

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ В ТАДЖИКИСТАНЕ

Рауф Джурахонзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Сжигание угля остается основным источником выбросов тяжелых металлов в промышленных регионах Таджикистана. В данном исследовании количественно определены концентрации и пространственное распределение свинца (Pb), кадмия (Cd), никеля (Ni) и хрома (Cr) в почве, отобранные на разном расстоянии от угольных и других химических предприятий. Образцы анализировались (анализ образцов проводился) с помощью ИСП-МС и ААС в соответствии с международными стандартами. Результаты показывают выраженные пространственные градиенты загрязнения со значительно повышенными концентрациями тяжелых металлов в районах, расположенных ближе к источникам выбросов ($p < 0,05$). Более того, усилия правительства по смягчению воздействия на окружающую среду, в частности программы озеленения, включающие посадку деревьев, демонстрируют измеримые положительные эффекты, снижая осаждение пыли и связанную с этим нагрузку тяжелыми металлами. Эти результаты подчеркивают острую необходимость постоянного мониторинга окружающей среды и целенаправленных экологических мероприятий в промышленных зонах Таджикистана, зависящих от угля и подверженных загрязнению цементной пылью.

Ключевые слова: тяжелые металлы, сжигание угля, загрязнение почвы, промышленные выбросы, экологический мониторинг.

БАҶОДИҶИИ ИФЛОШАВӢ БО МЕТАЛЛҲОИ ВАЗНИН ВОБАСТА БА МАВҶЕИ ҶУГРОФИИ МИНТАҚАҲОИ ТОҶИКИСТОН

Рауф Чурахонзода

Сӯхтани ангишт ҳамоно яке аз манбаъҳои асосии партоби металлҳои вазнин дар минтақаҳои саноати Тоҷикистон боқӣ мемонад. Дар таҳқиқоти мазкур микдор ва паҳншавии сурб (Pb), кадмий (Cd), никел (Ni) ва хром (Cr) дар намунаҳои хок, ки дар масофаҳои гуногун аз корхонаҳое, ки бо ангишт фаъолият мекунад ва дигар корхонаҳои кимиёвӣ гирифта шудаанд, ба таври микдорӣ муайян карда шуданд. Таҳлили намунаҳо бо истифода аз усулҳои ИСП-МС ва ААС мутобиқи стандартҳои байналмилалӣ анҷом дода шуд. Натиҷаҳо нишон доданд, ки мавҷудияти ифлосшавии ҳаҷми металлҳои вазнин дар минтақаҳои наздиктар ба манбаъҳои партоб ба таври назаррас баланд мебошанд ($p < 0,05$). Илова бар ин, тадбирҳои Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷиҳати коҳиш додани таъсири манфӣ ба муҳити зист, аз ҷумла барномаи кабудизоркунӣ бо шинонидани дарахтон, таъсири мусбат нишон медиҳанд, ки боиси коҳиш ёфтани нишастӣ ҷанг ва дигар сарбории вобаста ба металлҳои вазнин мегарданд. Ҷунин натиҷаҳо аз он гувоҳӣ медиҳад, ки зарурати назорати доимии муҳити зист ва татбиқи чорабиниҳои ҳадафманди экологӣ дар минтақаҳои саноати Тоҷикистон, ки бо ангишт ва ифлосшавӣ бо ҷанги сement дучор мешаванд, таъкид менамоянд.

Калимаҳои калидӣ: металлҳои вазнин, сӯхтани ангишт, ифлосшавии хок, партобҳои саноатӣ, мониторинги экологӣ.

ASSESSMENT OF HEAVY METAL POLLUTION DEPENDING ON GEOGRAPHICAL LOCATION IN TAJIKISTAN

Rauf Jurakhonzoda

Coal combustion remains one of the primary sources of heavy metal emissions in the industrial regions of Tajikistan. In this study, the concentrations and spatial distribution of lead (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), and chromium (Cr) in soil samples collected at varying distances from coal-fired and other chemical industrial facilities were quantitatively determined. The samples were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and atomic absorption spectroscopy (AAS) in accordance with international standards. The results reveal pronounced spatial contamination gradients, with significantly elevated concentrations of heavy metals in areas located closer to emission sources ($p < 0.05$). Furthermore, governmental efforts to mitigate environmental impacts-particularly greening programs involving tree planting-demonstrate measurable positive effects by reducing dust deposition and the associated heavy metal load. These findings highlight the urgent need for continuous environmental monitoring and targeted ecological interventions in coal-dependent industrial zones of Tajikistan that are exposed to cement dust pollution.

Keywords: heavy metals, coal combustion, soil contamination, industrial emissions, environmental monitoring.

Введение

Уголь остаётся доминирующим источником энергии во многих развивающихся регионах, включая Центральную Азию, где растущий промышленный спрос продолжает стимулировать сжигание угля на электростанциях и производственных предприятиях. Однако сжигание угля приводит к значительным выбросам тяжёлых металлов, таких как кадмий (Cd), хром (Cr), свинец (Pb), ртуть (Hg) и мышьяк (As), которые накапливаются в окружающих почвах и водоёмах и представляют значительные риски для окружающей среды и здоровья населения [2,8]. Многочисленные исследования показали, что тяжёлые металлы, выделяющиеся при сжигании угля, могут сохраняться в окружающей среде десятилетиями, способствуя долгосрочной деградации почвы, загрязнению воды и нарушению биологических процессов [5,12].

В глобальном масштабе загрязнение тяжёлыми металлами вокруг угольных электростанций демонстрирует сильную пространственную неоднородность: концентрации, как правило, снижаются по мере удаления от источников выбросов из-за особенностей атмосферных осадков и местных метеорологических условий [4,6]. Региональные оценки в Центральной Азии ещё больше подчёркивают уязвимость горных и долинных экосистем, где ограниченный растительный покров и низкая буферная способность почв усиливают экологические риски, связанные с промышленными выбросами [1, 11].

Несмотря на растущее внимание мировой научной общественности к проблеме загрязнения тяжёлыми металлами, данных о масштабе и особенностях загрязнения, связанного с сжиганием угля в Таджикистане, по-прежнему недостаточно. Особенно мало сведений, отражающих пространственные различия и влияние географического положения регионов страны на уровень такого загрязнения. В

зимние месяцы Таджикистан использует уголь в качестве одного из основных источников энергии, и несколько промышленных предприятий (некоторые промышленные предприятия) используют угольные системы, что может способствовать местному загрязнению окружающей среды. Это создаёт острую необходимость в систематическом мониторинге концентрации тяжёлых металлов в почве и воде в различных регионах страны. Кроме того, недавние усилия правительства Таджикистана по расширению инициатив по озеленению городов и посадке деревьев могут стать естественной стратегией смягчения последствий, хотя их воздействие на окружающую среду ещё не было всесторонне оценено. В связи с изложенным в целях устойчивого развития и улучшения экологической обстановки была утверждена Государственная программа озеленения Республики Таджикистан на период до 2040 года [9]. Меры направлены на сокращение выбросов парниковых газов, восстановление экологического состояния атмосферного воздуха, поддержание устойчивого природного баланса, адаптацию к процессам изменения климата [3].

Таким образом, целью данного исследования является (i) количественная оценка концентраций основных тяжёлых металлов в пробах почвы, отобранных вблизи промышленных предприятий, использующих уголь, в различных регионах Таджикистана; (ii) изучение пространственного распределения загрязняющих веществ в зависимости от расстояния; и (iii) оценка потенциальной эффективности государственных программ создания зелёных поясов в снижении загрязнения окружающей среды. Результаты предоставят необходимые исходные данные для поддержки национальной экологической политики и внесут вклад в глобальное научное понимание загрязнения тяжёлыми металлами, связанного с использованием угля.

Материалы и методы исследования

Отбор проб проводился вблизи промышленных предприятий, работающих на угле, расположенных в пяти крупных регионах Таджикистана: Душанбе, Турсунзаде, Дангаре и Яване, представляющих различные географические и климатические условия. Места отбора проб выбирались с учетом их близости к ключевым объектам угольной энергетики и перерабатывающим предприятиям, работающим на угле, что обеспечивало адекватный охват территорий с различной степенью потенциального воздействия выбросов.

Пробы для анализа были отобраны методом «конверта», при котором несколько небольших образцов с различной точки участка объединяются в одну композитную пробу. Этот метод позволяет получить репрезентативный образец, отражающий средние свойства почвы на исследуемом участке.

Анализ минерального элемента проводили путем добавления 10 мл 20% соляной кислоты к прокаленным образцам (белая зола). Полученную белую золу растворяли в 20% HCl и далее использовали для определения макро- и микроэлементов. Для построения калибровочной кривой использовали многоэлементный стандартный раствор Centipur Merk, а определения проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью спектрофотометра VARIAN 240 FS (США). Рабочие условия прибора: соотношение воздух:ацетилен 13,50:2, скорость абсорбции распылителя: 5 мл/мин.

Результаты исследования

Анализ проб был проведён в период с 10 по 22 мая 2025 года в Университете сельскохозяйственных наук «Король Михай I» в Тимишоаре (Тимишоаре) (University of Life Sciences «King Mihai I» from Timișoara).

Таблица 1 – Систематизированные данные по результатам анализа

Образец	Cr	Ni	Pb	Cd
	ppm			
	ААС-спектроскопия			
TPP 4B	8.542	10.237	41.30	0,959
IOVON 3A	3.516	7.973	7.86	0,612
DAN 1B	5.761	7.179	7.87	0,604
SUCH 1BA	2.894	2.452	8.82	0,712

Примечание: ppm – частей на миллион (единица концентрации вещества).

Таблица 2 – Интерпретация ключевых показателей образцов почвы

Металл	Диапазон (ppm)	Руководство ЕС/ВОЗ по сельскохозяйственным почвам	Интерпретация
Cr	2.89–8.54	≤100	Все значения значительно ниже допустимых пределов, что указывает на отсутствие загрязнения хромом.
Ni	2.45–10.24	≤50	Все образцы в пределах безопасных значений, типичных для незагрязненных почв.
Pb	7.86–41.30	≤50–70	Только TPP 4B (41,3 ppm) приближается к максимально допустимому уровню, что позволяет сделать вывод об умеренном накоплении Pb, возможно, из-за дорожного движения, промышленной пыли или удобрений.
Cd	0,60–0,96	≤3	Все пробы ниже предельно допустимых значений, хотя в пробе TPP 4B снова (повторно) наблюдается относительно повышенное содержание Cd (0,959 ppm), что указывает на потенциальный антропогенный источник.

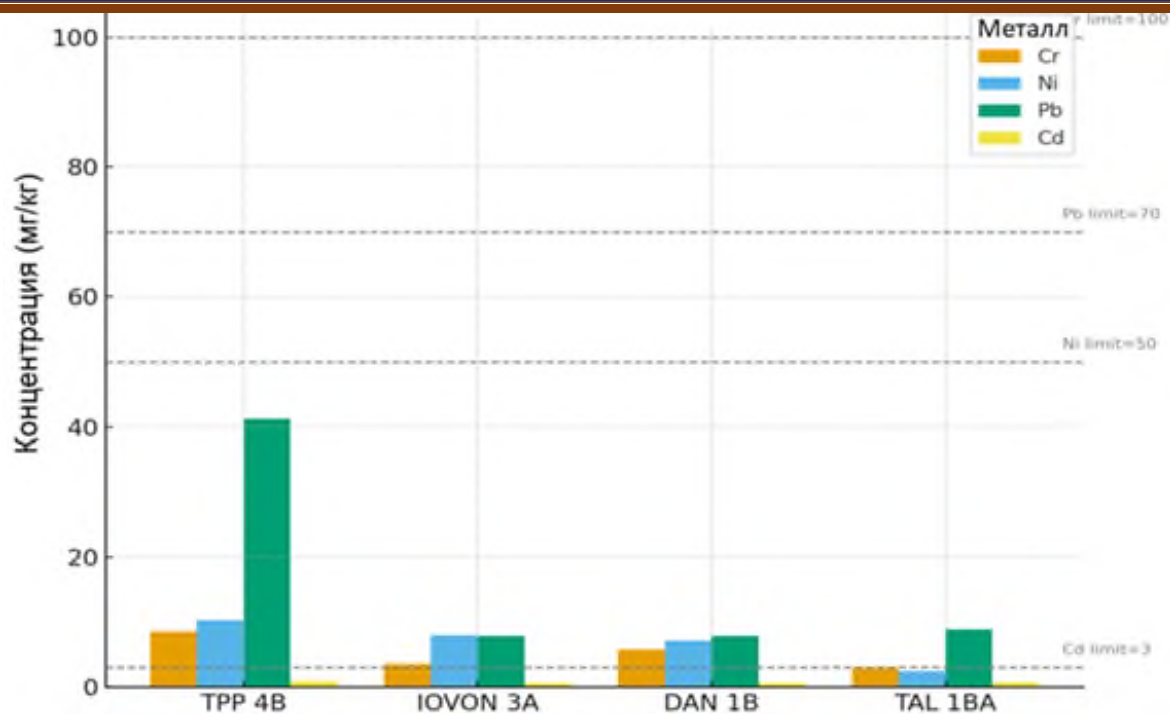


Рисунок 1 – Концентрации тяжёлых металлов в образцов почвы по сравнению с максимально допустимыми уровнями

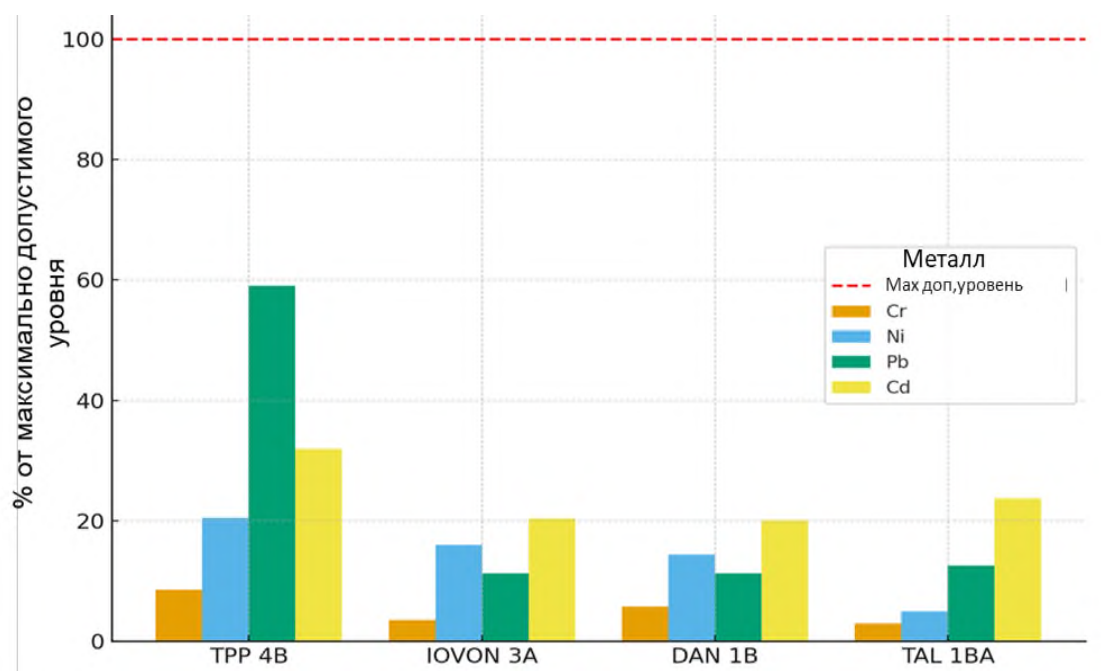


Рисунок 2 – Относительные уровни тяжёлых металлов в образцах почвы (% от допустимого предела)

Все значения значительно ниже 100%, что подтверждает отсутствие превышения нормативов. Примечательно, что значения Pb ($\approx 59\%$) и Cd ($\approx 32\%$) на TPP 4B наиболее превышены относительно установленных норм, что указывает на умеренное обогащение на этом участке, хотя и в пределах безопасных значений.

Эта визуализация подчеркивает острую проблему загрязнения, особенно шестивалентным Cr и Pb, которые обычно попадают в окружающую среду из промышленных стоков, корродированных трубопроводов или стоков с загрязненных почв.

Заключение

Данное исследование представляет собой первую многорегиональную оценку загрязнения тяжёлыми металлами, связанного с сжиганием угля в Таджикистане. Результаты показывают высокую концентрацию токсичных металлов в почве вблизи угольных предприятий и подтверждают наличие значительных пространственных градиентов. Важно отметить, что государственные программы по озеленению демонстрируют измеримую эффективность в снижении отложений металлов в виде твёрдых

частич. Эти результаты подчёркивают необходимость комплексных стратегий контроля загрязнения и постоянного экологического мониторинга в промышленных регионах, зависящих от угля. Результаты могут быть использованы для разработки научно обоснованной политики, направленной на защиту окружающей среды и здоровья населения в Таджикистане.

В заключении следует отметить, что предложения Президента Республики Таджикистан Эмомали Рахмона на трибуне ООН подчёркивают важность комплексного подхода к изменению климата и устойчивому развитию. Основное внимание уделяется развитию возобновляемой энергетики, рациональному использованию водных ресурсов и внедрению «зелёной» экономики, что направлено на укрепление экологической безопасности, снижение климатических рисков и повышение качества жизни населения страны.

Рецензент: Расулов О.У. — Доктор PhD, кафедры безопасности жизнедеятельности и экологии ТПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Абдусамадзода, Д., Абдушукуров, Д.А., Дулиу, О.Г., Зиниковская, И. Оценка загрязнения почв и донных отложений токсичными металлами в долине реки Зеравшон на северо-западе Таджикистана / Д. Абдусамадзода, Д.А. Абдушукуров, О.Г. Дулиу, И. Зиниковская // (Часть II). – (2020). Токсик, 8(4), 113. <https://doi.org/10.3390/toxics8040113>
2. Ахмад, А., Чжан, Д. и Юань, З. Влияние угольных электростанций на качество почвы и воды: / А. Ахмад, Д. Чжан, З. Юань // глобальный обзор. Sustainability, 14(6), – (2022). 3378. <https://doi.org/10.3390/su14063378>
3. Агентии миллии иттилоотии Тоҷикистон “Ховар”. <https://khovar.tj/2024/06/barnomai-davlatii-kabudizorkunii-um-urii-to-ikiston-baroi-davrai-to-soli-2040-ta-iya-gardid/>. Июнь 29, 2024, 16:10
4. Бхатия, Р. Гупта С. Распределение и оценка риска для здоровья тяжёлых металлов вблизи угольных предприятий. / Р. Бхатия, С. Гупта // Мониторинг и оценка окружающей среды, – 2020.192,794. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08793-y>
5. Давлатзода, С.Х. Ҳифзи гуногунии биологии минтақаҳои кӯҳӣ дар шароити тағйирёбии иқлим / С. Х. Давлатзода, Р. Қ. Чураҳонзода // Фурӯғи илм. – 2025. – №. 2. – Р. 101-109.
6. Зиниковская, И., Вергель, К., Юшин, Н. и др. Оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами вблизи угольных электростанций с помощью нейтронно-активационного анализа. / И Зиниковская, К. Вергель, Н. Юшин // Загрязнение окружающей среды, 249, – (2019). 910–919. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.103>
7. Ли, С., Ван, Дж., Лю, Х. и Чэнь, Х. (2025). Прослеживаемость тяжёлых металлов в почве, окружающей угольные жилы, с использованием комбинированного анализа источников. / С. Ли, Дж. Ван, Х. Лю, Х. Чэнь // Frontiers in Environmental Science, 13, 1582799. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1582799>
8. Ма, Р., Ван, Х., Сан, З. и Гу, Х. (2025). Выбросы и экологические риски тяжёлых металлов при сжигании угля на угольных электростанциях. /Р. Ма, Х. Ван, З. Сан, Х. Гу // Прикладные науки, 15(21), 11360. <https://doi.org/10.3390/app152111360>
9. Постановление Правительство Республики Таджикистан. Государственная программа озеленения Республики Таджикистан на период до 2040 года. г.Душанбе, 29 июня 2024 года №374
10. Сингх, С., Кумар, П., Ядав, С. и др. Загрязнение тяжёлыми металлами в районах добычи угля: / С.Сингх, П. Кумар, С. Ядав // источники, пути распространения и экологические последствия. Environmental Science and Pollution Research, 28, 47738–47756. – 2021 <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14173-4>
11. Садыков, А., Бектасова, М. и Омаров, К.. Загрязнение почвы тяжёлыми металлами вблизи угольных электростанций в Центральной Азии: уровни, источники и экологические риски. / А. Садыков, М. Бектасова, К. Омаров // Журнал управления окружающей средой, – 2023. 334, 117613. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117613>
12. Чэнь, И., Чжао, Д., Чэнь, С. и Чжэн, Л.. Анализ распределения источников и путей распространения тяжёлых металлов в почве в районе добычи угля на основе машинного обучения и модели APCS-MLR. Minerals, 14(1), – 2024. 54. <https://doi.org/10.3390/min14010054>
13. Чураҳонзода Р.Қ. Тавсифи моддаҳои ифлоскунанда, гардиши экотоксикантҳо (заҳролудкунандаҳои экологӣ) дар муҳити зист / Р. Қ. Чураҳонзода // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2024. – No. 3(58). – Р. 113-119.
14. Cui, W., Meng, Q., Feng, Q., Zhou, L., Cui, Y. and Li, W. Образование и выбросы кадмия, хрома и свинца при сжигании каменного угля. / W. Cui, Q. Meng, Q. Feng, L. Zhou, Y. Cui, W. Li // Международный журнал угольной науки и технологий, 6 – 2019. 483–490. <https://doi.org/10.1007/s40789-019-00281-4>
15. Ecological and hydrochemical characteristics of groundwater / R. Jurakhonzoda, T. Majidzoda, D. Ibragimzade [et al.] // Research Journal of Agricultural Science. – 2025. – Vol. 57, No. 2. – P. 156-166. – DOI 10.59463/rjas.2025.2.19.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Чураҳонзода Рауф Чураҳон н.и.т., дотсени кафедраи бехатарии фаёолияти инсон ва экология	Джурахонзода Рауф Джурахон к.т.н., доцент кафедра безопасности жизнедеятельности и экологии	Jurakhonzoda Rauf Jurakhon Ph.D., associate professor of Life Safety and Ecology Deoartment
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: raufjurakhon@gmail.com		