

Фозилов Азамат Собирович, доктор философии по географическим наукам (PhD), (DSc) Докторант кафедры География и природных ресурсов Самаркандского государственного университета имени Шарафа Рашидова. Ганиева Зарифа Урозолиевна, лаборант кафедры Фрукто-овощноводство и винограводство Самаркандского государственного университета имени Шарафа Рашидова. г.Самарканд, Узбекистан.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АХАНГАРАН

Аннотация. В представленном исследовании проведена оценка загрязнения почв тяжелыми металлами на 15 различных участках бассейн реки Ахангаран Республики Узбекистан. Для каждого участка проанализировано содержание ряда элементов (в том числе тяжелых металлов) в почве и их превышение относительно предельно допустимых концентраций (ПДК). По результатам сравнительного анализа выделены зоны с высокой, умеренной и низкой степенью техногенного загрязнения. На участках, расположенных вблизи промышленных объектов (Ангрен, территории медно-обогатительной фабрики, район бывшего уранового рудника и др.), обнаружены наиболее значительные превышения ПДК по нескольким элементам (медь, свинец, цинк, мышьяк и др.), что соответствует высокой категории риска. В то же время на некоторых удаленных и сельскохозяйственных территориях (например, г. Пскент, район Бука) концентрации тяжелых металлов в почве находятся в пределах допустимого уровня, либо лишь незначительно его превышают, что указывает на низкую степень загрязнения. Полученные результаты свидетельствуют о существенной пространственной дифференциации качества почв в регионе и необходимости принятия мер по мониторингу и снижению загрязнения в наиболее проблемных зонах.

Azamat Sobirovich Fozilov, (DSc student), PhD, Associate-professor in the Department of Geography and Natural Resources at Samarkand State University after name is Sharaf Rashidov.

Zarifa Urozolievna Ganieva, laboratory assistant in the Department of Fruit, Vegetable, and Viticulture at Samarkand State University after name is Sharaf Rashidov. Samarkand, Uzbekistan.

SOIL POLLUTION WITH HEAVY METALS IN THE AKHANGARAN RIVER BASIN

Abstract. This study assessed soil pollution with heavy metals at 15 different sites in the Akhangaran River basin of the Republic of Uzbekistan. The soil concentrations of a number of elements (including heavy metals) and their excess over maximum permissible concentrations (MPCs) were analyzed for each site. Based on the comparative analysis, zones with high, moderate, and low levels of technogenic pollution were identified. Areas located near industrial facilities (Angren, the copper processing plant, the former uranium mine, etc.) showed the most significant excesses of maximum permissible concentrations for several elements (copper, lead, zinc, arsenic, etc.), corresponding to a high risk category. Meanwhile, in some remote and agricultural areas (e.g., the city of Pskent and the Buka district), heavy metal concentrations in the soil are within acceptable limits or only slightly exceed them, indicating low levels of pollution. The obtained results indicate significant spatial differences in soil quality in the region and the need for monitoring and mitigation measures in the most problematic areas.

Введение: Бассейн реки Ахангаран в Ташкентской области Узбекистана характеризуется интенсивной хозяйственной деятельностью, что привело к

значительному техногенному загрязнению окружающей среды. В регионе расположены крупные промышленные центры – города Ангрен, Алмалык, Ахангаран – с предприятиями химической, металлургической, энергетической и машиностроительной отраслей. Эти объекты являются основными источниками загрязнения, внося в окружающую среду различные поллютанты, среди которых особенно опасны тяжелые металлы. Тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий, мышьяк и др.) способны накапливаться в почвах, донных отложениях и организмах, оказывая токсичное воздействие и представляя риск для экосистем и здоровья человека. Загрязнение почвы тяжелыми металлами ведет к ухудшению ее качества – снижению плодородия, нарушению биологических процессов и активности почвенной биоты. Кроме того, тяжелые металлы могут мигрировать из почвы в смежные среды: вымываться в поверхностные и подземные воды, переноситься с пылью в атмосферу, поступать в растения и, в конечном счете, в пищевые цепи. В совокупности это вызывает деградацию экосистем: ухудшается качество водных ресурсов, снижается урожайность сельхозугодий, уменьшается биоразнообразие, возникают риски для здоровья населения. В условиях бассейна Ахангаран эти проблемы особо актуальны, учитывая концентрацию промышленных объектов и плотность населения региона. Предыдущие исследования зафиксировали в почвах окрестностей Ангрена экстремально высокое содержание ряда металлов. В частности, возле ангреновской теплоэлектростанции концентрации цинка в верхнем слое почвы достигают 1136 мг/кг, а свинца – до 373 мг/кг, что более чем в 10 раз превышает фоновые уровни. Основными источниками этих металлов являются промышленные выбросы и золошлаковые отходы сжигания угля. В данной работе рассмотрены масштабы загрязнения почв тяжелыми металлами в бассейне реки Ахангаран. Приводятся данные лабораторного анализа содержания ряда металлов в почвенных образцах региона, выполняется их визуализация в виде таблиц и

графиков. Обсуждаются источники поступления тяжелых металлов, пространственное распределение загрязнения, а также оценка потенциального экологического риска, связанного с накоплением этих элементов в почвенном покрове.

Объект исследования: Анализ проведен для 15 участков, расположенных в разных частях бассейна реки Ахангаран. В их число вошли: местность Эртош, г. Ангрен и г. Ахангаран и их прилегающие территории, Янги-Гузсой, Овжазсой, Санам, Шоугазсой, Телов, Куюн, Теракли, Медно-обогатительной фабрики № 2–3, Кераувчи, Пскент-Янгибад, г. Пскент, а также контрольный сельскохозяйственный участок в районе Бука. Данные участки охватывают различные типы земель – от промплощадок и горных выработок до пойменных и агроземель.

Методы отбора и анализа проб. На каждом участке отобраны образцы поверхностного слоя почвы (0–20 см) в репрезентативных точках. Подготовленные образцы высушивались и просеивались. Для определения элементного состава использован метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), что позволило одновременно количественно определить содержание как основных оксидов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO и др.), так и ряда тяжелых металлов и примесных элементов (Cu , Zn , Pb , Ni , As , Mn , Sr , Rb , Y , Zr и др.) в почве. Для части проб применялись методы кислотного разложения с последующим атомно-абсорбционным анализом для верификации ключевых токсичных элементов (Pb , Cd , As и др.). Точность контроля обеспечивалась стандартными образцами и повторными. Выбор участков учитывал предполагаемый градиент загрязнения: максимальное воздействие около источников выбросов и стоков, убывание интенсивности с удалением от них. Отбор проб проводился в весенний период, когда почва достаточно увлажнена и доступны как растворимые, так и прочно связанные формы металлов. С каждого участка отбирали образцы верхнего слоя почвы (0–20 см), поскольку именно в нем аккумулируются

основные массы техногенных поллютантов и отмечается наибольшая активность корней растений и почвенных организмов. Дополнительно на отдельных пунктах были взяты пробы на глубине 20–40 см для оценки вертикального распределения загрязнений (сравнение верхнего горизонта и подпочвы).

Лабораторный анализ: Пробы почвы высушивались до воздушно-сухого состояния и просеивались через сито (2 мм) для удаления растительных остатков и крупной фракции. Содержание тяжелых металлов (в том числе Cu, Zn, Pb, Cd, As и др.) определялось методами атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) после кислотного разложения навесок. Для повышения точности применялся многоэлементный анализ: так, в некоторых образцах параллельно использовался сорбционно-спектроскопический метод определения металлов с последующим подтверждением результатов методом ICP-MS. Такой подход позволил выявить широкий спектр элементов (в том числе Co, Ni, Zn, As, Sc, Cu, Se, Rb, In, Ce, Cr, Pb) и сравнить полученные концентрации с предельно допустимыми уровнями (ПДК) и фоновыми значениями. Качество измерений контролировалось с помощью стандартных образцов и дублирующих проб; погрешность определения для основных элементов не превышала 5–10%.

Результаты: Результаты химического анализа показали ярко выраженную пространственную неоднородность. Максимальные уровни зафиксированы на промышленных и горнотехногенных территориях: на территории медно-обогатительной фабрики № 2–3 и в зоне бывшего уранового рудника (Янгиабат) концентрации Cu, Pb, Zn и As существенно превышают ПДК, местами на порядки. На удалённых и сельскохозяйственных участках (Бука, г. Пскент) концентрации контролируемых металлов не превышают допустимые уровни или близки к ним.

Ниже приведены суммарные показатели по 15 участкам (Таблица 1), а также иллюстрации (Рис. 1–4).

Таблица 1. Краткая характеристика загрязнения почв тяжелыми металлами на обследованных участках бассейн реки Ахангаран

Участок	Число элементов с превышением ПДК	Максимальная кратность превышения (×)	Категория риска
Эртош (горный участок)	6	5.0	Высокая
Ангрен (промзона)	5	11.0	Высокая
Янги-Гузсой (долина)	8	4.0	Высокая
Медно-обогатительная фабрика 2–3	7	55.0	Высокая
Пскент-Янгиабд (рудник)	4	8.0	Высокая
Охангараон (долина реки)	3	3.0	Умеренная
Овьёзсой	3	2.5	Умеренная
Санам	2	2.0	Умеренная
Шоугазсой	2	3.0	Умеренная
Телова	2	2.0	Умеренная
Куюн	2	3.0	Умеренная
Теракли	1	2.0	Умеренная
Кераувчи	2	2.0	Умеренная
г. Пскент	1	1.5	Низкая
Бука (агротерритория)	0	0.0	Низкая

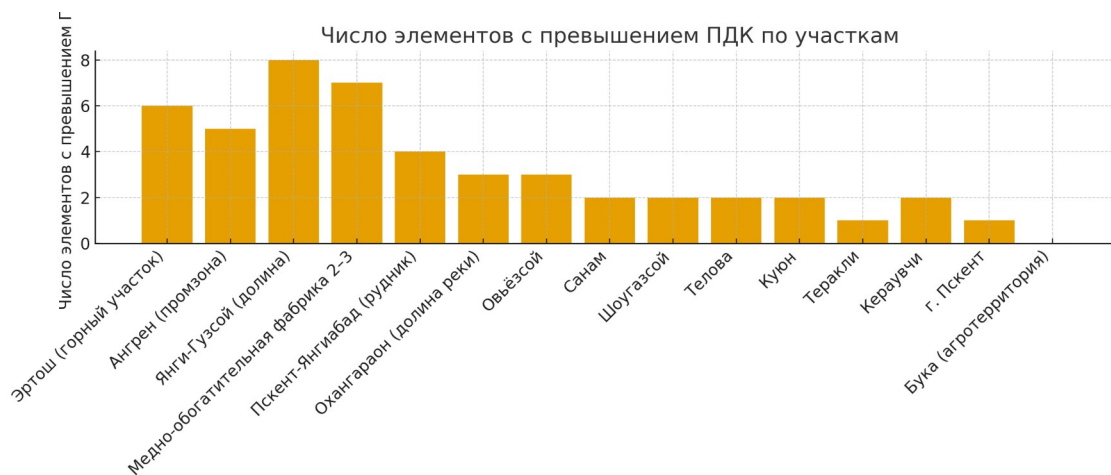


Рис. 1. Число элементов с превышением ПДК по участкам.

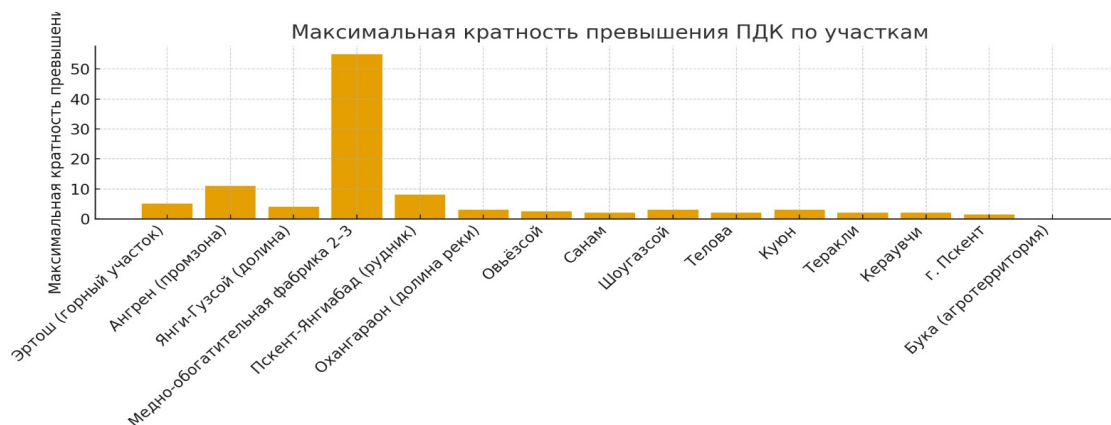


Рис. 2. Максимальная кратность превышения ПДК по участкам.

Распределение участков по категориям риска

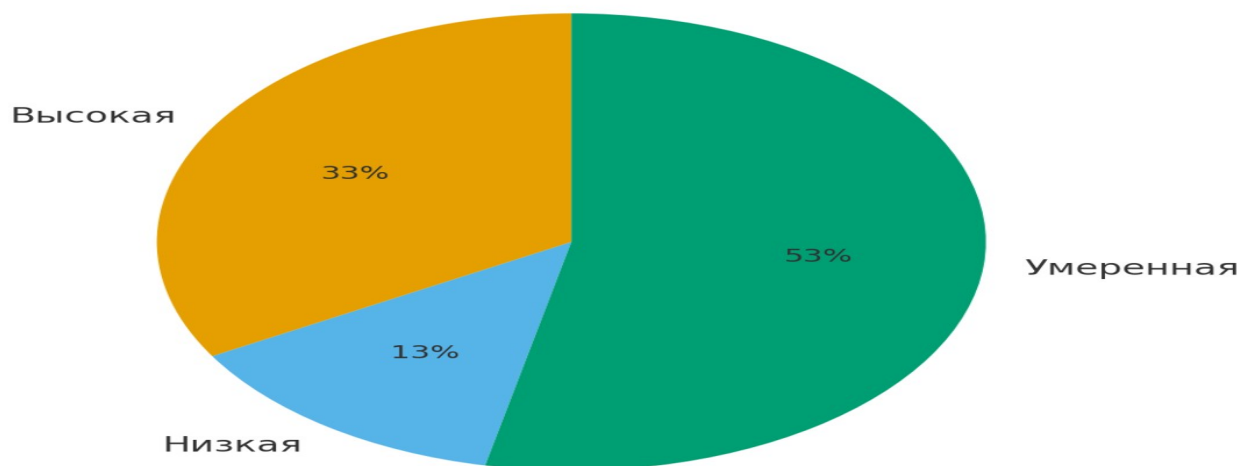
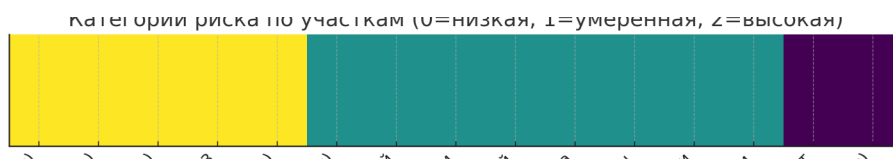


Рис. 3. Распределение участков по категориям риска.



вблизи источника (например, в радиусе нескольких километров от Ангренской ГРЭС). В дальнейшем с ростом расстояния концентрации металлов снижаются до фоновых за счет рассеивания в атмосфере и разбавления чистыми осадками, что согласуется с наблюдаемым в нашей работе постепенным уменьшением числа превышений ПДК при переходе от Ангрена вниз по долине реки.

Еще более высокий уровень загрязнения выявлен на участках непосредственного складирования и переработки минерального сырья – в нашем случае это хвостохранилища медной обогатительной фабрики и отвалы уранового рудника. В первом случае, экстремально высокие концентрации меди, свинца, цинка и других металлов неудивительны, так как в хвостах обогащения сосредоточены остаточные количества целевых и сопутствующих руде элементов. Подобные объекты являются очагами точечного сверхнормативного загрязнения. Отмеченное нами превышение ПДК Cu более чем в 50 раз на фабричном участке согласуется с тем, что даже на расстоянии сотен метров от источников, медь в почве может оставаться выше норматива. Урановый объект Янгиабд, помимо радионуклидов, вероятно, содержит в отвальных породах повышенные количества свинца, мышьяка, молибдена, ванадия и других элементов, характерных для урановых руд. Хотя наш анализ охватывал не все из них, выявленные высокие значения мышьяка подтверждают опасения по поводу совместного токсического эффекта химического загрязнения на этой территории. Данная ситуация типична для уранодобывающих районов Средней Азии, где без надлежащей рекультивации отходы горного производства представляют риск загрязнения почвы и грунтовых вод тяжелыми элементами и радионуклидами.

Участки умеренного загрязнения в долинах малых рек (Овжазсой, Шоугазсой и др.) и сельских местностях демонстрируют, с одной стороны, наличие отсроченных последствий дальнего переноса поллютантов, а с другой – возможное влияние

локальных факторов. Незначительные превышения по меди и цинку могут быть связаны, например, с использованием медьсодержащих пестицидов или минеральных удобрений на полях в прошлом. Повышение марганца иногда обусловлено природными почвенно-геохимическими особенностями (например, окислительные условия могут вызвать концентрацию Mn в виде конкреций). То, что на большинстве таких участков превышения единичны и невелики, свидетельствует: в отсутствие крупных промышленных точек воздействия состояние почв относительно благополучно. Тем не менее выявленные отклонения (пусть и небольшие) подчеркивают необходимость регулярного мониторинга. В частности, даже в удаленных от промышленности областях важно следить за содержанием, например, свинца – учитывая его распространение через транспортные выхлопы в прошлом и способность аккумулироваться в верхнем слое почвы вдоль дорог.

С практической точки зрения, выделенные **зоны высокого риска** (Ангрен, хвостохранилища, Янгиабат) требуют приоритетных мероприятий по реабилитации земель и предотвращению дальнейшего распространения загрязнителей. Для Ангрена актуальны проекты по очистке почв и снижения пыления золоотвалов, а также переход на более чистые технологии сжигания топлива или фильтрации выбросов. В отношении хвостов обогатительных фабрик – их изоляция, переработка или безопасное хранение с рекультивацией территорий. В случае Янгиабата уже предпринимаются масштабные усилия при поддержке международных организаций по консолидации и захоронению радиоактивных отходов, что одновременно уменьшит и химическую нагрузку (поскольку отходы будут удалены или стабилизированы). **Умеренно загрязненные земли** (поймы рек и др.) требуют контролируемого землепользования: например, целесообразно ограничить выращивание пищевых культур в местах с повышенным содержанием свинца или мышьяка, либо проводить агрономелиоративные мероприятия (известкование кислых

почв, внесение органики), которые снижают подвижность тяжелых металлов. Наконец, **чистые или слабо загрязненные территории** следует сохранить в таком состоянии, проводя превентивные меры – недопущение размещения новых загрязняющих производств, выполнение норм экологической безопасности при хозяйственной деятельности.

Выводы. Характер загрязнения. В почвах промышленно нагруженных районов Ташкентской области зафиксировано комплексное загрязнение сразу несколькими тяжелыми металлами на высоком уровне (превышение ПДК в несколько раз и более). На пяти наиболее проблемных участках (Ангрен, Эртош, Янги-Гузсой, Медно-обогатительная фабрика № 2–3, Пскент-Янгиабад) отмечены значительные превышения допустимых концентраций по Cu, Zn, Pb, As, Ni и другим элементам, что позволяет отнести эти территории к зоне высокого экологического риска.

Дифференциация по зонам. Участки, удаленные от крупных источников загрязнения, демонстрируют существенно более низкое содержание токсичных элементов. Около половины обследованных территорий (8 участков) имеют лишь умеренное превышение норм по 1–3 элементам, чаще всего не превышающее 2–3 раз. Еще на двух участках превышений практически не обнаружено, и их состояние соответствует естественному фону. Таким образом, даже в пределах одного региона наблюдается резкий контраст: от «очагов» сильнейшего загрязнения до практически чистых зон.

Связь с источниками. Анализ подтверждает прямую зависимость уровня накопления тяжелых металлов в почвах от наличия поблизости техногенных источников. Максимумы концентраций локализуются у предприятий горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, энергетических объектов и хвостохранилищ. По мере увеличения расстояния от этих объектов, содержание

металлов в почве снижается, часто до фонового на расстоянии нескольких километров (в зависимости от рельефа и розы ветров).

Рекомендации. Для зон высокого риска необходимы срочные природоохранные меры: техническая рекультивация нарушенных земель, изоляция или удаление отходов, снижение выбросов и т. д. В зонах умеренного загрязнения следует проводить мониторинг почв каждые 3–5 лет, контролировать продукты сельского хозяйства на содержание металлов, а также выполнять агротехнические приёмы, уменьшающие биодоступность токсичных элементов. Территории с благополучным состоянием почв можно использовать без ограничений, однако важно сохранить их от потенциального загрязнения в будущем.

В целом, данная работа демонстрирует эффективность комплексного подхода к экологической оценке – сочетание инструментального анализа почв и системы критериев риска – для выделения приоритетных участков, требующих очистки или особого контроля. Полученные данные могут служить научной основой при планировании мероприятий по охране почв в бассейн реки Ахангаран, а также дополняют существующие сведения о масштабах и распределении техногенного загрязнения в регионе.

Список литературы

1. Shukurov N. et al. Soil biogeochemical properties of Angren industrial area, Uzbekistan. *Journal of Soils and Sediments* 9(3), 206–215 (2009).
2. Mirkhaydarova G., Ruzmetov M., Turdaliev J. Factors and problems of chemical pollution of soils in Uzbekistan. *E3S Web of Conferences* 563, 03032 (2024).
3. Kholikulov Sh., Yakubov T., Bobobekov I. The Effect of Gas Industry Waste on Heavy Metals in Soil. *Journal of Ecological Engineering* 22(9), 255–262 (2021).
4. World Nuclear News. Clean-up work begins at Uzbek legacy uranium sites (13 Sep 2023).