



ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРОШАЕМЫХ ЛУГОВЫХ САЗОВЫХ ПОЧВАХ ФЕРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

¹Холдаров Д. М., ²Каримова Д. Ф. ORCID ID 0009 0008 0515 6246

¹Ферганский государственный университет, Фергана, Республика Узбекистан;

²Кокандский государственный университет, Коканд, Республика Узбекистан,
e-mail: dkrmv@gmail.com

В данной статье представлен научный анализ подвижных форм микроэлементов и закономерностей их распределения по почвенному профилю в орошаемых луговых сазовых почвах, распространенных на территории Бешарьского, Фуркатского и Дангаринского районов Ферганской области. В ходе исследования почвенные образцы отбирались по генетическим горизонтам, а содержание микроэлементов определялось с помощью атомно-абсорбционного спектрометра. Полученные результаты показали, что в исследуемых почвах преобладают подвижные формы железа и марганца. Данное явление объясняется физико-химическим состоянием почв, особенностями окислительно-восстановительных процессов, а также наличием карбонатных соединений. Установлено, что подвижность цинка и меди имеет тенденцию к снижению по профилю, что связано с уменьшением содержания органического вещества и повышением карбонатности с глубиной. Кроме того, выявлено, что в отдельных районах уровень обеспеченности почв микроэлементами является относительно высоким, тогда как на других территориях наблюдается пониженная подвижность микроэлементов, что указывает на возможный риск их дефицита. В целом установлено, что содержание подвижных форм микроэлементов зависит от степени засоленности, карбонатности, механического состава и уровня гумусированности почв. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для разработки эффективных агроэкологических рекомендаций и повышения плодородия орошаемых почв.

Ключевые слова: микроэлементы, подвижные формы, метод экстракции, луговые сазовые почвы, засоление, орошаемые почвы, Ферганская область, агроэкология, плодородие почв

MOBILE FORMS OF MICROELEMENTS AND HEAVY METALS IN IRRIGATED MEADOW SAZ SOILS OF THE FERGHANA REGION AND THEIR AGROECOLOGICAL SIGNIFICANCE

¹Khaldarov D. M., ²Karimova D. F. ORCID ID 0009 0008 0515 6246

¹Fergana State University, Fergana, Republic of Uzbekistan;

²Kokand State University, Kokand, Republic of Uzbekistan, e-mail: dkrmv@gmail.com

This article presents a scientific analysis of the mobile forms of microelements and the patterns of their distribution along the soil profile in irrigated meadow saz soils widespread in the Besharik, Furkat, and Dangara districts of the Fergana region. During the study, soil samples were collected according to genetic horizons, and the microelement content was determined using an atomic absorption spectrometer. The obtained results showed that mobile forms of iron and manganese predominate in the studied soils, which is associated with their physicochemical properties, redox conditions, and the presence of carbonate compounds. The mobility of zinc and copper exhibited a decreasing trend with soil depth, which is explained by a reduction in organic matter content and an increase in carbonate content. It was established that some areas are relatively well supplied with microelements, whereas other territories are characterized by reduced mobility of microelements, indicating a potential risk of their deficiency. In general, the content of mobile forms of microelements is determined by the degree of salinity, carbonate content, mechanical composition, and humus status of the soils. The results obtained are of significant scientific and practical importance for the development of effective agroecological recommendations and for improving the fertility of irrigated soils.

Keywords: microelements, mobile forms, extraction method, meadow saz soils, salinity, irrigated soils, Fergana region, agroecology, soil fertility

Введение

В биологии, медицине и сельском хозяйстве всестороннее изучение физиологической роли химических элементов и их влияния на жизнедеятельность организмов является одним из важных направлений исследований. Изучение влияния избытка или недостатка микроэлементов на рост и развитие растений ставит перед исследователями ряд задач.

Микроэлементы активно участвуют в окислительно-восстановительных процессах в почве, входят в состав ферментов, гормонов, витаминов, а также участвуют в формировании ДНК и РНК. Mn, Cu, Zn, Co, Mo, Fe и другие относятся к жизненно необходимым микроэлементам для живых организмов, эти элементы подвергаются процессам миграции и аккумуляции в цепи почва → растение → животный мир → организм человека.

Изучение данных вопросов в условиях орошаемых луговых сазовых почв, распространенных на территории Ферганской области, является актуальным.

Цель исследования – изучение подвижных форм микроэлементов и их агроэкологического значения в орошаемых луговых сазовых почвах, распространенных на территории Ферганской области.

Материал и методы исследования

В данной работе в условиях орошаемого земледелия были рассмотрены орошаемые луговые сазовые почвы, распространенные на территории Ферганской области (Бешарыкский, Фуркатский и Дангаринский районы), с целью изучения их агрохимических показателей и подвижных форм микроэлементов.

Анализ почв выполнялись на основе общепринятых в почвоведении методов. При химическом анализе почв использовались методики, изложенные в руководстве Ю. В. Аринушкиной «Руководство по химическому анализу почв» [1]. Валовые содержания макро- и микроэлементов определялись нейтронно-активационным методом в лаборатории «Экология и биотехнология» института ядерной физики АН РУз. Подвижные формы микроэлементов в почве анализировались в лаборатории Ферганского областного агрохимического аналитического центра по методам Кругловой и Веригиной. Для определения доступных для растений микроэлементов (Cu, Fe, Mn, Zn) и тяжелых металлов (Ni, Pb, Cd) применялась стандартная процедура ДТРА-экстракции [2].

Полученные результаты были математически и статистически обработаны по методическому пособию Б. А. Доспехова [3], а также использованы компьютерные технологии последних версий электронных таблиц, графиков и программ Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Микроэлементы являются неотъемлемой составляющей частью почвенного плодородия и играют важнейшую роль в процессах роста, развития и продуктивности сельскохозяйственных культур. Они участвуют в активации ферментов, фотосинтетических процессах, синтезе хлорофилла и белковых соединений, а также обеспечивают устойчивость растений к абиотическим стрессам [4].

Дефицит или избыток микроэлементов в почвах отрицательно отражается на физиологическом состоянии растений и формировании урожая, особенно в условиях интенсивного земледелия [5].

В орошаемых агроэкосистемах, особенно в зонах с засушливым и резко континентальным климатом, процессы вторичного засоления, карбонатизации и переувлажнения существенно изменяют миграцию и доступность микроэлементов [6].

В 1983–2020 гг. в лугово-сазовых почвах Центральной Ферганы при применении каскадных ландшафтно-геохимических методов закрытого типа были проведены исследования, в ходе которых изучена миграция микроэлементов – меди, цинка, марганца, молибдена и бора – в почвах и растениях, а также установлена высокая чувствительность почвенного покрова к антропогенному воздействию [7].

Ферганская долина является одним из наиболее важных сельскохозяйственных регионов Узбекистана, специализирующихся на производстве хлопчатника, зерновых культур и овощей. В этих условиях особую актуальность приобретает изучение обеспеченности почв микроэлементами и закономерностей их распределения в почвенном профиле. Несмотря на отдельные исследования, посвященные агрохимическим свойствам почв региона, комплексные данные о содержании именно подвижных форм микроэлементов в луговых сазовых почвах остаются недостаточно систематизированными [8].

В орошаемых лугово-сазовых почвах Центральной Ферганы по количеству поглощенных катионов и микроэлементов поглощательная способность считается низкой. Это объясняется малым содержанием гумуса и легким механическим составом исследованных почв. Среди поглощенных катионов основную долю составляют кальций и магний [9].

В связи с этим целью настоящего исследования является оценка содержания подвижных форм микроэлементов и их вертикального распределения в орошаемых луговых сазовых почвах Бешарыкского, Фуркатского и Дангаринского районов Ферганской области, а также выявление факторов, определяющих их доступность для растений. Ранее проведенные исследования показывают, что морфологические особенности и гидроаккумулятивные процессы в этих почвах существенно влияют на распределение и подвижность микроэлементов, формируя плотные арзлык-шоховые горизонты с ограниченной водопроницаемостью и биодоступностью элементов [10].

Установлено, что микроэлементы B, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn и Mo являются важными компонентами почвенного плодородия и играют ключевую роль в физиологических процессах растений, включая фотосинтез, дыхание и азотный обмен.

Элементы Fe и Mn обеспечивают протекание окислительно-восстановительных реакций, тогда как Zn и Cu участвуют в ферментативной активности и формировании устойчивости растений к стрессам.

Микроэлементы Mo и Co важны для азотного метаболизма. В то же время Cd и Pb относятся к токсичным загрязнителям и не выполняют физиологических функций в растениях, поэтому их содержание служит показателем экологического состояния почв.

Микроэлементы B, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn и Mo являются важными компонентами почвенного плодородия и играют ключевую роль в физиологических процессах растений [11]. Fe и Mn участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, тогда как Zn и Cu обеспечивают ферментативную активность и устойчивость растений к стрессовым условиям.

Cd и Pb относятся к токсичным загрязнителям и не выполняют физиологических функций в растениях, поэтому их содержание рассматривается как важный показатель экологического состояния почв [12].

Рациональное применение микроудобрений и регулярный мониторинг микроэлементного состава почв способствуют повышению продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранению экологической устойчивости агроэкосистем [13, 14].

В данном исследовании были определены подвижные формы микроэлементов в почвах Бешарыкского, Фуркатского и Дангаринского районов Ферганской области с целью оценки их агроэкологического состояния и обеспеченности сельскохозяйственных культур микроэлементами. Полученные результаты позволили выявить пространственные и профильные различия в распределении микроэлементов, обусловленные почвенно-экологическими условиями, прежде всего режимом орошения, карбонатностью, засоленностью и содержанием гумуса. Сравнение показателей между районами выполнено для обоснования необходимости дифференцированного применения микроудобрений.

Результаты анализа почв разреза № 21, отобранных на территории Бешарыкского района, показывают, что подвижные формы микроэлементов неравномерно распределены по профилю, и их содержание изменяется по определенной закономерности с увеличением глубины.

Содержание бора (B) в слое почвы 0–30 см составило 1,206 мг/кг, наибольшее значение наблюдалось по профилю. В последующих слоях (30–60 и 60–90 см) его со-

держание снизилось до 0,914 и 0,546 мг/кг соответственно, что указывает на то, что бор накапливается преимущественно в верхнем слое. В нижних слоях (90–150 см) его содержание относительно стабильно.

Содержание кадмия (Cd) очень низкое во всех слоях (0,002–0,008 мг/кг), и существенных изменений не наблюдается. Это указывает на его низкую подвижность в почвенном профиле.

Кобальт (Co) также распределен практически равномерно в диапазоне 0,04–0,08 мг/кг.

Содержание меди (Cu) составляет 0,460–0,484 мг/кг в верхних слоях, увеличиваясь до 0,812 мг/кг в слое 90–120 см. Это указывает на тенденцию к накоплению меди в нижних слоях, связанную, возможно, с карбонатами или иллювиальными процессами.

Содержание железа (Fe) относительно стабильно по всему профилю, колеблясь от 8,62 до 10,3 мг/кг. Наибольшее значение было обнаружено в слое 30–60 см (10,3 мг/кг).

Содержание свинца (Pb) составляет 0,652 мг/кг в верхнем слое, резко снижаясь с увеличением глубины и достигая 0,014 мг/кг в слое 120–150 см. Это указывает на то, что он накапливается в основном в поверхностном слое и, возможно, имеет антропогенное воздействие.

Содержание марганца (Mn), напротив, увеличивается с глубиной. Начиная с 0,96 мг/кг в верхнем слое, оно резко возрастает до 5,20 мг/кг в слое 60–90 см и остается на высоком уровне в нижних слоях. Это объясняется повышенной подвижностью восстановленных форм марганца в гидроморфных условиях.

Содержание никеля (Ni) находится в диапазоне 0,08–0,16 мг/кг и распределяется по профилю без существенных изменений.

Содержание цинка (Zn) составляет 1,750–1,622 мг/кг в верхних слоях и снижается до 0,770–0,552 мг/кг ниже 90 см, то есть в основном концентрируется в верхнем слое почвы.

Содержание молибдена (Mo) находится в диапазоне 0,12–0,31 мг/кг, при этом наибольшее значение обнаружено в слое 120–150 см. Это может быть связано с его повышенной подвижностью в карбонатных средах.

Таким образом, вертикальное распределение микроэлементов показывает, что бор, цинк и свинец накапливаются преимущественно в верхнем слое, в то время как марганец и частично медь чаще встречаются в нижних слоях. Железо и кобальт относительно стабильны в распределении вдоль профиля (табл. 1).

Таблица 1

Содержание подвижных форм микроэлементов
в почвах Бешарыкского района, мг/кг

№ разреза	Глубина, см	B	Cd	Co	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Mo
21	0–30	1,206	0,004	0,06	0,484	9,86	0,652	0,96	0,16	1,750	0,14
	30–60	0,914	0,002	0,06	0,460	10,3	0,554	0,42	0,16	1,622	0,14
	60–90	0,546	0,004	0,06	0,522	9,36	0,202	5,20	0,08	1,754	0,12
	90–120	0,634	0,008	0,04	0,812	9,5	0,246	4,42	0,08	0,770	0,16
	120–150	0,592	0,008	0,08	0,500	8,62	0,014	5,02	0,1	0,552	0,31

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Почвы Фуркатского района характеризуются значительно более низким уровнем подвижных форм микроэлементов по сравнению с другими исследованными районами. Результаты исследования, проведенного на почвенном разрезе № 15, расположенном в районе Фуркат, показали значительную дифференциацию распределения подвижных форм микроэлементов вдоль профиля.

Содержание бора (B) в слое 0–32 см почвы составляло 0,542 мг/кг, постепенно уменьшаясь в последующих слоях и снизившись до 0,406 мг/кг в слое 140–170 см. Это указывает на то, что бор накапливается преимущественно в верхнем слое.

Содержание кадмия (Cd) имеет возрастающий характер вдоль профиля, увеличиваясь с 0,008 мг/кг в слое 0–32 см до 0,020 мг/кг в слое 140–170 см. В частности, резкое увеличение наблюдается в слое 60–90 см (0,060 мг/кг), что указывает на его миграционные свойства.

Содержание кобальта (Co) находится в диапазоне 0,016–0,028 мг/кг, незначительно уменьшаясь с увеличением глубины. Это указывает на относительно стабильное распределение этого элемента в почвенном профиле.

Содержание меди (Cu) составляет 0,762 мг/кг в верхнем слое, уменьшаясь с увеличением глубины и достигая 0,108 мг/кг в слое 140–170 см. Это указывает на то, что медь в основном концентрируется в верхнем слое почвы.

Содержание железа (Fe) находится в диапазоне 7,52–9,70 мг/кг, с максимальным значением (9,70 мг/кг), наблюдаемым в слое 32–60 см. Оно резко снижается в нижнем слое, достигая 3,98 мг/кг на глубине 140–170 см.

Содержание свинца (Pb) в верхнем слое составляет 0,22 мг/кг, уменьшаясь с увеличением глубины и оставаясь на уровне 0,08 мг/кг в слоях 90–140 см. Это указывает на его накопление в поверхностном слое.

Содержание марганца (Mn) составляет 4,10 мг/кг в слое 0–32 см, увели-

чивается до 5,96 мг/кг в слое 60–90 см, а затем снова уменьшается. Это указывает на его миграцию в зависимости от условий восстановления.

Содержание никеля (Ni) уменьшается с 0,14 до 0,02 мг/кг, что означает его более высокую концентрацию в верхнем слое.

Содержание цинка (Zn) составляет 0,294 мг/кг в слое 0–32 см, увеличивается до 0,624 мг/кг в слое 32–60 см, а затем снова уменьшается. Это указывает на его максимальное накопление в среднем слое.

Содержание молибдена (Mo) находится в диапазоне 0,100–0,416 мг/кг, при этом наибольшее значение наблюдается в слое 60–90 см. Это указывает на его зависимость от карбонатной среды и гидрохимических условий.

Полученные результаты показывают, что микроэлементы обладают различными миграционными свойствами в почвенном профиле. Накопление бора, меди и свинца в верхнем слое объясняется влиянием органического вещества и антропогенных факторов. Максимальное содержание железа, цинка и марганца в средних слоях связано с их перераспределением в карбонатных и гидроморфных условиях.

Увеличение содержания кадмия с глубиной указывает на его высокую подвижность и миграцию в нижние слои в результате процессов выщелачивания.

Вертикальное распределение микроэлементов в почвах Фуркатского района тесно связано с физико-химическими свойствами почвы и гидрогеохимическими процессами, которые определяют их доступность для растений (табл. 2).

Почвы Дангаринского района отличались наиболее благоприятным микроэлементным состоянием. В почвенном разрезе № 6, расположенном в районе Дангара, было обнаружено, что подвижные формы микроэлементов распределены по глубине по-разному.

Таблица 2

Содержание подвижных форм микроэлементов
в почвах Фуркатского района, мг/кг

№ разреза	Глубина, см	B	Cd	Co	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Mo
15	0–32	0,542	0,008	0,024	0,762	7,52	0,22	4,10	0,14	0,294	0,100
	32–60	0,514	0,010	0,028	0,708	9,70	0,31	5,42	0,10	0,624	0,120
	60–90	0,520	0,060	0,024	0,226	9,36	0,11	5,96	0,06	0,528	0,416
	90–140	0,458	0,014	0,022	0,392	7,78	0,08	4,82	0,04	0,420	0,228
	140–170	0,406	0,020	0,016	0,108	3,98	0,08	3,72	0,02	0,382	0,120

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Количество бора (B) практически постоянно по всему профилю, варьируясь в диапазоне 0,326–0,356 мг/кг. Это указывает на то, что он не претерпевает значительной миграции в почвенном профиле.

Количество кадмия (Cd) находится в диапазоне 0,004–0,008 мг/кг и поддерживается на очень низком уровне во всех слоях, четкой закономерности не наблюдается.

Количество кобальта (Co) составляет 0,034 мг/кг в верхнем слое и стабилизируется на уровне 0,400 мг/кг в нижних слоях. Это указывает на относительно большее накопление этого элемента в глубоких слоях.

Количество меди (Cu) составляет 1,746 мг/кг в слое 0–38 см, и наибольшее значение наблюдается по всему профилю. С увеличением глубины содержание меди уменьшается, падая до 0,626 мг/кг в слое 70–100 см, а затем незначительно увеличивается. Это указывает на то, что медь в основном концентрируется в верхнем слое.

Содержание железа (Fe) составляет 12,6 мг/кг в верхнем слое, резко уменьшаясь с увеличением глубины и падая до 4,54 мг/кг в слое 70–100 см. В нижних слоях наблюдаются относительно стабильные значения (5,72–6,02 мг/кг).

Содержание свинца (Pb) составляет 1,09 мг/кг в верхнем слое, уменьшаясь вдоль профиля и падая до 0,18 мг/кг в слое 100–135 см. Это указывает на то, что он в основном концентрируется в верхнем слое почвы.

Содержание марганца (Mn) находится в диапазоне 3,26–3,92 мг/кг и относительно стабильно распределено по профилю без существенных изменений.

Содержание никеля (Ni) находится в диапазоне 0,14–0,18 мг/кг и не имеет существенных различий по глубине.

Содержание цинка (Zn) варьируется от 0,458 мг/кг до 0,670 мг/кг, незначительно увеличиваясь в средних слоях, а затем стабилизируется.

Содержание молибдена (Mo) находится в диапазоне 0,06–0,10 мг/кг и относительно стабильно распределено по профилю.

Полученные результаты показывают, что распределение микроэлементов в почвах Дангаринского района в основном определяется физико-химическими свойствами почвы. Высокое содержание меди, железа и свинца в верхнем слое объясняется влиянием органического вещества и антропогенных факторов. Уменьшение содержания железа с глубиной указывает на его чувствительность к окислительно-восстановительным условиям.

Увеличение содержания кобальта в нижних слоях и более высокое содержание цинка в средних слоях являются результатом их подвижности в почвенном растворе и взаимодействия с карбонатной средой.

В почвах Дангаринского района микроэлементы накапливаются преимущественно в верхнем слое, в то время как некоторые элементы стабильно распределены по всему профилю, что определяет их агроэкологическое значение (табл. 3).

Результаты исследования показали, что агрохимические свойства и содержание микроэлементов в орошаемых луговых сазовых почвах в районах Фуркат, Дангара и Бешарык Ферганской области различаются в зависимости от региона (табл. 4).

Содержание гумуса в почвах района Фуркат колеблется от 0,84 до 1,22 %, что соответствует типу низкогумусных почв. Почвенная среда щелочная (pH 7,65–8,10), а уровень засоленности находится в диапазоне 0,44–1,03 дСм/м, что соответствует слабозасоленным почвам.

В этих условиях подвижные формы микроэлементов умеренно высоки и, в частности, наблюдается относительно низкое содержание цинка. Это объясняется щелочной средой и наличием карбонатов. Относительно низкое содержание гумуса ограничивает удержание микроэлементов в комплексной форме.

Таблица 3

Содержание подвижных форм микроэлементов
в почвах Дангаринского района, мг/кг

№ разреза	Глубина, см	B	Cd	Co	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Zn	Mo
6	0–38	0,332	0,006	0,034	1,746	12,6	1,09	3,92	0,18	0,458	0,08
	38–70	0,326	0,004	0,40	1,110	8,14	0,89	3,56	0,14	0,67	0,06
	70–100	0,340	0,008	0,40	0,626	4,54	0,28	3,26	0,16	0,496	0,08
	100–135	0,356	0,004	0,40	0,704	6,02	0,18	3,52	0,16	0,584	0,10
	135–180	0,352	0,004	0,40	0,690	5,72	0,29	3,66	0,16	0,654	0,10

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 4

Агрохимические свойства орошаемых луговых сазовых почв

Район	Гумус (%)	pH	EC (dS/m)
Фуркат	0,84–1,22	7,65–8,10	0,44–1,03
Дангара	0,95–1,24	8,50–8,68	0,08–0,12
Бешарык	1,13–1,26	7,74–8,17	0,53–1,94

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Содержание гумуса в почвах района Дангара составляет 0,95–1,24 %, что немного выше, чем в Фуркате. Однако почвенная среда сильно щелочная (pH 8,50–8,68), что отрицательно влияет на растворимость микроэлементов.

Уровень солёности очень низкий (0,08–0,12 дСм/м), что означает, что почвы практически не засолены. В этих условиях, хотя содержание железа и меди относительно высокое, наблюдается низкое содержание цинка. Это связано с переходом цинка в менее растворимые формы в щелочной среде.

Содержание гумуса в почвах района Бешарык составляет 1,13–1,26 %, что выше, чем в других регионах. Почвенная среда щелочная (pH 7,74–8,17), уровень солёности находится в диапазоне 0,53–1,94 дСм/м, при этом в некоторых слоях наблюдается умеренная солёность. В этом районе обнаружено относительно высокое содержание цинка и бора, что объясняется высоким содержанием гумуса. Однако повышенная солёность может частично ограничивать усвоение микроэлементов [15].

Заключение

Результаты исследования показали, что орошаемые луговые сазовые почвы Ферганской области характеризуются низким содержанием гумуса (0,84–1,26 %), щелочной реакцией среды (pH 7,65–8,68) и различной степенью засоленности (EC

0,08–1,94 дСм/м). Установлено, что данные факторы существенно влияют на подвижность и доступность микроэлементов.

Микроэлементы распределяются по почвенному профилю неравномерно: цинк и бор преимущественно концентрируются в верхних горизонтах, железо и марганец – в средних, а в отдельных случаях медь и молибден – в нижних слоях. Среди исследованных районов наиболее высокое содержание цинка и бора отмечено в почвах Бешарыкского района, железа и меди – в Дангаринском районе, тогда как в Фуркатском районе содержание микроэлементов характеризовалось относительно умеренными показателями. Цинк был определен как лимитирующий микроэлемент для почв Фуркатского и Дангаринского районов.

Список литературы

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
2. Lindsay W. L., Norvell W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper // Soil Science Society of America Journal. 1978. Vol. 42. P. 421–428. DOI: 10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Havlin J. L., Tisdale S. L., Nelson W. L., Beaton J. D. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 8th ed. Boston: Pearson Education, 2014. 516 p.
5. Dhaliwal S. S., Naresh R. K., Mandal A. et al. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as

influenced by organic matter build-up: A review // *Environmental and Sustainability Indicators*. 2019. Vol. 1–2. Art. 100007. DOI: 10.1016/j.indic.2019.100007.

6. Shukla A. K., Behera S. K., Prakash C., Tripathi A., Patra A. K., Dwivedi B. S., Trivedi V., Rao Ch. S., Chaudhari S. K., Das S., Singh A. K. Deficiency of phyto-available sulphur, zinc, boron, iron, copper and manganese in soils of India // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Art. 19760. DOI: 10.1038/s41598-021-99040-2.

7. Холдаров Д. М., Собиров А. О. О биомикроэлементном составе засоленных почв и растений // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2021. № 4. С. 78–82. DOI: 10.17513/srbs.1247.

8. Абдурахмонов Н. Ю., Собитов У. Т., Юлдашев И. К. Свойства орошаемых лугово-сазовых почв Центральной Ферганы // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2023. № 2. С. 51–56. DOI: 10.17513/srbs.1328.

9. Neina D. The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation // *Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Vol. 2019. Art. ID 5794869. DOI: 10.1155/2019/5794869.

10. Huang Y., Chen Q., Deng M., Japenga J., Li T., Yang X., He Z. Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soils in a typical peri-urban area in southeast

China // *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 207. P. 159–168. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.10.072.

11. Rengel Z. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2015. Vol. 15. Is. 2. P. 397–409. DOI: 10.4067/S0718-95162015005000036.

12. Sarim M., Khattak S. A., Tariq M. et al. Assessment of the Ecological and Health Risks of Potentially Toxic Metals in Agricultural Soils from the Drosh-Shishi Valley, Pakistan // *Land*. 2022. Vol. 11. Is. 10. Article 1663. DOI: 10.3390/land11101663.

13. Dhaliwal S. S., Sharma V., Kaur J., Shukla A. K., Hos-sain A., Abdel-Hafez S. H., Gaber A., Sayed S., Singh V. K. The Pedospheric Variation of DTPA-Extractable Zn, Fe, Mn, Cu and Other Physicochemical Characteristics in Major Soil Orders in Existing Land Use Systems of Punjab, India // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Is. 1. Art. 29. DOI: 10.3390/su14010029.

14. Bolan N., Kunhikrishnan A., Thangarajan R. et al. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils To mobilize or to immobilize? // *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Vol. 266. P. 141–166. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.12.018.

15. Alloway B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3rd ed. Dordrecht: Springer, 2013. 614 p. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.