



Научная статья

КОНЦЕНТРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОВОЩАХ С ИРРИГАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РИСК ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

А. Фесеха^{1,2}, А.К. Чаубей¹, А. Абраха³¹Колледж естественных и информационных наук, Университет Аддис-Абебы, Эфиопия, Аддис-Абеба²Колледж естественных и информационных наук, Университет Арба Минч, Эфиопия, Арба Минч³Колледж естественных и информационных наук, Университет Самара, Эфиопия, Самара

Содержится оценка концентраций тяжелых металлов в воде, почве и овощах (лиственная свекла, латук, капуста, листовая капуста, помидоры, зеленый перец и морковь), выращиваемых на полях с системой ирригации, в которой используются сточные воды в провинции Гамо, Эфиопия. Образцы почв, воды и овощей были отобраны случайным образом, обработаны и проанализированы на предмет наличия в них тяжелых металлов с помощью атомной абсорбционной спектроскопии.

Полученные результаты показали, что в наиболее высоких средних концентрациях в пробах содержались Cd, Cr и Ni, а Pb, Zn и Cu – в самых низких. Уровни Cd в бассейнах реки Кульфо и озера Чамо, а также уровни Cu в большинстве проб почв также оказались выше референтных значений.

Исследование выявило, что средние уровни Cd в большинстве проб овощей, а также Cr и Pb в некоторых пробах овощей были выше, чем максимально рекомендованные уровни, установленные Всемирной организацией здравоохранения, Продовольственной и сельскохозяйственной организацией в 2001 г. Среди овощей самое высокое содержание тяжелых металлов было обнаружено в капусте, листовой свекле, моркови, помидорах, листовой капусте, зеленом перце и латуке. Коэффициент риска здоровью по содержаниям Cd, Cu и Ni, полученный для всех проб овощей, превышал единицу. Это означает, что существует потенциальный риск здоровью потребителей. Таким образом, рекомендуется регулярный мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах, воде и продуктах питания с целью предотвращения их чрезмерного накопления в пищевой цепочке.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, овощи, коэффициент опасности, оценка риска, безопасность, здоровье человека.

Овощи являются эссенциальным источником широкого спектра жизненно необходимых микроэлементов [1]. В ряде исследований утверждается, что потребление овощей может предотвратить некоторые хронические неинфекционные заболевания, такие как сердечно-сосудистые заболевания, заболевания почек, заболевания нервной и костной системы. Овощи также вносят существенный вклад в обогащение организма белками, минералами, витаминами, волокнами и другими питательными веществами, которых обычно не хватает в повседневных рационах [2, 3]. Недавние тенденции указывают на все большее осознание людьми питательной ценности овощей, вплоть до полного отказа от мяса в их пользу [4]. Установлено, что у овощей есть опреде-

ленные целебные свойства благодаря антиоксидантным и противомикробным эффектам, которые они производят. Также многие овощи обладают антидиабетическим, противовоспалительным и антигипертензивным потенциалом [5, 6].

Вместе с тем качество и безопасность сельскохозяйственных продуктов во многом зависят от условий произрастания, особенно если есть угроза присутствия в окружающей среде токсичных веществ, в том числе соединений тяжелых металлов. Загрязнение данными примесями природных объектов вследствие антропогенной деятельности является серьезной мировой проблемой [7–9]. Источниками являются домохозяйства, промышленные и сельскохозяйственные объекты, горение лесов, сжигание органического топлива и т.п.

© Фесеха А., Чаубей А.К., Абраха А., 2021

Фесеха Абрахам – аспирант кафедры физических наук (e-mail: abrham.feseha@aau.edu.et; тел.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5507-6588>).

Чаубей Ашок Кумар – академик, доктор физических наук, профессор Addis (e-mail: chaubeyak@aau.edu.et; тел.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0536-0852>).

Абраха Атаклти – академик, доктор физических наук, доцент (e-mail: atklt.physics@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-2113>).

Загрязнение воды тяжелыми металлами на некоторых территориях является практически неизбежным в силу естественных причин (скальная эрозия) и антропогенной деятельности (промышленность, сельское хозяйство, домашние хозяйства). Сточные воды добывающей, электрической, крупной промышленности и химических лабораторий часто содержат высокие концентрации тяжелых металлов, включая кадмий (Cd), медь (Cu) и свинец (Pb). Загрязнение сельскохозяйственных почв тяжелыми металлами вследствие ирригации со сточными водами вызывает серьезную тревогу, так как это может негативно отразиться на здоровье населения. Исследование, проведенное Mensah в Гане, посвященное использованию воды в системе ирригации для выращивания капусты, моркови и латука, с присутствием кадмия и свинца, выявило, что концентрации кадмия и свинца в овощах существенно возросли с ростом их концентрации в ирригационной воде. Обычной практикой во многих развивающихся странах является выращивание овощей вдоль берегов рек, протекающих через городские территории. Часто сообщается о загрязнении воды в таких реках тяжелыми металлами. Степень абсорбции металлов из воды растениями зависит в том числе от природы растения и химической структуры загрязнителя, концентрации элемента в почве, pH и взаимодействия с другими металлами. Загрязнение воды тяжелыми металлами в основном происходит вследствие сбросов отходов добывающей промышленности, а также широкого спектра других отраслей.

Тяжелые металлы в почве содержатся в различных химических формах, что связано с их растворимостью, которая напрямую зависит от их мобильности и биологической доступности. Тяжелые металлы в растворимой форме с легкостью проникают в растения. Наиболее высокие концентрации металлов в почве были обнаружены для цинка (113 мг/кг), хрома (47,8 мг/кг), свинца (17,7 мг/кг) и кадмия (0,250 мг/кг) на сельскохозяйственных территориях Зивей, Бурау и Аддис Абеба. Наиболее высокая концентрация металлов была обнаружена в почвах поблизости от Аддис Абеба по сравнению с провинцией Зивей. Это говорит о том, что сельскохозяйственная продукция выращивается на территориях, где повышенная концентрация металлов в почве возникает вследствие естественных причин.

Некоторые тяжелые металлы, такие как железо, цинк, медь и селен, являются необходимыми для человека, особенно в малых количествах. Однако тяжелые металлы не разлагаются в биологических средах и накапливаются в них до токсичных уровней, оказывая вредное воздействие на животных, растения и людей, когда их содержание превышает определенный пороговый уровень [9]. Другие тяжелые металлы, такие как свинец, мышьяк, кадмий, и ртуть, являются токсичными даже в малых дозах, и их экспозиция приводит к возникновению проблем со здоровьем.

Организм человека легко может подвергнуться загрязнению такими тяжелыми металлами, как ни-

кель, кадмий, хром, свинец и медь вследствие экспозиции через продукты питания или загрязненную внешнюю среду. По причине того, что фрукты и овощи могут поглощать тяжелые металлы из почвы, содержание минералов и металлов в одних и тех же плодовоовощных культурах может очень сильно различаться в зависимости от почвы и региона, где они выращиваются. Увеличенная концентрация тяжелых металлов ассоциирована с этиологией нескольких заболеваний, особенно сердечно-сосудистых, неврологических и заболеваний почек.

Кадмий не является эссенциальным элементом, присутствует в продуктах питания и естественных водоемах, а накапливается преимущественно в почках и печени. Кадмий вызывает острое и хроническое отравление, оказывает вредное воздействие на почки, печень, сосудистую и иммунную системы. Последнее время большое внимание уделяется присутствию этого металла в воде, почве, молоке, продуктах питания и лекарственных растениях и травах. Наиболее часто источниками кадмия в почве и растениях являются фосфатные удобрения, плавильные печи на предприятиях цветной металлургии, шахты по добыче свинца и цинка, отходы промышленных предприятий и сжигание органического топлива.

Свинец является серьезным кумулятивным ядом, который проникает в организм с воздухом, водой и продуктами питания, и не может быть удален из фруктов и овощей посредством мойки.

Медь является эссенциальным микроэлементом, который в надлежащем количестве необходим для здоровья. Высокие концентрации данного металла в овощах могут быть опасны для здоровья, равно как и обратная ситуация с недостаточным их потреблением, что может привести к задержке роста, заболеваниям кожи и пищеварительным расстройствам.

Цинк является эссенциальным элементом и важным компонентом в составе многих коферментов; он необходим для синтеза ДНК, РНК, белков и инсулина, но в высоких концентрациях может быть токсичным.

Анализ и прогноз последствий загрязнения требует идентификации и оценки числа источников риска, определения количества факторов которые вступают в контакт с организмом на границе «организм – внешняя среда»; оценки уровня экспозиции с учетом путей поступления веществ и количественного определения риска для здоровья, вызванного данной экспозицией. Однако тот факт, что уровни содержания загрязняющих веществ превышают допустимые, установленные такими регулирующими организациями, как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), не всегда означает, что существует реальный риск для здоровья. По этой причине метод определения целевого коэффициента риска (ЦКР), предложенный Агентством по охране окружающей среды США (US EPA, АООС США) для оценки потенциальных рисков здоровью, связанных с длительной экспозицией тяжелыми металлами, использовался для оценки рисков здоровью и в данном исследовании [9].

ЦКР, равный единице или превышающий ее ($1 \geq$), означает, что существует риск здоровью экспонированного населения.

В настоящее время в провинции Гамо Арба Минч, Эфиопия, не существует законодательно установленных критериев безопасного содержания тяжелых металлов в ирригационных водах, почвах и овощах. Однако вследствие развития экономической, промышленной и других видов деятельности содержание тяжелых металлов растет в ирригационных водах, сельскохозяйственных почвах, овощах и прочих культурах, выращиваемых за пределами города. Фермерские земли и участки вдоль реки интенсивно используются для выращивания зерновых культур и овощей, но данных по содержанию тяжелых металлов в ирригационных водах, почвах и овощах по-прежнему крайне мало. Поэтому целью данного исследования было количественное определение концентраций различных металлов в почвах и повсеместно выращиваемых овощах, орошаемых с помощью систем ирригации, содержащих сточные воды, с целью последующего расчета дневного потребления металлов, поступающих в организм с определенным количеством потребленных овощей. Это позволило оценить риск для здоровья, вызванный экспозицией тяжелыми металлами вследствие потребления овощей, выращенных на четырех ирригационных участках в провинции Гамо, Эфиопия. Эти данные крайне важны для дальнейшего изучения накопления тяжелых металлов в продуктах питания, что приведет к повышению их безопасности и более эффективной охране здоровья людей, проживающих на данной территории.

Материалы и методы. В качестве территории исследования был выбран район расположения г. Арба Минч, который находится на $6^{\circ}2'N$ $37^{\circ}33'E$ и является одним из городов провинции Гамо, Зона Гуфо, Регион южных национальностей и народов (SNNPR), Эфиопия. Он находится на расстоянии примерно 500 км от столицы Эфиопии Аддис-Абебы. Его нынешнее название Арба Минч в переводе обозначает «40 источников», так как на его территории расположены 40 природных источников, являющихся основной туристической достопримечательностью (рисунок). Река Кульфо, озеро Абайя и озеро Чамо – основные источники воды для данной территории и используются для земледелия, коммунальных нужд и т.д. Река и озера берут свой исток с высокогорных местностей региона Гамо, в котором бурно развивается сельское хозяйство. Фокус данного исследования сосредоточен на изучении территории, где проживающее население использует водные ресурсы для ирригации.

Экспозиция населения хромом может возникнуть вследствие вдыхания, потребления с питьевой водой и даже контакта через кожу. Экспозиция повышенными концентрациями хрома приводит к раздражению кожи, образованию язв, повреждениям сосудистых и нервных тканей, что вызывает проблемы со здоровьем. Однако дневное потребление данного металла в определенном диапазоне концен-

траций (до 200 мкг/сут) считается необходимым для человека и животных, так как оно поддерживает углеводный и липидный обмен.

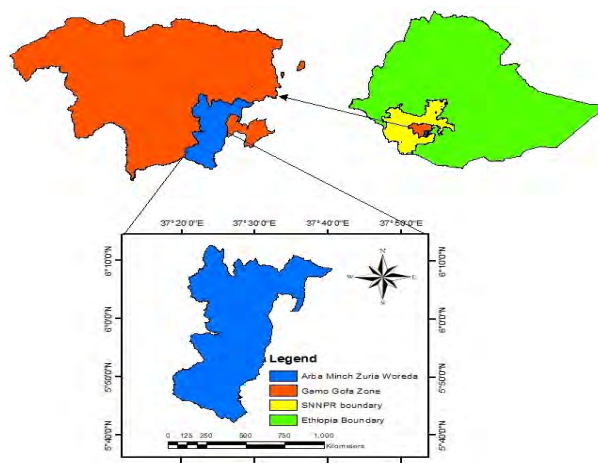


Рис. 1. Карта района Arba Minch Zuriya

Пробы почвы, воды и обычных потребляемых порций семи популярных овощей – листовой свеклы, латука, капусты, листовой капусты, помидоров, зеленого перца и моркови были отобраны на ирригационных полях в провинции Гамо, Эфиопия. Все пробы отбирались на полях случайным образом. Пробы почв отбирались на полях на глубине 15 см. Отобранные пробы почв и овощей собирались в чистые полиэтиленовые пакеты и соответственно помечались, в то время как пробы воды собирались в тщательно вымытые и высушенные емкости. После отбора все пробы доставлялись в химическую лабораторию Университета Арба Минч для подготовки и последующего анализа с помощью атомной абсорбционной спектроскопии.

15 мл пробы воды помещались в тefлоновые пробирки, к ним затем добавляли 5 мл HNO_3 и 1 мл H_2O_2 . Пробирки плотно закрывались и помещались на поворотный механизм, закрытый защитным экраном и установленный в микроволновой камере. Смесь нагревали при $120^{\circ}C$ в течение 3 ч в микроволновом автоклаве. После завершения процесса расщепления чистый бесцветный раствор фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 42 и разбавляли деионизированной водой до увеличения объема раствора до 50 мл [10]. Затем раствор разливали в пластиковые емкости и хранили до начала анализа.

Пробу почвы в количестве 500 г помещали в полиэтиленовый пакет, сушили в микроволновой печи, а затем размалывали в мелкий порошок, который проходил через сито с отверстиями 2 мм. 1 г образца почвы растворяли в смеси трех кислот ($65 HNO_3:70 HClO_4:30 H_2O_2$) в пропорциях 6:4:1 соответственно. Раствор нагревали до $200^{\circ}C$ в течение 3 ч до тех пор, пока из него не переставали уходить коричневые пары. После этого раствор фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 42 и разбавляли деионизированной водой до тех

пор, пока объем не достигал 50 мл [10]. Приготовленные пробы были проанализированы с помощью атомной абсорбционной спектрометрии (модель AA 400P, Германия) с целью определения концентраций тяжелых металлов.

Образцы овощей измельчались, а затем высушивались в сухой печи при температуре 105 °С в течение 24 ч (модель печи Memmert UF 260 плюс 230V Sunon) для удаления влаги. Сухие образцы затем перемалывались в порошок и просеивались через сито с отверстиями 1 мм. 0,5 г пробы помещали в эталонные пробирки, добавляли 6 мл 65%-ной HNO₃, 3 мл 70%-ной HClO₄ и 1 мл 30%-ной H₂O₂, а затем помещали на поворотный механизм в микроволновой камере. Смесь нагревали при 80 °С в течение 3 ч в микроволновом автоклаве. После завершения процесса расщепления чистый бесцветный раствор фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 42 и разбавляли деионизированной водой до увеличения объема раствора до 50 мл [10]. Готовые пробы хранили в пластиковых емкостях до момента анализа. Данные по образцам почв, овощей и воды, отобранных на четырех исследованных территориях, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Образцы овощей, почв и воды, отобранные на четырех территориях в Эфиопии*

Образец		Территория ирригационного земледелия			
		KRA	ATSHCA	ALA	CHLA
Овощи	Листовая капуста	✓	✓	✓	✓
	Латук	✓	✓	✓	✓
	Капуста	✓	✓	✓	✓
	Листовая свекла	✓	✓	✓	✓
	Помидоры	✓	✓	✓	✓
	Зеленый перец	✓	✓	✓	✓
	Морковь	✓	✓	✓	✓
Почва		✓	✓	✓	✓
Ирригационная вода		✓	✓	✓	✓

Примечание: *KRA – бассейн реки Кульфо; ATSHCA – территория около текстильной компании Арба Минч, ALA – бассейн озера Абайя, CHLA – бассейн озера Чамо. Отметка (✓) означает, что на данной территории произошел отбор проб.

Подготовленные образцы были проанализированы с целью определения содержащихся в них концентраций тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектрометрии с плазменной атомизацией, с использованием микроволновой камеры и печи сухого нагрева (ПААС (плазменная атомно-абсорбционная спектрометрия), модель AA 400P, Германия). Вспомогательное оборудование – стандартизованное. Для приготовления всех растворов использовались аналитические химические калибровочные реагенты и деионизированная вода. Гра-

фические калибровочные стандартные растворы для всех определений были приготовлены путем последовательного разбавления стандартных растворов на 1000 миллионных долей.

Метод выбран в силу того, что имеются данные об его успешном применении для определения тяжелых металлов в различных матрицах [11]. Режим работы установки для определения тяжелых металлов с помощью ПААС описан в табл. 2. Для обеспечения качества данных, получаемых в процессе эксперимента, каждый образец анализировали трижды.

Таблица 2

Рабочий режим установки для определения тяжелых металлов в образцах воды, почвы и овощей посредством ПААС [12, 13]

Элемент	Длина волны, нм	Ток лампы, мА	Ширина прорези, нм	Тип пламени
Кадмий	228,8	2,0	1,2	Воздух – ацетилен
Хром	357,9	6,0	0,7	Воздух – ацетилен
Свинец	283,3	5,0	0,7	Воздух – ацетилен
Цинк	213,9	5,0	0,7	Воздух – ацетилен
Медь	324,7	4,0	0,5	Воздух – ацетилен
Никель	232,0	7,0	0,6	Воздух – ацетилен

Валидация метода подтверждалась согласно протоколам Международной организации по гармонизации [14]. Во всех экспериментальных процедурах исследования использовались аналитические реагенты производства компании Merck (Германия).

Оценивали перенос металлов из загрязненной почвы в съедобные части овощей через фактор аккумуляции (AF) по формуле (1) [15–17].

$$AF = \frac{C_{vegetables}}{C_{soil}}, \quad (1)$$

где $C_{vegetables}$ – концентрация металла в овощах (мг/кг), а C_{soil} – концентрация металла в почве (мг/кг). Чем выше значение фактора переноса (TF), тем более доступны тяжелые металлы. Высокие уровни фактора переноса говорят об относительно слабом удержании металлов почвой или о значительной эффективности процесса абсорбции металлов овощами. Низкий уровень фактора переноса означает, что существует сильная связь между металлами и коллоидами почвы.

Мобильность металлов в процессе перемещения из почвы в растения является функцией от физических и химических свойств почвы и разновидностей овощей. Она изменяется под влиянием многочисленных антропогенных и внешнесредовых факторов. Различия в факторе переноса для разных типов овощей могут объясняться различными уровнями концентраций ме-

таллов в почве и различиями, связанными с потреблением элементов разными видами овощей.

Высокие значения фактора аккумуляции (AF) могут означать потенциальный риск для потребителей.

Оценку риска здоровью, связанную с употреблением овощей, выращиваемых на ирригационных участках исследуемых территорий, рассчитывали с учетом суточного потребления овощей, которое в свою очередь оценивали по результатам опросов 400 респондентов (табл. 3).

Таблица 3

Участники опроса, направленного на определение риска здоровью, вызванного потреблением овощей на изучаемых территориях

Участники	Возраст, лет		Общее количество опрошенных
	<16	>16	
Мужчины	95	135	230
Женщины	76	94	170
Итого			400

Средний вес тела для взрослого и ребенка принимался равным 60 и 25 кг соответственно.

Дневное поступление металлов вследствие употребления в пищу изучаемых овощей (листовая свекла, латук, капуста, листовая капуста, помидоры, зеленый перец и морковь) было рассчитано с помощью уравнения (2) [15–19].

$$DIR = \frac{C_{metals} \cdot D_{average\ vegetable\ intake}}{B_{average\ weight}}, \quad (2)$$

где C_{metals} – средняя концентрация элемента в овоще (мг/кг), а $D_{average}$ – средняя дневная норма потребления данного овоща (кг/день на человека), а $B_{average\ weight}$ – средняя масса тела (кг). По результатам исследования, среднее дневное потребление овощей для взрослых и детей составляло 0,346 и 0,233 кг/на человека в день соответственно. Данные о величинах рассчитанного дневного поступления приведены в табл. 4.

Уровень опасности для неканцерогенных загрязнителей оценивали с помощью коэффициента опасности (HQ) [20]. Коэффициент опасности, или оценка хронической угрозы, в данном исследовании был рассчитан с помощью уравнения (3) [15, 21, 22]. Если значение коэффициента опасности ниже единицы, то предполагается, что угрозы для потребителей нет, а если он равен единице или превышает данное значение, то подобный уровень считается небезопасным для здоровья населения [22, 23].

$$HQ = \frac{DIR}{RfD}, \quad (3)$$

где DIR означает дневное поступление, а RfD – референтная доза металлов. Значения RfD принимали: Cd – 0,001; Pb – 0,004; Cr – 1,5; Ni – 0,02; Zn – 0,3; Cu – 0,04 мг/кг в сутки. Данные были получены из интегрированной базы данных по рискам здоровью [22, 24, 25].

Индекс опасности (HI) рассматривали как показатель потенциального риска здоровью потребителей, возникающего вследствие экспозиции несколькими потенциально токсичными элементами [25]. Он рассчитывается как сумма коэффициентов опасности, рассчитанных для каждого элемента в каждом овоще по следующей формуле (4) [20, 25].

$$HI = \sum HQ. \quad (4)$$

Учитывали однонаправленное действие на критические органы и системы исследованных тяжелых металлов в соответствии с матрицей, приведенной в табл. 5.

Все данные, полученные в результате исследования, были статистически обработаны с расчетом средних величин. Средние значения для концентраций металлов в образцах воды, почвы и овощей сравнивались путем использования независимого t -критерия. Для базового дескриптивного статистического анализа данных применялась программа Statistics 8.1.

Результаты и их обсуждение. Результаты валидации свидетельствовали, что градуировочные кривые для разных диапазонов концентраций показывали хорошие коэффициенты корреляции в диапазоне от 0,9987 до 0,9999, что выше, чем требуемый уровень (0,995) для анализа микроэлементов [26, 27]. Это говорит о наличии тесной корреляции между концентрацией и поглощением, указывая на то, что аппаратное обеспечение было должным образом откалибровано (табл. 6).

Инструментальные пределы обнаружения (IDL) варьировались от 0,0005 до 0,01 мг/кг, что было ниже предела обнаружения (LOD); это указывает на высокую чувствительность измерительной аппаратуры. Предел обнаружения (LOD) находился в диапазоне от 0,075 до 0,372 мг/кг. Предел количественного обнаружения (LOQ) – в диапазоне 0,227–1,127 мг/кг. Значения как LOD, так и LOQ были выше IDL, следовательно, результаты анализа могут считаться надежными [28].

Таблица 4

Среднее дневное поступление каждого овоща, кг/день/чел.

Категория	Листовая капуста	Латук	Капуста	Листовая свекла	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Итого D_{ave}
Взрослые	0,227	0,163	0,246	0,293	0,231	0,108	0,187	1,455
Дети	0,113	0,098	0,169	0,157	0,128	0,078	0,103	0,846

Таблица 5

Данные ATSDR о влиянии тяжелых металлов на определенные органы и системы

Критические органы/системы	Zn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Центральная нервная система						+
Сердечно-сосудистая система					+	
Пищеварительная система		+				+
Почки			+	+	+	
Кровь	+	+	+			
Развития					+	+
Репродуктивная						+
Гормональная						+

Результаты восстановления находились в приемлемом диапазоне 80–120, что нормально для анализа металлов [29]. Точность метода выражалась через относительное стандартное отклонение (RSD) трех исследований одного и того же образца. Полученные значения RSD варьировались от 2,110 до 8,543, что было ниже требуемого контрольного уровня ≤ 15 [30, 31]. Данные результаты подтверждали точность и аккуратность выбранной методики.

Средние концентрации тяжелых металлов, обнаруженные в образцах воды, почв и овощей, отобранных на четырех исследованных территориях, приведены в табл. 6–8.

Как видно из представленных в табл. 7 данных, средние концентрации хрома, свинца, цинка и никеля, полученные в образцах почвы, отобранных на всех ирригационных территориях, оказались ниже рекомендованных верхних пределов для почв, уста-

новленных ПСО (Пищевая и сельскохозяйственная организация) / ВОЗ, АОС США. Аналогичным образом обстоит дело с концентрациями кадмия в образцах почв, отобранных на территориях ATSHCA и ALA, и с концентрациями меди в образцах почв с территорий KRA и ATSHCA.

Содержание Cd в образцах из KRA и CHLA и Cu в образцах из ALA и CHLA было выше максимальных уровней, рекомендованных для почв ВОЗ и EPA [32–35].

В образцах сточных вод на всех изученных ирригационных территориях концентрации цинка, свинца и меди были ниже рекомендованных максимальных уровней, установленных для АОС США и ПСО/ВОЗ для ирригационной воды [36–40]. Вместе с тем фиксировали относительно высокие концентрации кадмия, хрома и никеля в ирригационных водах на всех изучаемых территориях. Максимальные рекомендованные уровни для данных веществ были превышены. Полученные результаты показывают, что образцы сточной воды значительно загрязнены тяжелыми металлами. Поэтому внимание должно концентрироваться на регулярном мониторинге и контроле сточных вод, используемых для ирригации.

Результаты количественного определения металлов в овощах представлены в табл. 8, 9. Установлено, что концентрации кадмия, обнаруженные в овощах, выращенных на изучаемых территориях, распределились следующим образом: концентрации в латуке варьировались от 0,18 мг/кг (латук, ALA) до 0,45 мг/кг (листовая свекла, KRA) [41, 42].

Таблица 6

Параметры валидации

Металл	IDL, мг/кг ^a	LOD, мг/кг	LOQ, мг/кг	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции R^2	Восстановление, % ^b	RSD, %
Cd	0,0005	0,153	0,465	$y = 0,1247x - 0,003$	0,9998	$101,294 \pm 3,398$	3,355
Cr	0,002	0,184	0,558	$y = 0,0112x + 0,002$	0,9997	$98,905 \pm 3,578$	3,618
Pd	0,01	0,372	1,127	$y = 0,0044x + 0,0009$	0,9987	$99,436 \pm 8,495$	8,543
Zn	0,0008	0,075	0,227	$y = 0,1429x + 0,0277$	0,9999	$99,265 \pm 2,095$	2,110
Cu	0,001	0,200	0,606	$y = 0,063x - 0,0013$	0,9996	$98,273 \pm 5,608$	5,706
Ni	0,002	0,211	0,638	$y = 0,0243x + 0,0019$	0,9996	$98,974 \pm 4,515$	4,562

Примечание: ^a – источник для ПААС; ^b – среднее \pm SD, $n = 7$, SD – стандартное отклонение; мг/кг – миллиграмм на кг; RSD – относительное стандартное отклонение.

Таблица 7

Средние концентрации тяжелых металлов в почвах и воде

Тяжелый металл	KRA		ATSHCA		ALA		CHLA		Максимально допустимые уровни	
	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л	почва, мг/кг	вода, мг/л ^a	почва, мг/кг ^b
Cd	0,2605	3,9096	0,185	1,8261	0,1634	1,7512	0,245	3,2113	0,01	3
Cr	0,8402	19,897	0,2567	13,0664	0,4738	16,2893	0,6701	8,2187	0,1	50
Pb	0,0094	13,8313	0,0038	10,4406	0,0024	12,5333	0,0056	11,7341	0,015 ^c	100
Zn	0,3488	52,2735	1,3954	42,5626	0,1461	53,0685	0,0770	68,5274	2	300
Cu	0,4643	48,8125	0,6743	40,8878	1,2759	57,1213	0,366	51,2222	2 ^d	50 ^c
Ni	0,8767	42,1764	0,5609	31,3822	0,3953	19,5129	0,6811	31,3866	0,07 ^d	80 ^c

Примечание: ^a – ВОЗ/ ПСО (2007); ^b – ВОЗ/ ПСО (2001); ^c – АОС США (2010); ^d – ВОЗ (2008); мг/кг – миллиграмм на кг; мг/л – миллиграмм на литр.

Таблица 8

Концентрации тяжелых металлов в образцах овощей, отобранных на четырех территориях в Эфиопии

Овощ	Тяжелые металлы, $\frac{\text{мг/кг}}{\text{число проб}}$						Тяжелые металлы, $\frac{\text{мг/кг}}{\text{число проб}}$					
	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	Ni
Территория	KRA						ATSHCA					
Листовая свекла	$\frac{0,4}{524}$	$\frac{1,4}{062}$	$\frac{0,4}{564}$	$\frac{27,2}{354}$	$\frac{11,2}{354}$	$\frac{13,8}{213}$	$\frac{0,3}{313}$	$\frac{1,1}{245}$	$\frac{0,1}{987}$	$\frac{23,4}{859}$	$\frac{9,5}{894}$	$\frac{9,4}{152}$
Латук	$\frac{0,2}{537}$	$\frac{1,8}{213}$	$\frac{0,3}{125}$	$\frac{22,4}{562}$	$\frac{16,4}{235}$	$\frac{17,7}{014}$	$\frac{0,1}{897}$	$\frac{1,4}{526}$	$\frac{0,1}{595}$	$\frac{18,5}{642}$	$\frac{13,8}{976}$	$\frac{15,8}{631}$
Капуста	$\frac{0,4}{185}$	$\frac{2,7}{801}$	$\frac{0,4}{562}$	$\frac{14,2}{563}$	$\frac{16,5}{426}$	$\frac{19,8}{916}$	$\frac{0,3}{281}$	$\frac{2,8}{456}$	$\frac{0,2}{895}$	$\frac{10,4}{586}$	$\frac{14,5}{642}$	$\frac{18,6}{542}$
Листовая капуста	$\frac{0,2}{304}$	$\frac{2,9}{945}$	$\frac{0,2}{901}$	$\frac{10,4}{568}$	$\frac{13,9}{648}$	$\frac{24,9}{745}$	$\frac{0,1}{887}$	$\frac{2,7}{589}$	$\frac{0,1}{693}$	$\frac{8,5}{642}$	$\frac{9,5}{689}$	$\frac{23,3}{456}$
Помидоры	$\frac{0,4}{324}$	$\frac{1,8}{452}$	$\frac{0,2}{812}$	$\frac{13,6}{548}$	$\frac{24,2}{345}$	$\frac{26,8}{945}$	$\frac{0,2}{791}$	$\frac{1,5}{243}$	$\frac{0,1}{623}$	$\frac{10,2}{365}$	$\frac{19,5}{642}$	$\frac{24,4}{538}$
Зел.перец	$\frac{0,2}{394}$	$\frac{1,9}{452}$	$\frac{0,2}{945}$	$\frac{9,9}{865}$	$\frac{21,4}{563}$	$\frac{21,8}{916}$	$\frac{0,1}{714}$	$\frac{1,5}{624}$	$\frac{0,1}{915}$	$\frac{5,4}{568}$	$\frac{16,5}{894}$	$\frac{20,6}{542}$
Морковь	$\frac{0,3}{515}$	$\frac{2,0}{145}$	$\frac{0,3}{912}$	$\frac{12,4}{568}$	$\frac{25,2}{345}$	$\frac{25,7}{865}$	$\frac{0,2}{988}$	$\frac{1,7}{451}$	$\frac{0,3}{056}$	$\frac{9,4}{758}$	$\frac{20,5}{642}$	$\frac{21,5}{917}$
ВОЗ/ПСО (2001), допустимый уровень	0,200	2,3	0,3	99,4	73,3	67	0,2	2,3	0,3	99,4	73,3	67
Территория	ALA						CHLA					
Листовая свекла	$\frac{0,3}{041}$	$\frac{1,2}{345}$	$\frac{0,2}{956}$	$\frac{28,3}{793}$	$\frac{11,5}{564}$	$\frac{5,3}{914}$	$\frac{0,4}{194}$	$\frac{1,0}{292}$	$\frac{0,3}{477}$	$\frac{31,4}{526}$	$\frac{9,9}{524}$	$\frac{11,3}{121}$
Латук	$\frac{0,1}{797}$	$\frac{1,5}{462}$	$\frac{0,1}{895}$	$\frac{24,3}{427}$	$\frac{18,5}{462}$	$\frac{9,8}{756}$	$\frac{0,2}{165}$	$\frac{1,6}{271}$	$\frac{0,3}{9}$	$\frac{27,4}{589}$	$\frac{17,4}{371}$	$\frac{16,8}{123}$
Капуста	$\frac{0,2}{973}$	$\frac{2,0}{461}$	$\frac{0,3}{125}$	$\frac{16,4}{24}$	$\frac{20,6}{542}$	$\frac{11,9}{517}$	$\frac{0,3}{685}$	$\frac{2,1}{686}$	$\frac{0,4}{218}$	$\frac{21,5}{643}$	$\frac{18,4}{682}$	$\frac{17,9}{453}$
Листовая капуста	$\frac{0,1}{91}$	$\frac{2,2}{451}$	$\frac{0,1}{885}$	$\frac{12,2}{014}$	$\frac{16,2}{457}$	$\frac{17,8}{501}$	$\frac{0,2}{155}$	$\frac{2,6}{527}$	$\frac{0,2}{189}$	$\frac{16,8}{956}$	$\frac{14,3}{566}$	$\frac{22,7}{254}$
Помидоры	$\frac{0,3}{152}$	$\frac{1,4}{452}$	$\frac{0,1}{812}$	$\frac{15,0}{882}$	$\frac{32,4}{568}$	$\frac{15,3}{968}$	$\frac{0,4}{57}$	$\frac{1,6}{977}$	$\frac{0,2}{101}$	$\frac{19,5}{641}$	$\frac{26,3}{741}$	$\frac{25,8}{745}$
Зел.перец	$\frac{0,1}{885}$	$\frac{1,7}{854}$	$\frac{0,2}{282}$	$\frac{10,6}{628}$	$\frac{29,5}{463}$	$\frac{16,7}{969}$	$\frac{0,2}{51}$	$\frac{1,6}{362}$	$\frac{0,2}{586}$	$\frac{14,5}{623}$	$\frac{23,1}{016}$	$\frac{19,9}{453}$
Морковь	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{1,6}{123}$	$\frac{0,3}{156}$	$\frac{14,5}{447}$	$\frac{31,4}{568}$	$\frac{15,8}{259}$	$\frac{0,3}{421}$	$\frac{1,9}{557}$	$\frac{0,3}{524}$	$\frac{17,5}{659}$	$\frac{26,0}{377}$	$\frac{23,6}{895}$
ВОЗ/ПСО (2001), допустимый уровень	0,2	2,3	0,3	99,4	73,3	67	0,2	2,3	0,3	99,4	73,3	67

Концентрации Cd не были значительно повышены в латук, зеленом перце и листовой капусте и не имели значительных различий между разными территориями [43–45]. Однако концентрации кадмия, обнаруженные в листовой свекле, капусте, помидорах и моркови на территориях KRA и CHLA, превышали допустимые уровни, установленные ПСО/ВОЗ.

Образцы, отобранные в KRA, содержали наиболее высокие концентрации кадмия, что может быть объяснено сбросом шлаков вместе со сточными водами с предприятий по производству цемента, металлообработки, каменоломен и текстильных производств. Все эти производства, как правило, сбрасывают свои отходы напрямую в реку [46, 47].

Наиболее высокие концентрации хрома были обнаружены в образцах листовой капусты (2,99 мг/кг) из KRA. Концентрации хрома в капусте и листовой свекле с территорий KRA и ATSHCA, и в листовой свекле с территории CHLA превышали предельные уровни данного металла в продуктах питания, установленных ПСО/ВОЗ. Среди всех исследованных проб овощей наибольшие количества хрома были обнаружены в

капусте и листовой свекле. Высокие концентрации данного тяжелого металла были обнаружены в овощах с территорий KRA, ATSHCA и CHLA, что может быть следствием сброса отходов предприятий металлообработки, производства цемента, текстильного производства, каменоломен, а также загрязнения, связанного с агрономической деятельностью [48].

Наиболее высокие концентрации свинца были обнаружены в листовой свекле (0,46 мг/кг) и капусте (0,46 мг/кг) с территории KRA, а самые низкие – в латук (0,16 мг/кг), собранном на территории ATSHCA. Концентрации свинца во всех пробах овощей, отобранных на всех изучаемых территориях, за исключением листовой свеклы и капусты, собранных на территории KRA, не превышали безопасные уровни, установленные ПСО/ВОЗ [49].

Наиболее высокие концентрации меди были обнаружены в помидорах (32,46 мг/кг), моркови (31,46 мг/кг) и зеленом перце (29,55 мг/кг) с территории ALA; самые низкие концентрации – в листовой капусте (9,57 мг/кг) с территории ATSHCA. Аналогично наиболее высокие концентрации никеля были обнару-

жены в помидорах (26,89 мг/кг) с территории KRA, а наиболее низкие – в листовой свекле (5,39 мг/кг) с территории ALA. Концентрации меди и никеля, выявленные во всех пробах овощей, отобранных на всех изучаемых территориях, не превышали безопасные значения, установленные ПСО/ВОЗ для данных металлов на уровне 73,3 и 67,0 мг/кг соответственно [50].

Данные, приведенные в табл. 7, показывают средние концентрации цинка во всех пробах овощей. Что касается цинка, на территории CHLA были обнаружены наиболее высокие концентрации данного элемента – 31,45 мг/кг – в листовой свекле, чуть ниже – 28,38 мг/кг – в листовой свекле на территории ALA. Наиболее низкие концентрации были обнаружены на территории ATSHCA – 5,46 мг/кг в зеленом перце [51]. Это говорит о том, что цинк содержится во всех пробах овощей, отобранных на всех территориях, в концентрациях, которые находятся в безопасных пределах, установленных ПСО/ВОЗ, а именно 99,40 мг/кг.

Полученные данные позволили оценить фактор переноса (TF) различных тяжелых металлов из почвы в овощи. Результаты представлены в табл. 10.

Наиболее высокий фактор переноса для листовой свеклы отмечен для цинка (0,52), никеля (0,32). При исследовании латука наиболее высокие значения фактора переноса были обнаружены для никеля (0,49) и цинка (0,43) [52]. При исследовании прочих видов овощей наиболее высокие уровни фактора переноса были зафиксированы для никеля (от 0,56 до 0,76) и меди (от 0,27 до 0,52). В целом значения фактора переноса TF для тяжелых металлов в изученных пробах овощей располагались в следующем порядке:

$$\text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Pb}.$$

Наиболее высокие значения TF оказались равны 0,76 и 0,52 для никеля и цинка соответственно. Это может быть следствием высокой мобильности данных металлов с естественным нахождением в почвах, а также более слабым их удержанием в почвах по сравнению с другими токсичными элементами [53, 54].

Сопряжение данных о концентрациях металлов в овощах с данными о суточном потреблении каждого продукта позволило рассчитать суточные дозы поступления металлов в организм [55] (табл. 11).

Суточные дозы явились основой для определения коэффициентов опасности (табл. 12). Как видно из представленных данных, суточные дозы кадмия, меди и никеля как у взрослых, так и у детей превышали референтные дозы при пероральном поступлении (RfD), рекомендованные АООС США и ПСО/ВОЗ [24, 56]. Соответственно, индексы опасности (HQ) превышали безопасное значение 1,0.

Значения HQ были менее 1,0 для хрома, свинца и цинка для всех изученных овощей для детей и взрослых, т.е. риск характеризовался как незначительный.

Наиболее высокие уровни коэффициентов опасности были установлены для листовой свеклы, помидоров и моркови для взрослых и детей. Следовательно, употребление листовой свеклы, помидоров и моркови, выращиваемых на данных территориях, может вызывать серьезные риски здоровью.

Коэффициенты опасности рассматривали как базу для оценки индексов опасности формирования нарушений функций отдельных органов и систем в силе того, что токсичные элементы могут оказывать однонаправленное воздействие [57]. В данном исследовании выявлено (табл. 13), что наибольшие риски

Таблица 9

Средние концентрации тяжелых металлов (мг/кг) обнаруженные в овощах (все территории)

Тяжелые металлы	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Референтное значение, мг/кг ^a
Cd	0,38	0,21	0,35	0,21	0,36	0,20	0,32	0,2
Cr	1,20	1,61	2,46	2,66	1,63	1,73	1,83	2,3
Pb	0,32	0,24	0,37	0,22	0,21	0,24	0,34	0,3
Zn	27,64	23,21	15,67	12,03	14,64	10,17	13,51	99,4
Cu	10,58	16,58	17,56	13,53	25,66	22,67	25,82	73,3
Ni	9,99	15,06	17,11	22,22	23,15	19,82	21,72	67

Примечание: ^a ПСО/ВОЗ – комиссия Codex Alimentarius (2001).

Таблица 10

Фактор переноса (TF) тяжелых металлов из почвы в растения

Металлы	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Средний TF
Cd	0,12	0,08	0,12	0,08	0,12	0,08	0,13	0,104
Cr	0,09	0,12	0,19	0,21	0,13	0,13	0,14	0,14
Pb	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Zn	0,52	0,43	0,29	0,22	0,27	0,18	0,25	0,31
Cu	0,22	0,34	0,35	0,27	0,51	0,45	0,52	0,38
Ni	0,32	0,49	0,56	0,74	0,76	0,67	0,72	0,61

Таблица 11

Среднее дневное потребление тяжелых металлов с овощами, мг/кг/сут

Металл	Возрастная группа	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь	Средняя DIR	Сумма DIR	RfD
Cd	Взрослые	0,0022	0,0012	0,0020	0,0012	0,0021	0,0012	0,0019	0,0017	0,0072	0,001
	Дети	0,0035	0,0020	0,0033	0,0020	0,0034	0,0019	0,003	0,0027	0,0101	
Cr	Взрослые	0,0070	0,0093	0,0143	0,0154	0,0095	0,0100	0,0106	0,0109	0,0471	1,5
	Дети	0,0112	0,015	0,0229	0,0248	0,0152	0,0161	0,0171	0,0175	0,0662	
Pb	Взрослые	0,0019	0,0014	0,0022	0,0013	0,0012	0,0014	0,002	0,0016	0,0068	0,004
	Дети	0,003	0,0022	0,0035	0,0021	0,002	0,0022	0,0032	0,0026	0,0096	
Zn	Взрослые	0,1603	0,1346	0,0909	0,0698	0,0849	0,0590	0,0784	0,0968	0,4072	0,3
	Дети	0,2576	0,2163	0,1460	0,1121	0,1364	0,0948	0,1259	0,1556	0,5596	
Cu	Взрослые	0,0614	0,0962	0,1019	0,0785	0,1488	0,1315	0,1498	0,1097	0,4432	0,04
	Дети	0,0986	0,1545	0,1637	0,1261	0,2391	0,2113	0,2406	0,1763	0,625	
Ni	Взрослые	0,0579	0,0874	0,0992	0,1289	0,1343	0,1150	0,1260	0,1069	0,4499	0,02
	Дети	0,0931	0,1404	0,1595	0,2071	0,2158	0,1847	0,2024	0,1719	0,6293	

Таблица 12

Коэффициенты опасности для тяжелых металлов вследствие употребления овощей, орошаемых сточными водами

Металл	Возрастная группа	Листовая свекла	Латук	Капуста	Листовая капуста	Помидоры	Зеленый перец	Морковь
Cd	Взрослые	2,204	1,218	2,03	1,218	2,088	1,16	1,856
	Дети	3,542	1,957	3,262	1,957	3,355	1,864	2,982
Cr	Взрослые	0,005	0,006	0,010	0,010	0,006	0,007	0,007
	Дети	0,008	0,010	0,015	0,017	0,010	0,011	0,011
Pb	Взрослые	0,464	0,348	0,537	0,319	0,305	0,348	0,493
	Дети	0,746	0,559	0,862	0,513	0,489	0,559	0,792
Zn	Взрослые	0,534	0,449	0,303	0,233	0,283	0,197	0,261
	Дети	0,859	0,721	0,487	0,374	0,455	0,316	0,420
Cu	Взрослые	1,534	2,404	2,546	1,962	3,721	3,287	3,744
	Дети	2,465	3,863	4,092	3,153	5,979	5,282	6,016
Ni	Взрослые	2,897	4,367	4,962	6,444	6,714	5,748	6,299
	Дети	4,655	7,018	7,973	10,355	10,788	9,236	10,122

Таблица 13

Индекс опасности для тяжелых металлов, воздействующих на одни и те же органы и системы

Критические органы/системы	Контингент	HI _{макс}	HI _{средн}	Вклад отдельных элементов в риск, %					
				Zn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Центральная нервная система	Взрослые	1,7	0,24						100
	Дети	2,4	0,34						100
Сердечно-сосудистая система	Взрослые	22,5	3,21					100	
	Дети	31,5	4,50					100	
Пищеварительная система	Взрослые	8,9	1,27		80,90				9,10
	Дети	12,5	1,78		80,90				9,10
Почки	Взрослые	33,61	4,79			0,09	32,97	66,94	
	Дети	47,14	6,74			0,08	33,16	66,76	
Кровь	Взрослые	14,11	1,23	16,01	83,63	0,36			
	Дети	22,81	1,71	15,91	83,73	0,36			
Развития	Взрослые	40,29	3,46					92,93	7,07
	Дети	64,70	4,84					92,97	7,03
Репродуктивная	Взрослые	1,7	0,24						100
	Дети	2,4	0,34						100

для здоровья жителей, которые постоянно употребляют в пищу овощи, выращиваемые на полях с ирригационными системами, формируются в отношении болезней почек, сердечно-сосудистой системы и развития организма [58]. Риски для здоровья детей фор-

мируются на более высоком уровне, чем для взрослых. Снижение потребления овощей с исследованных территорий несколько уменьшает риски, однако практически в отношении всех поражаемых органов и системы риски характеризуются как неприемлемые.

Выводы. Результаты, полученные в данном исследовании, позволяют сделать вывод, что потребление овощей, орошаемых из систем ирригации с использованием сточных вод, приводит к возникновению неприемлемого риска здоровью как взрослого, так и детского населения. Авторы предлагают осуществлять регулярный мониторинг содержания тяжелых металлов в почве, ирригационной воде и продуктах питания с целью контроля значительного накопления металлов в пищевой цепочке и, таким образом, избежать рисков здоровью.

Представляется, что результаты данного исследования могут стать стимулом для экологов, управленцев и работников системы здравоохранения в их

деятельности, направленной на разъяснение населению опасности употребления в пищу овощей, выращенных на загрязненных почвах, что может привести к снижению рисков здоровью.

Благодарности. Авторы выражают благодарность кафедре физики Университета Аддис-Абебы (AAU) и кафедре химии Университета Арба Минч (AMU) за предоставленную лабораторную базу.

Финансирование. Исследование проведено при финансовой поддержке Университета Аддис-Абебы (AAU) и Университета Арба Минч (AMU).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Agency for Research on Cancer (IARC). Fruit and vegetables. – Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2003. – 24 p.
2. Trace element and heavy metal concentrations in fruits & vegetables of the Gediz River region / S. Delibacak, O.L. Elmaci, M. Secer, A. Bodur // *International Journal of Water*. – 2002. – Vol. 2, № 2–3. – P. 196–211.
3. Fasuyi O.A. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: Chemical characterization and functional properties // *African Journal of Biotechnology*. – 2006. – Vol. 5, № 1. – P. 49–53.
4. Potential toxicity of some traditional leafy vegetables consumed in Nyang'oma Division, Western Kenya / F.O. Orech, T. Akenga, J. Ochora, H. Friis, H. Aagaard // *African Journal for Food Agriculture and Nutritional Development*. – 2005. – Vol. 5, № 1. – P. 1–14.
5. Okeno J.A., Chebet D.K., Mathenge P.W. Status of indigenous vegetables in Kenya // *Acta Hort.* – 2003. – Vol. 621, № 9. – P. 95–100. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.621.10
6. Smith F.I., Eyzaguirre P. African leafy vegetables: Their role in the world health organization's global fruit and vegetables initiatives // *African Journal for Food Agriculture Nutritional Development*. – 2007. – № 7. – P. 1–9.
7. Human Exposure Pathways of Heavy Metal in a Lead-Zinc Mining Area / C. Qu, Z. Ma, J. Yang, Y. Liu, J. Bi, L. Huang // *Heavy Metal Contamination of Water and Soil: Analysis, assessment, and remediation strategies*. – 2014. – P. 129–156.
8. Heavy metal toxicity and the environment / P.B. Tchounwou, C.G. Yedjou, A.K. Patlolla, D.J. Sutton // *Experiential Supplementum*. – 2012. – № 101. – P. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
9. Highlights of the Exposure factors Handbook (Final Report). – National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, 2011. – 72 p.
10. Method 3005A. Acid digestion of water for total recoverable or dissolved metals for analysis by FLAA or ICP-Spectroscopy. – Washington, DC: Environmental Protection Agency (EPA), 1998. – 5 p.
11. Main Analytical Techniques Used for Elemental Analysis in Various Matrices / A.B.M. Helaluddin, S.K. Reem, A. Mohamed, A.A. Syed // *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. – 2016. – Vol. 15, № 2. – P. 427–434. DOI: 10.4314/tjpr.v15i2.29
12. Dagne B.B. Levels of Some Toxic Heavy Metals in Selected Vegetables, Soil and wastewater Around Eastern Industry Zone, Central Ethiopia. MSc Graduate project. – Haramaya: Haramaya University, 2017. – 6 p.
13. Deribachew B., Made M., Nigussie-Dechassa R., Abi M.T. Selected heavy metals in some vegetables produced through wastewater irrigation and their toxicological implications in eastern Ethiopia // *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition, and Development*. – 2015. – Vol. 15, № 70. – P. 10013.
14. International Conference on Harmonization (ICH). Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology [Электронный ресурс] // ICH. – 1994. – URL: http://www.ich.org/fileadmin/Public/Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline (дата обращения: 19.02.2021).
15. Chary N.S., Kamala C.T., Raj D.S. Assessing the risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer // *Ecotoxicology Environmental Safety*. – 2008. – Vol. 69, № 3. – P. 513–524. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2007.04.013
16. Transfer of metals from near a smelter in Nanning, China / Y. Cui, Y. Zhu, R. Zhai, Y. Huang, Y. Qiu, L. Liang // *Environmental International Journal*. – 2004. – Vol. 30, № 6. – P. 785–791. DOI: 10.1016/j.envint.2004.01.003
17. Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan / K. Khan, Y. Lu, H. Khan, M. Ishtiaq, S. Khan, M. Waqas, L. Wei, T. Wang // *Food and Chemical Toxicology*. – № 58. – P. 449–458. DOI: 10.1016/j.fct.2013.05.014
18. Heavy metal health risk assessment for population via consumption of food crops and fruits in Owerri, South Eastern, Nigeria / O.E. Orisakwe, J.K. Nduka, C.N. Amadi, D.O. Dike, O. Bede // *Chemistry Central Journal*. – 2012. – Vol. 1, № 6 (1). – P. 77. DOI: 10.1186/1752-153X-6-77
19. Aschale M., Sileshi Y., Kelly-Quinn M. Health risk assessment of potentially toxic elements via consumption of vegetables irrigated with polluted river water in Addis Ababa, Ethiopia // *Environmental Systems Research*. – 2019. – Vol. 8, № 1. – P. 29. DOI: 10.1186/s40068-019-0157-x
20. U.S. Environmental Protection Agency Risk Characterization Handbook, EPA 100-B-00-002. – Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460, 2000. – 189 p.
21. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation / S. Khan, A. Lin, S. Zhang, Q.H. Hu, Y.G. Zhu // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – Vol. 152, № 2. – P. 506–515. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.014

22. EPA Region 9 (Pacific Southwest) [Электронный ресурс] // USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). – 2002. – URL: <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg> (дата обращения: 19.02.2021).
23. Reference dose (RfD): Description and use in health risk assessments, Background Document 1A, Integrated risk information system (IRIS) [Электронный ресурс] // USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). – 2013. – URL: <http://www.epa.gov/iris/rfd.htm> (дата обращения: 19.02.2021).
24. Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values (PPRTV) for Iron and Compounds (CASRN 7439-89- 6). – Superfund Health Risk Technical Support Center National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268, 2008. – 44 p.
25. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency Integrated Risk Information System (IRIS) on Arsenic. Arsenic, inorganic (CASRN7440-38-2) [Электронный ресурс] // USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). – 1998. – URL: <http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm> (дата обращения: 19.02.2021).
26. Solutions to Analytical Chemistry Problems with Clean Water Act Methods. – Washington, DC: USEPA, 2007. – 62 p.
27. Christian G.D., Analytical Chemistry, 6th edition. – New York: John Wiley and Sons, 2003. – 128 p.
28. Temminghoff E.J., Houba V.J. Plant Analysis Procedures Second Edition. – Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 180 p.
29. National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review. – Washington, DC: USEPA, 2008. – 250 p.
30. Csuros M., Csuros C. Environmental sampling and analysis of metals. – USA: CRC Press, 2002. – 404 p.
31. Parsons M.L., Forster A.L. Trace Element Determination by Atomic Spectroscopic Methods – State of the Art // Applied Spectroscopy. – 1983. – Vol. 37. – P. 411–418. DOI: 10.1366/0003702834634857
32. Tamiru A.A., Hameed S., Amare H. Metal Concentration in Vegetables Grown in the Hydrothermally Affected Area in Ethiopia // Journal of Geography & Geology. – 2011. – Vol. 3, № 1. – P. 8. DOI: 10.5539/jgg.v3n1p86
33. Alemayehu T. Heavy metal concentration in the urban environment of Addis Ababa Ethiopia // Journal of Soil and sediment contamination. – 2006. – Vol. 15, № 6. – P. 591–602. DOI: 10.1080/15320380600959081
34. Report of the 33rd session of the codex committee on food additives and contaminants. – The Netherlands: Joint FAO/WHO food standards programme. Codex Alimentarius commission, 2001. – P. 300.
35. Risk-based concentration table. – Washington, DC: USEPA (United State Environmental Protection Agency), 2010. – 11 p.
36. Cadmium (Cd) and lead (Pb) concentrations effect on yields of some vegetables due to uptake from irrigation water in Ghana / E. Mensah, H.E. Allen, R. Shoji, S.N. Odai, N. Kyei-Baffour, E. Ofori, D. Mezler // International Journal of Agricultural Research. – 2008. – Vol. 3, № 4. – P. 243–251. DOI: 10.3923/ijar.2008.243.251
37. Othman O.C. Heavy metals in green vegetables and soils from vegetable gardens in Dar es Salaam, Tanzania // Tanzania Journal of Science. – 2001. – Vol. 27, № 1. – P. 37–48. DOI: 10.4314/tjs.v27i1.18334
38. Nazif W., Perveen S., Shah S.A. Evaluation of irrigation water for heavy metals of Akbarpura area // Journal of Agricultural and Biological Science. – 2006. – Vol. 1. – P. 51–54.
39. Report of the thirty-ninth session of the codex committee on food hygiene. New Delhi: Joint FAO/WHO food standards programme Codex Alimentarius commission, 2008. – 104 p.
40. Guidelines for Drinking Water Quality. – 3rd edition. – World health organization, 2008. – 668 p.
41. Contents of toxic metals in fruits available on Korean markets / M.H. Kim, J.S. Kim, Y.S. Sho, S.Y. Chung, J.O. Lee // Korean Journal of Food Science and Technology. – 2004. – Vol. 36, № 4. – P. 523–526.
42. Heavy metal analyses and nutritional composition of raw and smoked fishes from Ologe and Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria / A.O. Jolaoso, K.L. Njoku, M.O. Akinola, A.A. Adeola // Journal of Applied Sciences and Environmental Management. – 2016. – Vol. 20, № 2. – P. 277–285. DOI: 10.4314/jasem.v20i2.7
43. Trace Heavy Metal Contents of Some Spices and Herbal Plants from Western Anatolia, Turkey / U. Divrikli, N. Horzum, M. Soyulak, L. Elci // International Journal of Food Science Technology. – 2006. – Vol. 41, № 6. – P. 712–716. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.01140.x
44. Heavy Metals in Vegetables collected from elected Farm and Market sites in Lagos, Nigeria / V.F. Doherty, T.O. Sogbanmu, U.C. Kanife, C. Wright // Global Advanced Research Journal of Environmental Science and Toxicology's. – 2012. – Vol. 1, № 6. – P. 137–142.
45. Determination of Major and Trace Elements in Ten Important Folk Therapeutic Plants of Haripur Basin / S. Jabeen, M.T. Shah, S. Khan, M. Qasim // Journal of medicinal plant research. – 2010. – Vol. 4, № 7. – P. 559–566.
46. Khan M.A., Ahmad I., Inayat R. Effect of environmental pollution on heavy metals content of Withania somnifera // Journal of the Chinese Chemical Society. – 2007. – Vol. 54. – P. 339–343. DOI: 10.1002/jccs.200700049
47. Davies B.E. Cadmium in Heavy Metals in Soil. – Glasgow: Blackie, 1990. – 100 p.
48. Girmaye B.R. Heavy metal and microbial contaminants of some vegetables irrigated with wastewater in selected farms around Adama town, Ethiopia. MSc. Graduate project. – Haramaya: Haramaya University, 2012. – P. 12.
49. Kalagbor I., Diri E. Evaluation of Heavy Metals in Orange, Pineapple, Avocado Pear, and Pawpaw from a Farm in Kaani, Bori, Rivers State Nigeria // International Research Journal of Public and Environmental Health. – 2014. – Vol. 1, № 4. – P. 87–94.
50. Profile of Heavy Metals in Selected Medicinal Plants / S.A. Khan, L. Khan, I. Hussain, K.B. Marwat // Pakistan Journal of Weed Science Research. – 2008. – Vol. 14, № 1–2. – P. 101–110.
51. Ata S., Tayyab S., Rasool A. Analysis of Non-volatile Toxic Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Cr, and Zn) in Allium sativum (Garlic) and Soil Samples Collected from Different Locations of Punjab, Pakistan by Atomic Absorption Spectroscopy // E3S Web of Conferences. – 2013. – № 16004. – P. 1–3. DOI: 10.1051/e3sconf/20130116004
52. Wierzbicka M. How lead loses its toxicity to plants // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. – 1995. – № 64. – P. 81–90. DOI: 10.5586/asbp.1995.012
53. Alloway B.J., Ayres C.D. Chemical Principals of environmental pollutions, (2nd edition). – London: American Society of Agronomy, 1997. – P. 545–567.
54. Heavy metal contamination in vegetables and its growing soil / R.C. Tasrina, A. Rowshon, A.M.R. Mustafzur, I. Rafqu, M.P. Ali // Environmental Analytical Chemistry. – 2015. – Vol. 2, № 3. – P. 142–147. DOI: 10.4172/2380-2391.1000142

55. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from wastewater irrigated area of Varanasi, India / A. Singh, R.K. Sharma, M. Agrawal, F. Marshall // *Tropical Ecology*. – 2010. – Vol. 51. – P. 375–387.
56. Evaluation of certain food additives and contaminants. – Geneva: World Health Organization, 2004. – P. 109.
57. Heavy metals in wheat grains: assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China / M. Huang, S. Zhou, B. Sun, Q. Zhao // *Science of the Total Environment*. – 2008. – Vol. 1, № 405 (1–3). – P. 54–61. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.004
58. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Электронный ресурс] // ATSDR. – URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/az/c.html> (дата обращения: 19.02.2021).

Фесеха А., Чаубей А.К., Абраха А. Концентрация тяжелых металлов в овощах с ирригационных полей, использующих сточные воды, и потенциальный риск здоровью населения // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 68–81. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.07

UDC 539.1
DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.07.eng

Read
online



Research article

HEAVY METAL CONCENTRATION IN VEGETABLES AND THEIR POTENTIAL RISK FOR HUMAN HEALTH

A. Feseha^{1,2}, A.K. Chaubey¹, A. Abraha³

¹Department of Physics, College of Natural & Computational Sciences, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia

²Department of Physics, College of Natural & Computational Sciences, Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

³Department of Physics, College of Natural and Computational Sciences, Samara University, Samara, Ethiopia

This study assesses heavy metal levels in the water, soil, and vegetables (swiss chard, lettuce, cabbage, collard green, tomato, green pepper, and carrot) irrigated with wastewater in Gamo, Ethiopia. The samples of soils, waters, and vegetables were randomly collected, processed, and analyzed for heavy metals using atomic absorption spectroscopy. The obtained results show that the mean concentrations of Cd, Cr, and Ni were the highest, and Pb, Zn, and Cu had the lowest concentration in irrigation waters. The levels of Cd in the Kulfo river area and Chamo Lake area and Cu in most of the farm soils were also found to be higher than the reference values. The study also revealed that the mean levels of Cd in most vegetables and Cr and Pb in some vegetables were higher than the maximum recommended limits set by the World Health Organization / Food and Agriculture Organization 2001. Among the vegetables, cabbage had the highest heavy metal content followed by Swiss-chard, carrot, tomato, collard green, green pepper, and lettuce. The hazard quotient obtained for Cu, and Ni in all vegetable samples and Cd in some vegetable samples exceeded 1. It indicates that there are potential health risks to consumers. This study recommends regular monitoring over heavy metals contents in soils, waters, and foodstuffs to prevent their excessive accumulation in food chains.

Key words: heavy metals; pollution; vegetables; hazard quotient, risk assessment, safety, human health, FAAS.

References

1. Agency for Research on Cancer (IARC). Fruit and vegetables. Lyon, International Agency for Research on Cancer Publ., 2003, 24 p.
2. Delibacak S., Elmaci O.L., Secer M., Bodur A. Trace element and heavy metal concentrations in fruits & vegetables of the Gediz River region. *International Journal of Water*, 2002, vol. 2, no. 2–3, pp. 196–211.

© Feseha A., Chaubey A.K., Abraha A., 2021

Abraham Feseha – Postgraduate student of the Department of Physical Sciences (e-mail: abraham.feseha@aau.edu.et; tel.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5507-6588>).

Ashok Kumar Chaubey – Academician, Doctor of Physical Sciences, Professor (e-mail: chaubeyak@aau.edu.et; tel.: +251-111-239768; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0536-0852>).

Ataklti Abraha – Academician, Doctor of Physical Sciences, Assistance Professor (e-mail: atkl.physics@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-2113>).

3. Fasuyi O.A. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: Chemical characterization and functional properties. *African Journal of Biotechnology*, 2006, vol. 5, no. 1, pp. 49–53.
4. Orech F.O., Akenga T., Ochora J., Friis H., Aagaard H. Potential toxicity of some traditional leafy vegetables consumed in Nyang'oma Division, Western Kenya. *African Journal for Food Agriculture and Nutritional Development*, 2005, vol. 5, no. 1, pp. 1–14.
5. Okeno J.A., Chebet D.K., Mathenge P.W. Status of indigenous vegetables in Kenya. *Acta Hort*, 2003, vol. 621, no. 9, pp. 95–100. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.621.10
6. Smith F.I., Eyzaguirre P. African leafy vegetables: Their role in the world health organization's global fruit and vegetables initiatives. *African Journal for Food Agriculture Nutritional Development*, 2007, no. 7, pp. 1–9.
7. Qu C., Ma Z., Yang J., Liu Y., Bi J., Huang L. Human Exposure Pathways of Heavy Metal in a Lead-Zinc Mining Area. *Heavy Metal Contamination of Water and Soil: Analysis, assessment, and remediation strategies*, 2014, pp. 129–156.
8. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. Heavy metal toxicity and the environment. *Experiential Supplementum*, 2012, no. 101, pp. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
9. Highlights of the Exposure factors Handbook (Final Report). National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, 2011, 72 p.
10. Method 3005A. Acid digestion of water for total recoverable or dissolved metals for analysis by FLAA or ICP-Spectroscopy. Washington, DC: Environmental Protection Agency (EPA) Publ., 1998, 5 p.
11. Helaluddin A.B.M., Reem S.K., Mohamed A., Syed A.A. Main Analytical Techniques Used for Elemental Analysis in Various Matrices. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 2016, vol. 15, no. 2, pp. 427–434. DOI: 10.4314/tjpr.v15i2.29
12. Dagne B.B. Levels of Some Toxic Heavy Metals in Selected Vegetables, Soil and wastewater Around Eastern Industry Zone, Central Ethiopia. MSc Graduate project. Haramaya, Haramaya University Publ., 2017, 6 p.
13. Deribachew B., Made M., Nigussie-Dechassa R., Abi M.T. Selected heavy metals in some vegetables produced through wastewater irrigation and their toxicological implications in eastern Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition, and Development*, 2015, vol. 15, no. 70, pp. 10013.
14. International Conference on Harmonization (ICH). Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology. *ICH*, 1994. Available at: [http://www.ich.org/fileadmin/Public/Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline\(19.02.2021\)](http://www.ich.org/fileadmin/Public/Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline(19.02.2021)).
15. Chary N.S., Kamala C.T., Raj D.S. Assessing the risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 2008, vol. 69, no. 3, pp. 513–524. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2007.04.013
16. Cui Y., Zhu Y., Zhai R., Huang Y., Qui Y., Liang L. Transfer of metals from near a smelter in Nanning, China. *Environmental International Journal*, 2004, vol. 30, no. 6, pp. 785–791. DOI: 10.1016/j.envint.2004.01.003
17. Khan K., Lu Y., Khan H., Ishtiaq M., Khan S., Waqas M., Wei L., Wang T. Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan. *Food and Chemical Toxicology*, no. 58, pp. 449–458. DOI: 10.1016/j.fct.2013.05.014
18. Orisakwe O.E., Nduka J.K., Amadi C.N., Dike D.O., Bede O. Heavy metal health risk assessment for population via consumption of food crops and fruits in Owerri, South Eastern, Nigeria. *Chemistry Central Journal*, 2012, vol. 1, no. 6 (1), pp. 77. DOI: 10.1186/1752-153X-6-77
19. Aschale M., Sileshi Y., Kelly-Quinn M. Health risk assessment of potentially toxic elements via consumption of vegetables irrigated with polluted river water in Addis Ababa, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 29. DOI: 10.1186/s40068-019-0157-x
20. U.S. Environmental Protection Agency Risk Characterization Handbook, EPA 100-B-00-002. Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460 Publ., 2000, 189 p.
21. Khan S., Lin A., Zhang S., Hu Q.H., Zhu Y.G. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, vol. 152, no. 2, pp. 506–515. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.014
22. EPA Region 9 (Pacific Southwest). *USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)*, 2002. Available at: <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg> (19.02.2021).
23. Reference dose (RfD): Description and use in health risk assessments, Background Document 1A, Integrated risk information system (IRIS). *USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)*, 2013. Available at: <http://www.epa.gov/iris/rfd.tm> (19.02.2021).
24. Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values (PPRTV) for Iron and Compounds (CASRN 7439-89-6). Superfund Health Risk Technical Support Center National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268, 2008, 44 p.
25. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency Integrated Risk Information System (IRIS) on Arsenic. Arsenic, inorganic (CASRN7440-38-2). *USEPA (U.S. Environmental Protection Agency)*, 1998. Available at: <http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm> (19.02.2021).
26. Solutions to Analytical Chemistry Problems with Clean Water Act Methods. Washington, DC, USEPA, 2007, 62 p.
27. Christian G.D., Analytical Chemistry, 6th edition. New York, John Wiley and Sons Publ., 2003, 128 p.
28. Temminghoff E.J., Houba V.J. Plant Analysis Procedures Second Edition. Netherlands, Kluwer Academic Publishers Publ., 2004, 180 p.
29. National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review. Washington, DC, USEPA Publ., 2008, 250 p.
30. Csuros M., Csuros C. Environmental sampling and analysis of metals. USA, CRC Press Publ., 2002, 404 p.
31. Parsons M.L., Forster A.L. Trace Element Determination by Atomic Spectroscopic Methods – State of the Art. *Applied Spectroscopy*, 1983, vol. 37, pp. 411–418. DOI: 10.1366/0003702834634857
32. Tamiru A.A., Hameed S., Amare H. Metal Concentration in Vegetables Grown in the Hydrothermally Affected Area in Ethiopia. *Journal of Geography & Geology*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 8. DOI: 10.5539/jgg.v3n1p86

33. Alemayehu T. Heavy metal concentration in the urban environment of Addis Ababa Ethiopia. *Journal of Soil and sediment contamination*, 2006, vol. 15, no. 6, pp. 591–602. DOI: 10.1080/15320380600959081
34. Report of the 33rd session of the codex committee on food additives and contaminants. The Netherlands, Joint FAO/WHO food standards programme. Codex Alimentarius commission, 2001, 300 p.
35. Risk-based concentration table. Washington, DC, USEPA (United State Environmental Protection Agency) Publ., 2010, 11 p.
36. Mensah E., Allen H.E., Shoji R., Odai S.N., Kyei-Baffour N., Ofori E., Mezler D. Cadmium (Cd) and lead (Pb) concentrations effect on yields of some vegetables due to uptake from irrigation water in Ghana. *International Journal of Agricultural Research*, 2008, vol. 3, no. 4, pp. 243–251. DOI: 10.3923/ijar.2008.243.251
37. Othman O.C. Heavy metals in green vegetables and soils from vegetable gardens in Dar es Salaam, Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 2001, vol. 27, no. 1, pp. 37–48. DOI: 10.4314/tjs.v27i1.18334
38. Nazif W., Perveen S., Shah S.A. Evaluation of irrigation water for heavy metals of Akbarpura area. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2006, vol. 1, pp. 51–54.
39. Report of the thirty-ninth session of the codex committee on food hygiene. New Delhi, Joint FAO/WHO food standards programme Codex Alimentarius commission, 2008, 104 p.
40. Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd edition. *World health organization*, 2008, 668 p.
41. Kim M.H., Kim J.S., Sho Y.S., Chung S.Y., Lee J.O. Contents of toxic metals in fruits available on Korean markets. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 2004, vol. 36, no. 4, pp. 523–526.
42. Jolaoso A.O., Njoku K.L., Akinola M.O., Adeola A.A. Heavy metal analyses and nutritional composition of raw and smoked fishes from Ologe and Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 2016, vol. 20, no. 2, pp. 277–285. DOI: 10.4314/jasem.v20i2.7
43. Divrikli U., Horzum N., Soylak M., Elci L. Trace Heavy Metal Contents of Some Spices and Herbal Plants from Western Anatolia, Turkey. *International Journal of Food Science Technology*, 2006, vol. 41, no. 6, pp. 712–716. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.01140.x
44. Doherty V.F., Sogbanmu T.O., Kanife U.C., Wright C. Heavy Metals in Vegetables collected from elected Farm and Market sites in Lagos, Nigeria. *Global Advanced Research Journal of Environmental Science and Toxicology's*, 2012, vol. 1, no. 6, pp. 137–142.
45. Jabeen S., Shah M.T., Khan S., Qasim M. Determination of Major and Trace Elements in Ten Important Folk Therapeutic Plants of Haripur Basin. *Journal of medicinal plant research*, 2010, vol. 4, no. 7, pp. 559–566.
46. Khan M.A., Ahmad I., Inayat R. Effect of environmental pollution on heavy metals content of *Withania somnifera*. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 2007, vol. 54, pp. 339–343. DOI: 10.1002/jccs.200700049
47. Davies B.E. Cadmium in Heavy Metals in Soil. Glasgow, Blackie Publ., 1990, 100 p.
48. Girmaye B.R. Heavy metal and microbial contaminants of some vegetables irrigated with wastewater in selected farms around Adama town, Ethiopia. MSc. Graduate project. Haramaya, Haramaya University Publ., 2012, 12 p.
49. Kalagbor I., Diri E. Evaluation of Heavy Metals in Orange, Pineapple, Avocado Pear, and Pawpaw from a Farm in Kaani, Bori, Rivers State Nigeria. *International Research Journal of Public and Environmental Health*, 2014, vol. 1, no. 4, pp. 87–94.
50. Khan S.A., Khan L., Hussain I., Marwat K.B. Profile of Heavy Metals in Selected Medicinal Plants. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 2008, vol. 14, no. 1–2, pp. 101–110.
51. Ata S., Tayyab S., Rasool A. Analysis of Non-volatile Toxic Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Cr, and Zn) in *Allium sativum* (Garlic) and Soil Samples Collected from Different Locations of Punjab, Pakistan by Atomic Absorption Spectroscopy. *E3S Web of Conferences*, 2013, no. 16004, pp. 1–3. DOI: 10.1051/e3sconf/20130116004
52. Wierzbicka M. How lead loses its toxicity to plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1995, no. 64, pp. 81–90. DOI: 10.5586/asbp.1995.012
53. Alloway B.J., Ayres C.D. Chemical Principals of environmental pollutions, (2nd edition). London, American Society of Agronomy, 1997, pp. 545–567.
54. Tasrina R.C., Rowshon A., Mustafzur A.M.R., Rafqu I., Ali M.P. Heavy metal contamination in vegetables and its growing soil. *Environmental Analytical Chemistry*, 2015, vol. 2, no. 3, pp. 142–147. DOI: 10.4172/2380-2391.1000142
55. Singh A., Sharma R.K., Agrawal M., Marshall F. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from wastewater irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 2010, vol. 51, pp. 375–387.
56. Evaluation of certain food additives and contaminants. Geneva, World Health Organization, 2004, 109 p.
57. Huang M., Zhou S., Sun B., Zhao Q. Heavy metals in wheat grains: assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. *Science of the Total Environment*, 2008, vol. 1, no. 405 (1–3), pp. 54–61. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.004
58. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *ATSDR*. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/az/c.html> (19.02.2021).

Feseha A., Chaubey A.K., Abraha A. Heavy metal concentration in vegetables and their potential risk for human health. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 68–81. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.07.eng

Получена: 29.01.2021

Принята: 15.03.2021

Опубликована: 30.03.2021