

## Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-6-14>

УДК 631.6.02:504.062:504.53.062.4



### ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ С ПАВОДКОВЫМИ СЕДИМЕНТАМИ НА МЕЛИОРИРОВАННЫЕ ЗЕМЛИ ПОЙМЕННОГО АГРОЛАНДШАФТА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

А.В. Ильинский<sup>1</sup>, К.Н. Евсенкин<sup>2</sup>, А.А. Павлов<sup>3</sup>✉

<sup>1,2,3</sup>Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

<sup>1</sup>ilinskiy-19@mail.ru ORCID: 0000-0002-6843-9170

<sup>2</sup>kn.evsenkin@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-0194-8552

<sup>3</sup>kupoz@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5932-1624

**Аннотация.** Цель исследований – изучение особенностей поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта в условиях техногенеза. Многолетние исследования выполнены на пахотных пойменных мелиорированных землях, расположенных вблизи г. Рязани. Сбор седиментов выполнялся по авторской методике с помощью седиментационных ловушек. Лабораторный анализ отобранных проб паводковых седиментов и аллювиальной почвы на определение содержания микроэлементов выполнен по общепринятым методикам определения химических показателей: микроэлементов бора, молибдена – фотометрическим методом; цинка, марганца, меди, кобальта – атомно-абсорбционным методом. Аллювиальная почва участка исследований характеризуется высоким содержанием бора, меди, кобальта и средним содержанием марганца, цинка, молибдена. По результатам исследований 2022-2024 гг. установлен уровень седиментной нагрузки на территорию участка (11,9-15,8 т/га). Поступление микроэлементов в пойменный агроландшафт варьирует в диапазоне: бор – 11,69-12,73 г/га; молибден – 1,07-1,54; цинк – 109,49-203,49; марганец – 640,22-1215,06; медь – 174,93-200,66; кобальт – 42,25-52,93 г/га. На основании полученных результатов эксперимента дана оценка содержания микроэлементов в седиментах и подстилающей аллювиальной почве, установлены эмпирические зависимости содержания микроэлементов в паводковых седиментах от уровня седиментной нагрузки. Полученная в ходе исследований информация об особенностях поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта необходима при изучении потоков миграции микроэлементов в агроэкосистемах пойменных мелиорированных земель. Она послужит основой при разработке высокоэффективных адаптивных мероприятий, направленных на сохранение плодородия и повышение продуктивности аллювиальной почвы сельскохозяйственных земель с использованием комплексных агро- и биомелиоративных приемов природоподобных технологий.

**Ключевые слова:** аллювиальная почва, микроэлементы, окружающая среда, паводковые седименты, пойменный агроландшафт, седиментная нагрузка, техногенез

**Формат цитирования:** Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А. Особенности поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта в условиях техногенеза // Природообустройство. 2025. № 5. С. 6-14. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-6-14>

Original article

## FEATURES OF THE INTAKE OF TRACE ELEMENTS WITH FLOOD SEDIMENTS ON RECLAIMED LANDS OF THE FLOODPLAIN AGRICULTURAL LANDSCAPE UNDER CONDITIONS OF TECHNOGENESIS

A.V. Ilyinsky, K.N. Evsenkin, A.A. Pavlov✉

<sup>1,2,3</sup> All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str, 44, building 2, Russia<sup>1</sup> ilinskiy-19@mail.ru ORCID: 0000-0002-6843-9170<sup>2</sup> kn.evsenkin@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-0194-8552<sup>3</sup> kupo@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5932-1624

**Abstract.** The aim of the research was to study the features of the influx of trace elements with flood sediments onto reclaimed lands of the floodplain agricultural landscape under technogenesis conditions. Long-term studies were carried out on arable floodplain reclaimed lands located near the city of Ryazan. Sediments were collected according to the author's method using sediment traps. Laboratory analysis of the selected samples of flood sediments and alluvial soil to determine the content of microelements was carried out according to generally accepted methods for determining chemical indicators: microelements of boron, molybdenum – by the photometric method; zinc, manganese, copper, cobalt – by the atomic absorption method. The alluvial soil of the research site is characterized by a high content of boron, copper, cobalt and an average content of manganese, zinc, molybdenum. According to the results of research in 2022-2024. The sediment load level on the site territory was established (11.9-15.8 t/ha). The input of microelements into the floodplain agricultural landscape varies in the range: boron 11.69-12.73 g/ha; molybdenum 1.07-1.54; zinc 109.49-203.49; manganese 640.22-1215.06; copper 174.93-200.66; cobalt 42.25-52.93 g/ha. Based on the obtained experimental data, the content of microelements in sediments and underlying alluvial soil was assessed, and empirical dependencies of the content of microelements in flood sediments on the level of sediment load were established. The information obtained during the research on the features of the influx of microelements with flood sediments onto reclaimed lands of the floodplain agricultural landscape is necessary when studying the migration flows of microelements in agroecosystems of floodplain reclaimed lands and will serve as a basis for developing highly effective adaptive measures aimed at maintaining fertility and increasing the productivity of alluvial soil of agricultural lands using complex agro- and bioremediation techniques of nature-like technologies.

**Keywords:** alluvial soil, trace elements, environment, flood sediments, floodplain agricultural landscape, sedimentation load, technogenesis

**Format of citation:** Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. Features of the intake of trace elements with flood sediments on reclaimed lands of the floodplain agricultural landscape under conditions of technogenesis // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 6-14. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-6-14>

**Введение.** Успешное решение задачи по повышению продуктивности длительно используемых пахотных сельскохозяйственных земель во многом зависит от обеспечения оптимального баланса макро- и микроэлементов в почве. Выращивание монокультуры способствует интенсивному выносу элементов питания растений из почвы, в том числе подвижных микроэлементов, представляющих собой незаменимую составляющую минерального питания растений [1]. Они участвуют в работе всех ферментных систем растений, в синтезе витаминов, углеводном и азотном обмене, в формировании клеточных стенок, в цветении, формировании семян и т.д. Недостаток микроэлементов вызывает аномалии в растущих тканях, снижение

продуктивности культур, увядание листьев, хлороз, торможение роста растений, а их избыток способствует развитию негативных процессов: например, угнетение процесса фотосинтеза, дыхания растений, усвоение фосфора и т.д. [2, 3]. Выращивание монокультуры без снижения урожайности и нанесения ущерба почве – трудно-выполнимая задача [4], требующая обеспечения внесения повышенных доз органических и минеральных удобрений, поддержания достаточного увлажнения и использования мероприятий по защите растений. В условиях дефицита внесения удобрений повышается риск развития деградации почвы [5-7], ухудшения фитосанитарного состояния посевов, почвоутомления, снижения буферных свойств.

Исследуемая почва пойменного агроландшафта подвержена высокому техногенному загрязнению поллютантами, в том числе тяжелыми металлами, поступающими с паводковыми седиментами [8, 9]. Длительное техногенное загрязнение агроэкосистем способно вызывать ряд негативных процессов в почве: ухудшение структуры, уменьшение общей порозности, снижение водопроницаемости и электропроводности, изменение кислотности среды и т.д. На загрязненных почвах происходит угнетение выращиваемых культур, снижение качества урожая [10-12].

Паводковые седименты представляют собой источник восполнения элементов питания [13]. Контроль и учет поступающих элементов с паводковыми седиментами в почву представляют собой важную эколого-мелиоративную задачу, позволяющую оптимизировать производственные расходы, связанные с удобрениями, способствуют обоснованию экологически сбалансированного воздействия на пойменные агроландшафты. В этой связи изучение особенностей поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта в условиях техногенеза является необходимым при обосновании высокоэффективных способов сохранения плодородия и повышения продуктивности пахотных почв пойменных агроландшафтов, основанных на комплексном применении агро- и биомелиоративных приемов с использованием органических отходов сельского хозяйства [14, 15].

**Цель исследований:** изучение особенностей поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта в условиях техногенеза.

**Материалы и методы исследований.** В статье приведены результаты исследований по изучению поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта, выполненных в 2022-2024 гг. Экспериментальные наблюдения проведены на стационарном участке пахотных мелиорированных пойменных земель площадью 200 тыс. м<sup>2</sup>, расположенном на 2 км севернее границы г. Рязани, типичном для поймы р. Оки.

Почвенный покров участка наблюдений представлен аллювиальной луговой среднесуглинистой почвой со следующими агрохимическими характеристиками:  $pH_{(КС)}$  – 6,4 ед.; органическое вещество – 3,25%; общий азот – 0,18%; подвижный фосфор – 123 мг/кг; обменный калий – 76,3 мг/кг; сумма поглощенных оснований – 18,2 ммоль/100 г.

Ряд исследователей отмечает [12, 16, 17], что центральная пойма р. Оки подвержена сильному техногенному воздействию, основными источниками загрязнения пойменной экосистемы являются промышленные и коммунальные сбросы в реку, выбросы в атмосферу от энергетического сектора, транспорта, промышленности и сельского хозяйства. По сведениям надзорных органов [18], в Рязанской области отмечается высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха и поверхностной воды в р. Оке по широкому перечню веществ. К приоритетным для агроэкосистем Рязанского региона тяжелым металлам в первую очередь относятся медь, цинк, свинец, кадмий, марганец и др. [16, 17, 19].

В основу практических исследований по изучению особенностей поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта положена авторская методика «Способ контроля поступления тяжелых металлов и мышьяка в составе седиментной нагрузки на пахотные мелиорированные земли пойменного агроландшафта» [20].

Для изучения седиментной нагрузки на исследуемой территории использовались седиментационные ловушки, состоящие из ворсистых пластиковых матов, расположенных на расстоянии 0,45 км друг от друга. Со сходом паводковых вод ловушки снимались с экспериментального участка, транспортировались в лабораторию, высушивались. Затем седименты извлекались посредством встряхивания и чистки матов, определялась масса седиментов и проводились их химико-аналитические исследования. Отбор почвенных образцов из пахотного слоя почвы осуществлялся методом конверта.

Лабораторный анализ отобранных проб паводковых седиментов и аллювиальной почвы на определение содержания микроэлементов выполнен в соответствии с общепринятыми методиками определения химических показателей: бора – по методу Бергера и Труога (ГОСТ Р 50688-94) фотометрическим методом с использованием в качестве экстрагирующего раствора горячей воды, содержащей сернокислый магний; молибдена – по методу Григга (ГОСТ Р 50689-94) фотометрическим методом с использованием экстрагирующего оксалатного буферного раствора с pH 3,3; цинка – по методу Крупского и Александровой (ГОСТ Р 50686-94) атомно-абсорбционным методом с использованием экстрагирующего ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8; марганца – по методу Пейве и Ринькиса (ГОСТ Р 50682-94)

атомно-абсорбционным методом с использованием в качестве экстрагирующего раствора 0,1 н  $H_2SO_4$ ; меди – по методу Пейве и Ринькиса (ГОСТ Р 50684-94) атомно-абсорбционным методом с использованием в качестве экстрагирующего раствора 1 н  $HCl$ ; кобальта – по методу Пейве и Ринькиса (ГОСТ Р 50687-94) экстрактно-атомно-абсорбционным методом с использованием в качестве экстрагирующего раствора 1 н  $HNO_3$ .

**Результаты и их обсуждение.** Период проведения исследований характеризовался неоднородными (по срокам и величине) паводками, уровень которых в разные годы достигал пиковых отметок 510-598 см относительно нулевой отметки гидрологического поста в г. Рязани, при этом территория исследований подвергалась полному затоплению на период 1-1,5 месяца.

На рисунке 1 представлена сравнительная оценка седиментной нагрузки на пахотные мелиорированные земли пойменного агроландшафта р. Оки в 2022-2024 гг.

Уровень седиментной нагрузки на исследуемую территорию варьировал от 11,9 до 15,8 т/га, что связано во многом с режимом уровня воды в периоды весеннего половодья. Многолетние исследования показали, что наиболее высокий уровень седиментной нагрузки на земли пойменного агроландшафта р. Оки наблюдался весной 2022 г., когда превышение среднемноголетнего значения составило 9,7%. В 2023 г. уровень седиментной нагрузки был немного ниже, чем в 2022 г., и превышение среднемноголетнего значения составило 6,7%, а 2024 г. уровень седиментной нагрузки был ниже среднемноголетнего значения на 17,4%. Сравнение среднемноголетнего

уровня седиментной нагрузки с результатами исследований других авторов на данном створе [16, 19], полученными в 1999 г. при схожем паводке, показало, что его значение было превышено на 1,5 т/га.

В таблице 1 представлены обобщенные результаты изучения содержания микроэлементов в седиментах и подстилающей аллювиальной почве.

Анализ содержания подвижных форм микроэлементов в почве обследованного пойменного агроландшафта показал, что содержание бора, меди, кобальта можно охарактеризовать как высокое, а содержание марганца, цинка, молибдена – как среднее.

Исследования показали, что в паводковом седименте зафиксировано большее в сравнении

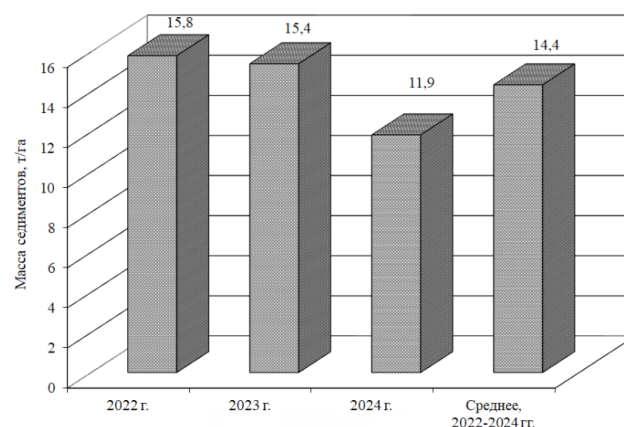


Рис. 1. Седиментная нагрузка на пахотные мелиорированные земли пойменного агроландшафта р. Оки

Fig. 1. Sedimentary load on arable reclaimed lands of the Oka River floodplain agricultural landscape

Таблица 1. Содержание микроэлементов в седиментах и подстилающей аллювиальной почве, среднее за 2022-2024 гг., мг/кг

Table 1. The content of trace elements in sediments and underlying alluvial soil, average for 2022-2024, mg/kg

Элемент Element	Содержание (диапазон/среднее значение) Content (range / average)		$\frac{C_c}{C_p}$	Накопление от содержания в почве, % Accumulation from content in soil, %
	Седименты / Sediments	Почва / Soil		
<b>Бор</b> boron	0,74-1,07 0,86	0,75-0,79 0,77	1,12	0,53
<b>Молибден</b> molybdenum	0,09-0,10 0,097	0,13-0,14 0,14	0,69	0,34
<b>Цинк</b> zinc	6,93-17,10 10,67	3,31-3,41 3,35	3,19	1,44
<b>Марганец</b> manganese	53,8-78,9 69,60	48,6-53,0 50,57	1,38	0,68
<b>Медь</b> copper	12,7-14,7 13,47	13,3-14,4 13,73	0,98	0,47
<b>Кобальт</b> cobalt	3,35-3,55 3,43	3,07-3,41 3,27	1,05	0,50



с подстиляющей аллювиальной почвой содержание следующих микроэлементов: цинка – на 218,5%; марганца – на 37,6%; бора – на 11,7%; кобальта – на 4,9%. Вместе с тем отмечается меньшее, чем в подстиляющей аллювиальной почве, содержание молибдена (на 30,7%) и меди (на 1,9%).

На основе расчета анализа доли накопления подвижных микроэлементов с паводковыми седиментами от содержания в подстиляющей аллювиальной почве (рис. 2, табл. 1) был построен эмпирический ряд накопления микроэлементов:  $Zn > Mn > B > Co > Cu > Mo$ .

Результаты изучения динамики поступления микроэлементов в агроландшафт пахотных пойменных мелиорированных земель представлены на рисунке 2.

Установлено, что по бору в сравнении со среднемноголетним значением наибольшее поступление отмечалось в 2024 г., когда превышение составило 5,3%; наименьшее поступление зафиксировано в 2022 г., когда значение его было ниже среднемноголетнего показателя на 3,3%. По молибдену в сравнении со среднемноголетним значением наибольшее поступление отмечалось в 2022 г., когда превышение составило

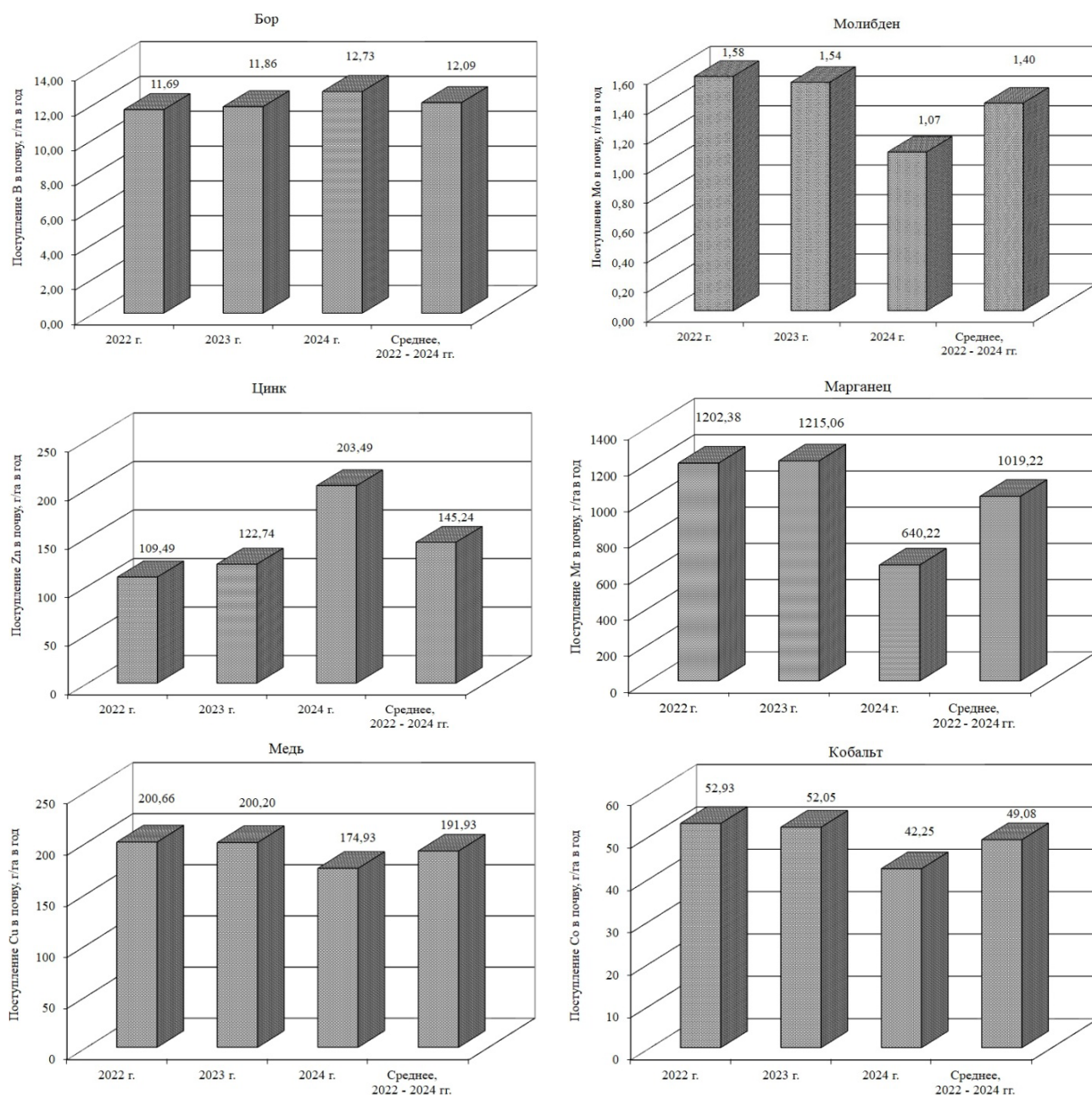


Рис. 2. Графическое представление поступления микроэлементов с паводковыми седиментами в почву пойменного агроландшафта

Fig. 2. Graphic representation of the intake of trace elements with flood sediments into the soil of the floodplain agricultural landscape

12,86%; наименьшее поступление зафиксировано в 2024 г., когда значение его было ниже среднесноголетнего показателя на 23,6%. По цинку в сравнении со среднесноголетним значением наибольшее поступление отмечалось в 2024 г., когда превышение составило 40,1%; наименьшее поступление зафиксировано в 2022 г., когда значение его было ниже среднесноголетнего показателя на 24,6%. По марганцу в сравнении со среднесноголетним значением наибольшее поступление отмечалось в 2023 г., когда превышение составило 19,2%; наименьшее поступление зафиксировано в 2024 г., когда значение его было ниже среднесноголетнего показателя на 37,2%. По меди в сравнении со среднесноголетним значением наибольшее поступление

отмечалось в 2022 г., когда превышение составило 4,55%; Наименьшее поступление зафиксировано в 2024 г., когда значение его было ниже среднесноголетнего показателя на 8,86%. По кобальту в сравнении со среднесноголетним значением наибольшее поступление отмечалось в 2022 г., когда превышение составило 7,85%; наименьшее поступление зафиксировано в 2024 г., когда значение его было ниже среднесноголетнего показателя на 13,92%.

На основании проведенных многолетних исследований получены графические представления и эмпирические зависимости содержания микроэлементов в седиментах от уровня седиментной нагрузки на пахотные земли пойменно-го агроландшафта (рис. 3, табл. 2).

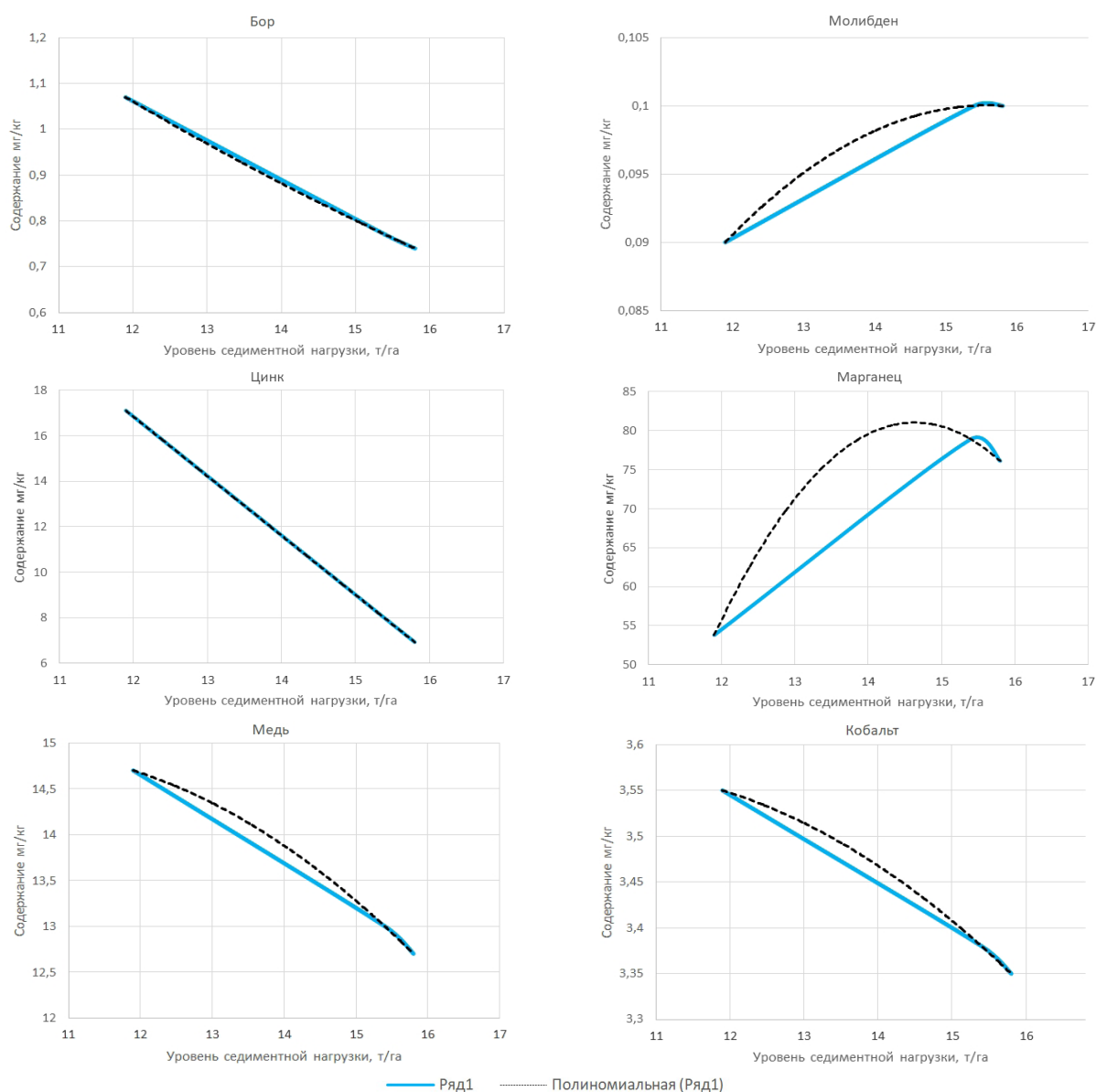


Рис. 3. Графическое представление содержания в седиментах микроэлементов в зависимости от уровня седиментной нагрузки

Fig. 3. Graphical representation of the content of trace elements in sediments depending on the level of sedimentation load

Таблица 2. Эмпирические зависимости содержания в седиментах микроэлементов в зависимости от уровня седиментной нагрузки

Table 2. Empirical dependences of the content of trace elements in sediments depending on the level of sedimentation load

№ п.п.	Элемент	Уравнение регрессии / Regression equation	R <sup>2</sup>
1	Бор / boron	$y = 0,0027x^2 - 0,1607x + 2,5935$	0,98
2	Молибден / molybdenum	$y = -0,0007x^2 + 0,0229x - 0,0783$	0,92
3	Цинк / zinc	$y = 0,0022x^2 - 2,6686x + 48,545$	1
4	Марганец / manganese	$y = -3,6337x^2 + 106,37x - 697,45$	0,85
5	Медь / copper	$y = -0,0678x^2 + 1,3643x + 8,0613$	0,97
6	Кобальт / cobalt	$y = -0,0068x^2 + 0,1364x + 2,8861$	0,98

Представленные эмпирические зависимости содержания в седименте микроэлементов от уровня седиментной нагрузки описываются уравнениями регрессии, представленными в таблице 2.

Исследования показали (рис. 2), что из представленных микроэлементов в структуре поступления с седиментами в агроландшафт пахотных пойменных мелиорированных земель на марганец приходится 71,83%, на медь – 13,53%, на цинк – 10,24%, на кобальт – 3,46%, на бор – 0,85%, на молибден – 0,1%. Эмпирический ряд поступления микроэлементов с седиментами на пойменный агроландшафт имеет следующий вид:  $Mn > Cu > Zn > Co > B > Mo$ .

### Выводы

В условиях недостаточного применения органоминеральных мелиорантов, особенно при выращивании кормовых монокультур на землях пойменного агроландшафта, паводковые седименты являются главным источником

восполнения дефицита микроэлементов, связанного с их выносом урожаем. Поступление микроэлементов варьирует в зависимости от особенностей прохождения паводка в диапазоне значений: бор – 11,69-12,73 г/га; молибден – 1,07-1,54; цинк – 109,49-203,49; марганец – 640,22-1215,06; медь – 174,93-200,66; кобальт – 42,25-52,93 г/га.

Полученная в ходе исследований информация об особенностях поступления микроэлементов с паводковыми седиментами на мелиорированные земли пойменного агроландшафта является необходимой при изучении потоков миграции микроэлементов в агроэкосистемах пойменных мелиорированных земель. Она послужит основой при разработке высокоэффективных адаптивных мероприятий, направленных на сохранение плодородия и повышение продуктивности аллювиальной почвы сельскохозяйственных земель с использованием комплексных агро- и биомелиоративных приемов природоподобных технологий.

### Список использованных источников

1. Михайлова Л.А. Агрохимия: курс лекций. В 3 ч. Ч 1. Удобрения: виды, свойства, химический состав // «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». Пермь: ИПШ «Прокрост», 2015. 426 с.
2. Мальшева Е.В. Агрохимические свойства почвы в зависимости от содержания микроэлементов в почвенных грунтах ЦЧЗ // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 46-53.
3. Сырчина Н.В. Влияние органических удобрений на содержание микроэлементов в зеленой массе кукурузы / Н.В. Сырчина, Л.В. Пилип, Т.Я. Ашихмина // Химия растительного сырья. 2024. № 1. С. 372-380. DOI: 10.14258/jcprm.20240112298. EDN: QRASQN
4. Ибиев Г.З. Устойчивое развитие отрасли растениеводства – основа продовольственной безопасности страны / Г.З. Ибиев, Н.Г. Платоновский, С.И. Чебаненко // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025. № 1. С. 18-24. DOI: 10.31442/0235-2494-2025-0-1-18-24 EDN: JCDFDA

### References

1. Mikhailova L.A. Agrochemistry: a course of lectures. In 3 parts. Part 1. Fertilizers: types, properties, chemical composition // Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education. "Perm State Agricultural Academy named after academician D.N. Pryanishnikov". Perm: IPC "Prokrost", 2015. 426 p.
2. Malysheva E.V. Agrochemical properties of soil depending on the content of microelements in soils of the Central Chernozem Region // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021. No. 5. P. 46-53.
3. Syrchina N.V. Influence of organic fertilizers on the content of microelements in the green mass of corn / N.V. Syrchina, L.V. Pilip, T.Ya. Ashikhmina // Chemistry of plant raw materials. 2024. No. 1. P. 372-380. DOI: 10.14258/jcprm.20240112298 EDN: QRASQN
4. Ibiev G.Z. Sustainable development of the crop production sector is the basis of the country's food security / G.Z. Ibiev, N.G. Platonovskiy, S.I. Chebanenko // Economy of agricultural and processing enterprises. 2025. No. 1. P. 18-24. DOI: 10.31442/0235-2494-2025-0-1-18-24 EDN: JCDFDA



5. Самарханов Т.Г. Производство в ущерб экологии: урожайность растёт, а плодородие падает // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 7. С. 21-27. DOI: 10.32651/227-21.
6. Билтуев А.С. Урожайность культур и баланс элементов питания в зернопаровом севообороте в условиях сухой степи Бурятии / А.С. Билтуев, Л.В. Будажапов, А.К. Уланов // Агрохимия. 2023. № 12. С. 85-91. DOI: 10.31857/S0002188123110030. EDN: PPPRTD
7. Айсакулова Х.Р. Влияние органических удобрений на микрофлору почвы при выращивании плодовых культур / Х.Р. Айсакулова, Л.А. Курасова, А.А. Нысанбаева, Е.В. Климов // Наука и образование. 2022. № 4-2(69). С. 92-103. DOI: 10.56339/2305-9397-2022-4-2-92-103. EDN: TKBLMN
8. Ильинский А.В. Экологическая оценка влияния седиментации на загрязнение мелиорированных земель пойменного агроландшафта тяжелыми металлами / А.В. Ильинский, К.Н. Евсенкин, А.А. Павлов // Природообустройство. 2025. № 1. С. 40-47. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-1-40-47.
9. Ilyinskiy A., Evsenkin K., Pavlov A. Examination of heavy metal input from flood sediments in agricultural landscapes // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 592. P. 06003. DOI: 10.1051/e3sconf/202459206003.
10. Кирейчева Л.В. Влияние сельскохозяйственного производства на загрязнение водных объектов / Л.В. Кирейчева, Е.А. Лентяева // Природообустройство. 2020. № 5. С. 18-26. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27. EDN: OMUCXC
11. Домрачева Л.И. Специфика растительно-микробных комплексов при антропогенном загрязнении почвы (обзор) / Л.И. Домрачева, С.Г. Скугорева, А.Л. Ковина [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 14-25. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-014-025. EDN: GWOPRX
12. Мажайский Ю.А. Мониторинг тяжёлых металлов в экосистеме малой реки Окского бассейна / Ю.А. Мажайский, Т.М. Гусева // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 54-59. EDN: ZHBHDV
13. Ильинский А.В. Паводковые седименты как источник пополнения аллювиальных почв элементами питания растений / А.В. Ильинский, К.Н. Евсенкин, А.А. Павлов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 4. С. 645-654. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654.
14. Кирейчева Л.В. Санация загрязнённых мышьяком почв с использованием комбинированного мелиоранта / Л.В. Кирейчева, А.В. Ильинский // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 4. С. 37-39. EDN: UAGXBT
15. Зубкова Т.В., Виноградов Д.В. Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помёта и применение его в технологии ярового рапса на семена / Т.В. Зубкова, Д.В. Виноградов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 46-54. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54. EDN: VOCDEV
16. Новосельцев В.Н., Бесфамильный И.Б., Кизяев Б.М., Райнин В.Е. [и др.], Техногенное загрязнение речных экосистем. Монография. М.: Научный мир, 2002. 140 с. EDN: YHKNSR
17. Мажайский Ю.А. Нейтрализация загрязнённых почв: монография. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. 528 с. EDN: QKZFYJ
5. Samarkhanov T.G. Production at the expense of the environment: crop yields are growing, but fertility is falling // Economy of Agriculture of Russia. 2022. No. 7. P. 21-27. DOI: 10.32651/227-21.
6. Biltuev A.S. Crop yield and balance of nutrients in grain-fallow crop rotation in the dry steppe of Buryatia / A.S. Biltuev, L.Z. Budazhapov V., A.K. Ulanov // Agrochemistry. 2023. No. 12. P. 85-91. DOI: 10.31857/S0002188123110030 EDN: PPPRTD
7. Aisakulova Kh.R. Influence of organic fertilizers on soil microflora when growing fruit crops / Kh.R. Aisakulova, L.A. Kurasova, A.A. Nysanbaeva, E.V. Klimov // Science and Education. 2022. No. 4-2(69). P. 92-103. DOI: 10.56339/2305-9397-2022-4-2-92-103 EDN: TKBLMN
8. Ilyinsky A.V. Environmental assessment of the effect of sedimentation on the pollution of reclaimed lands of the floodplain agricultural landscape with heavy metals / A.V. Ilyinsky, K.N. Evsenkin, A.A. Pavlov // Prirodoobustrojstvo. 2025. No. 1. P. 40-47. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-1-40-47.
9. Ilyinskiy A., Evsenkin K., Pavlov A. Examination of heavy metal input from flood sediments in agricultural landscapes // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 592. P. 06003. DOI: 10.1051/e3sconf/202459206003.
10. Kireycheva L.V. The Impact of agricultural production on pollution of water bodies / L.V. Kireycheva, E.A. Lentiyaeva // Prirodoobustrojstvo. 2020. No. 5. P. 18-26. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27 EDN: OMUCXC
11. Domracheva L.I. Specificity of plant-microbial complexes under anthropogenic soil pollution (review) / L.I. Domracheva, S.G. Skugoreva, A.L. Kovina [et al.] // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 3. P. 14-25. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-014-025 EDN: GWOPRX
12. Mazhaisky Yu.A. Monitoring of heavy metals in the ecosystem of a small river of the Oka basin / Yu.A. Mazhaisky, T.M. Guseva // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No 2. P. 54-59 EDN: ZHBHDV
13. Ilyinsky A.V. Flood sediments as a source of replenishment of alluvial soils with plant nutrients / A.V. Ilyinsky, K.N. Evsenkin, A.A. Pavlov // Agrarian Science of the Euro-North-East. 2024. Vol. 25, No. 4. P. 645-654. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654.
14. Kireycheva L.V. Remediation of Arsenic-Contaminated Soils Using a Combined Ameliorant / L.V. Kireycheva, A.V. Ilyinsky // Bulletin of Russian Agricultural Science. 2015. No. 4. P. 37-39. EDN: UAGXBT
15. Zubkova T.V. Properties of Organomineral Fertilizer Based on Chicken Manure and Its Application in Spring Seed Rapeseed Technology / T.V. Zubkova, D.V. Vinogradov // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. No. 1(53). P. 46-54. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54 EDN: VOCDEV
16. Novosel'tsev V. N., Besfamil'nyi I. B., Kizyaev B.M., Rainin V.E. Technogenic pollution of river ecosystems. Moscow: Scientific world. 2002. 140 p. EDN: YHKNSR
17. Mazhaisky Yu.A. Neutralization of contaminated soils: monograph. Ryazan: Meshchersky branch of GNU VNIIGiM of the Russian Agricultural Academy. 2008. 528 p. EDN: QKZFYJm
18. Report on the state and environmental protection in Ryazan Oblast in 2021. Committee of Natural Resources of Ryazan Oblast. Ryazan. 2021. 163 p.
19. Pylenok P.I. The influence of sedimentation on the quality of alluvial soil in the floodplain of the Oka River // Agrophysics. 2020. No 4. P. 7-13. EDN: DMANWI



18. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Рязанской области в 2021 году / Комитет природных ресурсов по Рязанской области. Рязань, 2021. 163 с.

19. Пыленок П.И. Влияние седиментации на качество аллювиальной почвы в пойме реки Ока // Агрофизика. 2020. № 4. С. 7-13. EDN: DMANWI

20. Патент на изобретение 2815978 Российская Федерация, МПК G01N33/24 (2006.01); A01G 20/20 (2018.01). Способ контроля поступления тяжелых металлов и мышьяка в составе седиментной нагрузки на пахотные мелиорированные земли пойменного агроландшафта, авторы: Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А., Голубенко М.И. Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (RU). – Заявка № 2023119944; заявл. 28.07.2023; опубл. 25.03.2024, Бюл. № 9. 11 с.: ил.

#### Об авторах

**Андрей Валерьевич Ильинский**, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-6843-9170, РИНЦ AuthorID: 331409; ilinskiy-19@mail.ru

**Константин Николаевич Евсенкин**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-0194-8552, РИНЦ AuthorID: 858186; kn.evsenkin@yandex.ru

**Артём Андреевич Павлов**, канд. биол. наук, научный сотрудник; ORCID: 0000-0001-5932-1624, РИНЦ AuthorID: 1141178; kupoz@mail.ru

#### Критерии авторства / Authorship criteria

Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 20.03.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.09.2025

Принята к публикации после рецензирования / Prinyata k publikatsii posle retsenzirovaniya 21.09.2025

20. Patent for invention 2815978 Russian Federation, IPC G01N33/24 (2006.01); A01G 20/20 (2018.01). Method for monitoring the input of heavy metals and arsenic as part of the sediment load onto arable reclaimed lands of the flood-plain agricultural landscape, authors: Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A., Golubenko M.I. Applicant and patent holder FSBSI VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (RU). Application, No. 2023119944; declared 28.07.2023; published 25.03.2024, Bulletin, No. 9, 11 p.: ill.

#### About the Authors

**Andrey V. Ilyinsky**, CSc (Agro), associate professor, leading researcher; ORCID: 0000-0002-6843-9170, RSCI AuthorID: 331409; ilinskiy-19@mail.ru

**Konstantin N. Evsenkin**, CSc (Tech), leading researcher; ORCID: 0000-0002-0194-8552, RSCI AuthorID: 858186; kn.evsenkin@yandex.ru

**Artyom A. Pavlov**, CSc (Biol), researcher; ORCID: 0000-0001-5932-1624, RSCI AuthorID: 1141178; kupoz@mail.ru

Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote a manuscript. Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.