



УТВЕРЖДАЮ

директор ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ

Ф.ШОКИР

«24» мая 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

расширенного семинара Физико-технического института им С.У. Умарова
Национальной академии наук Таджикистана

Диссертация Халифаевой Шохины Хуршеджоновны выполнена в лаборатории физики атмосферы ФТИ имени С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана. В период подготовки диссертации Халифаева Ш.Х. являлась PhD докторантом (2019-2022), затем старшим научным сотрудником (с 2022 г.) лаборатории физики атмосферы ФТИ имени С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана.

В 2014 году окончила степень бакалавриата и в 2016 степень магистра в Худжандском государственном университете имени акад. Б.Гафурова по специальности «Физика».

Научный руководитель:

Абдуллаев Сабур Фузайлович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лаборатории физики атмосферы ФТИ имени С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана

По результатам рассмотрения диссертации «**Исследование элементного состава атмосферного аэрозоля и почв южной и центральной частей Таджикистана**» принято следующее заключение:

Халифаева Шохина Хуршеджоновна в своей научной диссертации исследовала элементный состав атмосферного аэрозоля южной и центральной частей Таджикистана. Оценила разброс концентрации тяжёлых металлов в исследуемом регионе и степень загрязнённости атмосферного аэрозоля и почв тяжёлыми металлами, также выявила экологический риск тяжелых металлов на местную экосистему. Изучала временные вариации тяжёлых металлов и провела статистический анализ их содержания в атмосферной пыли и почв.

Цель работы. Исследование элементного состава атмосферного аэрозоля и почв южной и центральной частей Таджикистана.

Основные задачи.

1. Исследовать временные вариации концентрации ТМ и аэрозольного загрязнения тяжёлыми металлами почв и АА;
2. Определить степень загрязнённости территории южной и центральной частей Таджикистана тяжёлыми 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.

Объектами исследования являлись атмосферный аэрозоль и почва южной и центральной частей Таджикистана.

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.

Научная повизна работы

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_{geo} 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, Fe_2O_3 , MnO, Cr, V и TiO_2 в атмосферной пыли и почвах южной и центральной частей Таджикистана являются критерием степени загрязнения территории региона;

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

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

Основные положения, выносимые на защиту:

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

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

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

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

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

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

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

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

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 тяжелых 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

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с подразделами, заключения, списка использованной литературы и глоссария. Диссертационная работа изложена на 121 странице компьютерного текста, из них 21 таблиц, 46 рисунка и 137 библиографических ссылок.

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.

В третьей главе представлены временные вариации концентрации ТМ в АА и почвах. 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 предприятия.

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 заключении перечислены основные результаты 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 TiO₂) указывают на широкий разброс концентраций в АА и почве региона. Асимметрии разброса для Cu, Zn, As, TiO₂, Sr, Fe₂O₃, Pb в пыли, а Ni, Co, Cu, Zn, As, MnO, Sr, Fe₂O₃, 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 TiO₂ 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, TiO₂, V, Co в пыли города Душанбе, As, Pb, Zn, Sr, TiO₂, Cu в пыли Айваджа и As, Sr, Pb, Fe₂O₃, MnO, V, Co, Zn и Ni в почве показали высокую изменчивость, что указывает на интенсивное антропогенное воздействие. Концентрации Fe₂O₃, Cu и Cr в АА Душанбе и Co, V, Ni, MnO, Fe₂O₃ 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, TiO₂, Sr и MnO в почвах. Судя по индексу нагрузки загрязнения почв, регион очень сильно загрязнен As, Co, V, Pb, TiO₂, 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 ($3 < I_{\text{geo}} \leq 4$). В класс от умеренных до сильных загрязнителей попали As, V и Co в пыли Душанбе и MnO в пробах пыли Айваджа ($2 < I_{\text{geo}} \leq 3$). По индексу геоаккумуляции Pb сильный загрязнитель почв. TiO₂, 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 экологический 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 Fe₂O₃ с Co ($r=0,96$) и с TiO₂ (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].

Работа соответствует специальности **25.00.30 – «Метеорология, климатология, агрометеорология»**. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Опубликованные автором работы достаточно полно раскрывают содержание диссертационного исследования.

Диссертационная работа соответствует всем требованиям Положения ВАК Таджикистана, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Халифаева Шохина Хуршеджоновна заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) (физико-математических наук) по специальности 25.00.30 — Метеорология, климатология и агрометеорология в диссертационном совете 6Д. КОА-055 при Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана.

Заключение принято на заседании расширенного физического семинара Физико-технического института им С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана.

Присутствовало на заседании человек. Результаты голосования: «за» -34 человека, «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 5 от «24» мая 2024г.

Председатель расширенного физического семинара, к.ф.-м.н., доцент

Ф. Холмуродов

Секретарь расширенного физического семинара, к.ф.-м.н.

С. Юнусова

Подписи к.ф.м.н. доцента Холмуродова Ф и к.ф.м.н. Юнусовой С. заверяю,
Начальник ОК ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ

М.Д. Ёрова

