samples of atmospheric dust of the Dushanbe and Pb, Cr, Ni, V and MnO in samples of AA Aivaj, As, Co, V, Pb, TiO₂, Sr and MnO in soil samples was found, their content in the composition of AA with varying degrees of anthropogenic load was assessed.

6. The correlation coefficients of HMs concentration in aerosol and soil samples were calculated, a comparative analysis with other regions was carried out.

Recommendations for the practical use of the results: during the monitoring the ecological state of the soil of the region, the degree of soil contamination with heavy metals and the contribution of anthropogenic sources located in the studied region should be considered. The results of the conducted studies can be used as a database for further investigation of atmospheric dust and soil pollution in the southern and central parts of Tajikistan.

Application area: atmospheric physics and chemistry, radioecology, meteorology and climatology, as well as the results of experimental studies are recommended as a database for further study of atmospheric aerosol and soil pollution by heavy metals.