

genetic flexibility. The Tatiana variety with a growing season of 83 days is of value for further breeding work in order to create early ripening varieties. The varieties Astana, Taimas, Tselina 50 and Shortandinskaya 2012, which formed from 1.29 to 1.53 productive stems per plant, were characterized by relatively high productive tilling capacity in drought conditions. A large and stable quantity of grains per ear over the years was noted in the varieties Kazakhstan 20, Omskaya 18, Oral, Taimas and Shortandinskaya 2017; the mass of 1000 grains – in the varieties Astana, Tauelsizdik 20, Astana 2, Karagandinskaya 22, Omskaya 35, Tselina 50 and Shortandinskaya 2007; the mass of grain per ear – in the varieties Aina, Taimas, Astana, Shortandinskaya 2017 and Darkhan den.

Key words: spring wheat, yield, ecological plasticity, stress resistance, growing season, productive tilling capacity, ear productivity.

For citation: Sayanov A. T., Babaytseva T. A., Lentochkin A. M., Savin T. V., Kairzhanov Y. K. Evaluation of spring wheat varieties as breeding material for selection in Northern Kazakhstan. The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2026; 2 (86): 11-19. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_2_11-19.

Authors:

A. T. Sayanov¹, Master of Science in Agronomy, Head of the Laboratory of Spring Soft Wheat Breeding, Postgraduate student, <https://orcid.org/0000-0001-6594-2160>;

T. A. Babaytseva^{2✉}, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-3784-0025>;

A. M. Lentochkin³, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0256-489X>;

T. V. Savin⁴, Candidate of Biological Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-3550-647X>;

Y. K. Kairzhanov⁵, Master of Science in Agronomy, Head of the Wheat Breeding Department, <https://orcid.org/0000-0002-2630-6919>

^{1,2,3}Udmurt State Agricultural University, 16 Kirova St., Izhevsk, Russia, 426033

^{1,4,5}A. I. Barayev Research and Production Centre for Grain Farming, 14/17 Barayeva St., Nauchnyi settlement, Akmol region, Republic of Kazakhstan, 021601

⁴TOO STEV AGRO, 5 Prospekt Respubliki St., Astana, Republic of Kazakhstan, Z10H5E2

²taan62@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 24.11.2025; одобрена после рецензирования 30.03.2026; принята к публикации 05.06.2026.

The article was submitted 24.11.2025; approved after reviewing 30.03.2026; accepted for publication 05.06.2026.

Научная статья

УДК 631.453(470.333)

DOI 10.48012/1817-5457_2026_2_19-25

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ Р. ДЕСНА

Чекин Геннадий Владимирович, Силаев Андрей Леонидович[✉]

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянск, Россия

kafear@bgsha.com

Аннотация. Целью настоящего исследования является изучение особенностей накопления тяжелых металлов в системе почва–растение на примере пойменных экосистем р. Десна (Брянская область). В работе проанализировано 55 растительных образцов, представляющих злаковые и остро-осоковые сообщества. Содержание элементов определяли атомно-абсорбционным методом после микроволнового разложения проб, зольность – методом сухого озоления. Для оценки степени накопления использовали коэффициенты биологического поглощения и накопления, а также проводили корреляционный анализ по Спирмену. Статистическая обработка данных выполнена с применением программ Statistica и MS Excel. Установлено, что распределение содержания элементов в растениях

не подчиняется закону нормального распределения, что обусловило использование медианных значений для анализа. По медианному содержанию в золе элементы образуют ряд: $Ni > As > Pb > Cr > Cd$. Превышения максимально допустимых уровней тяжелых металлов в сухой массе растений не выявлено. Для кадмия обнаружена значимая отрицательная корреляция с $pH(KCl)$, для мышьяка – положительная с содержанием органического вещества в почве. Коэффициенты биологического поглощения и накопления для всех элементов отличались очень высокой вариабельностью. Для кадмия и никеля отмечено сильное накопление, несмотря на их традиционное отнесение к группе слабого захвата. Различия в рядах коэффициентов биологического поглощения и накопления объясняются особенностями расчета и теоретическим несовершенством коэффициентов. Результаты исследования свидетельствуют о сложной динамике миграции и аккумуляции тяжелых металлов в пойменных экосистемах, отсутствии критического загрязнения кормовых растений и соответствуют ранее опубликованным данным для пойменной растительности других рек региона.

Ключевые слова: аллювиальные почвы, тяжелые металлы, естественный травостой, коэффициент накопления.

Для цитирования: Чекин Г. В., Силаев А. Л. Накопление тяжелых металлов в системе почва-растение в условиях пойменных экосистем р. Десна // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 2(86). С. 19-25. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_2_19-25.

Актуальность. Развитие промышленности, транспорта и агропромышленного комплекса сопровождается усилением антропогенного воздействия на окружающую среду. Особое внимание привлекает загрязнение пойм рек, особенно почвы и растительности, которые активно аккумулируют тяжелые металлы, мигрирующие с территорий водосбора. Эта территория служит индикатором происходящих геоэкологических изменений в пределах речной системы. Флора обладает способностью селективно абсорбировать и концентрировать разные элементы, что обуславливает необходимость анализа минерального состава растительного покрова. Мониторинг экологической ситуации на пойме позволяет выявить происхождение и динамику накопления тяжелых металлов в биогеоценозах. Несмотря на ограниченные площади, луговые пойменные биогеоценозы занимают ключевое положение в обеспечении кормовых ресурсов животноводства, что является важным аспектом продовольственной безопасности страны [9].

Цель исследования – изучение накопления тяжелых металлов в системе почва-растение в условиях пойменных экосистем р. Десна.

Объекты и методы. Исследования проводили на пойме р. Десна в пределах Брянской области (рис. 1). Отбор растительных образцов выполнен методом рамки. Привязку объектов осуществляли с помощью GPS-приемника.

На рассматриваемых ключевых участках отмечены злаковые растительные сообщества с примесью лугового разнотравья (53 участка) и остроосиковые растительные сообщества (2 участка). Хозяйственно ценные растения, образующие злаковые растительные сообщества, в основном представлены мятликом луговым (*Poa pratensis*), тимофеевкой луговой (*Phleum pratense*), лисохвостом луговым (*Alopecurus*

pratensis), овсяницей луговой (*Festuca pratensis*). Примесь лугового разнотравья представлена тысячелистником обыкновенным (*Achillea millefolium*), лютиком едким (*Ranunculus acris*), таволгой вязолистной (*Filipendula ulmaria*), щавелем конским (*Rumex confertus*), дербенником иволистный (*Lythrum salicaria*) и др.

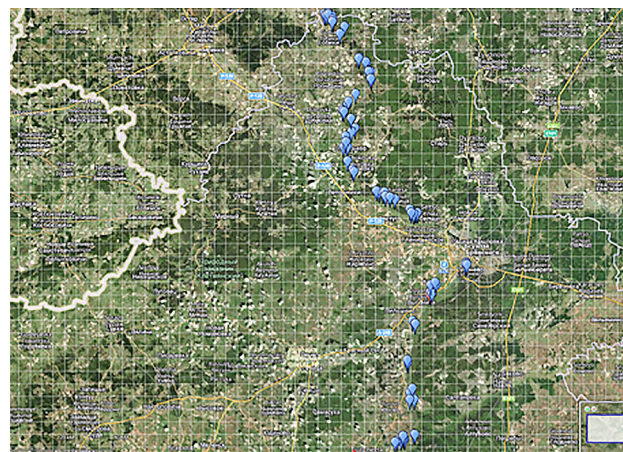


Рисунок 1 – Ключевые почвенные участки

Содержание элементов определяли атомно-абсорбционным методом после предварительного разложения пробы растений концентрированной азотной кислотой в системе микроволновой подготовки Mars 6. Зольность растений определяли методом сухого озоления. Всего проанализировано 55 образцов. Статистическую обработку результатов выполняли с помощью программ Statistica и MS Excel. При расчете коэффициента вариации принимали следующее: 0-10 % – низкая вариабельность; 10-20 % – средняя вариабельность; 20-30 % – высокая вариабельность; >30 % – очень высокая вариабельность. Нормальность распределения данных проверяли тестом Шапиро – Уилка. В случае несоответствия закону

нормального распределения для статистической обработки использовали непараметрические методы. Степень накопления элементов растениями оценивали: по коэффициенту биологического поглощения (КБП), который представляет собой отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию в почве; коэффициенту накопления (Кн), который рассчитывается как отношение содержания элемента в золе растений к содержанию подвижной формы элемента в почве.

Результаты исследования и их обсуждение. Проверка распределения данных показала, что они не подчиняются закону нормального распределения. Исходя из этого для обсуждения закономерностей корректнее использовать медианное значение вместо среднего.

Содержание элементов в исследуемых почвах (валовое и подвижные формы) нами обсуждалось ранее [10].

Результаты определения содержания тяжелых металлов в пересчете на золу, а также коэффициенты биологического поглощения и накопления травостоем пойменных экосистем представлены в таблице 1.

Медианное значение зольности рассматриваемых проб растений составило 7,43 %, минимальное – 3,24 %, максимальное – 12,61 %, при коэффициенте вариации 23,8 %, что соответствует высокой вариабельности. При этом значение эксцесса больше нуля (0,3), что говорит о преимущественном наличии средних значений в выборке, при этом асимметрия распределения положительная умеренная (0,41). Медианное содержание никеля в золе составляет 8,98 мг/кг при коэффициенте вариации 52,1 %, что соответствует очень высокой вариабельности. Корреляционный анализ по Спирмену (табл. 2) не выявил взаимосвязи между содержанием никеля в золе растений и такими показателями, как содержание физической глины, pH(KCl) и содержание органического

вещества, как правило, влияющими на доступность элемента для растений, а значит, и его накопление.

Медианное значение коэффициента биологического поглощения (КБП) никеля составляет 1,09, соответственно, по Б. Б. Полыванову и А. И. Перельману, данный элемент относится к группе слабого накопления и среднего захвата, но в то же время для показателя отмечена очень высокая вариабельность – 74,1 %.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции по Спирмену между некоторыми показателями аллювиальных почв и содержанием тяжелых металлов в золе растений пойменных экосистем р. Десна*

Показатель	Металлы				
	Ni	Cd	Pb	As	Cr
Содержание физической глины, %	-0,20	-0,03	-0,04	0,33	0,02
pH(KCl)	-0,29	-0,46	-0,22	-0,16	-0,17
Сорг, %	-0,14	-0,07	0,15	0,36	0,07

Примечание: * – значимые величины корреляции выделены жирным шрифтом.

Медианное значение коэффициента биологического накопления (Кн) составило для никеля 11,98 при CV = 97,9 %, что примерно в 11 раз больше значения КБП. При этом содержание никеля в сухой массе растений не превысило временный максимально-допустимый уровень (МДУ) [2]. В настоящее время показано, что никель, традиционно считавшийся металлом-загрязнителем, выполняет значимые биохимические функции в растениях, входя в состав ряда ферментов [5, 16]. А. П. Дегтярев, предлагая новый подход к решению проблемы интерпретации поведения элементов в системе почва-растение, относит никель к биохимически нейтральным элементам, вкладывая в это понятие «элементы, которые не концентрируются и не элиминируются специальными механизмами, а полностью опреде-

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в золе растений, коэффициенты биологического поглощения (КБП) и накопления (Кн) травостоем пойменных экосистем р. Десна*

Показатель	Металлы				
	Ni	Cd	Pb	As	Cr
Содержание в золе, мг/кг	<u>2,56-31,94</u> 8,98	<u>0,04-5,57</u> 0,55	<u>0,31-5,52</u> 1,30	<u>0,05-6,32</u> 1,63	<u>0,06-6,27</u> 0,60
КБП	<u>0,14-5,37</u> 1,09	<u>0,17-77,87</u> 5,28	<u>0,02-0,66</u> 0,15	<u>0,02-11,87</u> 1,02	<u><0,01-0,19</u> 0,02
Кн	<u>1,27-109,50</u> 11,98	<u>0,24-78,42</u> 6,83	<u>0,03-8,18</u> 1,50	–	<u>0,04-18,45</u> 0,57

Примечание: *числитель – минимальное и максимальное значение; знаменатель – медиана.

ляются диффузией или механическим захватом из окружающей среды» [3].

Медианное содержание кадмия в золе составляет 0,55 мг/кг, коэффициент вариации 122,2 %, что говорит об очень сильной вариабельности показателя. Отмечена значимая отрицательная корреляция между содержанием кадмия в золе растений и pH(KCl). При этом не отмечено превышение МДУ по кадмию в сухой массе растений. Медианное значение КБП кадмия – 5,28 при CV = 136,8 %; по Б. Б. Польшванову, А. И. Перельману, данный элемент относится к группе слабого накопления и слабого захвата, однако в нашем случае отмечено сильное накопление. Медианное значение Кн для кадмия составляет 6,83 при CV = 121,6 %. Отношение Кн к КБП составляет 1,3, что может указывать за защитную реакцию растений. По А. П. Дегтяреву, кадмий относится к общеядовитым элементам, его биохимическая значимость значительно ниже 1. Положительная биологическая роль кадмия для растений не установлена [12].

Медианное содержание свинца в золе растений составило 1,30 мг/кг при очень высокой вариабельности (CV = 64,6 %). При этом не отмечено превышение МДУ по содержанию свинца в сухой массе растений. Корреляционный анализ по Спирмену не выявил значимых зависимостей содержания свинца в золе растений от содержания физической глины, pH(KCl) и содержания органического вещества, хотя другими авторами показано влияние органического вещества [4], гранулометрии и pH [17].

Медианное значение КБП свинца составляет 0,15 при CV = 80,4 %, что соответствует группе элементов слабого накопления и очень слабого захвата. Медианное значение Кн равно 1,50 (CV = 86,0 %). Оба показателя очень сильно варьируют. Отношение Кн к КБП составляет 10, что, как и в случае с кадмием, может указывать на наличие в растениях механизмов, препятствующих поглощению данного элемента. По А. П. Дегтяреву, свинец относится к биохимически нейтральным элементам. Положительная биологическая роль свинца остается неустановленной [1, 6, 7].

Медианное содержание мышьяка в золе растений составляет 1,63 мг/кг при очень высоком варьировании показателя (CV = 67,7 %). Превышений МДУ в сухой массе растений при этом не отмечено. Корреляционный анализ по Спирмену показал наличие значимой корреляции между содержанием мышьяка в золе растений и содержанием органического вещества в почве. Это же отмечают и другие исследователи [18].

Медианное значение КБП для мышьяка составило 1,02 при очень высокой вариабельности показателя (CV = 121,7%). По Б. Б. Польшванову, А. И. Перельману, данный элемент относится к группе слабого накопления и среднего захвата, что согласуется с медианным значением полученного показателя. Однако в отдельных случаях отмечено сильное накопление. По А. П. Дегтяреву, мышьяк относится к общеядовитым элементам, его биохимическая значимость значительно ниже 1. Положительная биохимическая роль мышьяка для растений не установлена [12, 14].

Медианное содержание хрома в золе растений составило 0,60 мг/кг при очень сильном варьировании показателя (CV = 119,5 %). Превышений МДУ по содержанию хрома в сухом веществе растений не установлено. Корреляционный анализ по Спирмену не выявил значимых зависимостей содержания хрома в золе растений от содержания физической глины, pH(KCl) и содержания органического вещества, хотя другими авторами отмечено влияние этих и других показателей на биодоступность хрома [11, 19].

Медианное значение КБП хрома составляет 0,02 при очень сильном варьировании показателя (CV = 134 %). Элемент, по Б. Б. Польшванову, А. И. Перельману, относится к группе слабого накопления и очень слабого захвата. Медианное значение Кн равно 0,57, CV = 195,5 %, очень сильное варьирование. Отношение Кн к КБП составляет 28,5, что может говорить о наличии у растений механизмов, блокирующих избыточное поступление хрома. По А. П. Дегтяреву, хром близок к линии единичной биофильности, но расположен все же ниже ее. Вопрос о необходимости хрома для растительных организмов в настоящий момент остается открытым [15].

По медианному содержанию элементов в золе растений можно выстроить следующий убывающий ряд: Ni>As>Pb>Cr>Cd, что хорошо согласуется с данными для пойменной растительности других рек региона и объясняется сходными условиями [16]. Медианные значения КБП дают следующий убывающий ряд: Cd>As>Ni>Pb>Cr, при этом медианные значения Кн дают абсолютно иной убывающий ряд: Ni>Cd>Pb>Cr. Подобный результат может быть объяснен особенностями расчета и теоретическим несовершенством самих коэффициентов [3].

Заключение. Содержание тяжелых металлов в золе пойменных растений р. Десна варьирует в широких пределах и составляет убывающий ряд Ni>As>Pb>Cr>Cd, что хорошо согласуется с данными для пойменной растительности

других рек региона. При этом превышений рекомендованных значений МДУ тяжелых металлов в сухой массе растений не выявлено. Установлена значимая корреляционная связь между содержанием кадмия в золе растений и pH(KCl), а также между содержанием мышьяка в золе растений и содержанием органического вещества в почве. Коэффициенты биологического поглощения для всех элементов варьируют в широких пределах, составляя убывающий ряд $Cd > As > Ni > Pb > Cr$. Отмечено сильное накопление кадмия. Коэффициенты биологического накопления также варьируют в широких пределах, составляя убывающий ряд $Ni > Cd > Pb > Cr$.

Список источников

1. Влияние свинца на живые организмы / А. Ф. Титов [и др.] // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81, № 2. С. 147-160. DOI 10.31857/S0044459620020086.
2. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках (утв. Главным управлением ветеринарии Государственного агропромышленного комитета СССР 7 августа 1987 г.).
3. Дегтярев А. П. Коэффициенты биологического накопления как основа биохимической классификации химических элементов // Биосфера. 2024. Т. 16, № 1. С. 5-19. DOI 10.24855/biosfera.v16i1.882.
4. Ефремова М. А., Крыпин Д. Д., Пинаева А. С. Влияние органического вещества на подвижность свинца в системе почва-люцерна // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2025. № 4(82). С. 9-18. DOI 10.24411/2078-1318-2025-4-9-18.
5. Иванищев В. В. Никель в окружающей среде и его влияние на растения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 2. С. 38-53.
6. Побилат А. Е., Волошин Е. И. Микроэлементы в сельскохозяйственных растениях (обзор) // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22, № 3. С. 3-14. DOI 10.19112/2413-6174-2021-22-3-3-14.
7. Реут А. А., Бекшенева Л. Ф. Токсиканты I класса опасности в декоративных травянистых многолетниках // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 132-144. EDN PIUPRW.
8. Силаев А. Л., Чекин Г. В., Смольский Е. В. Содержание химических элементов в естественном травостое пойменных лугов // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2024. Т. 20, № 1. С. 167-173.
9. Управление продуктивностью естественных кормовых угодий / А. Л. Силаев [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 1(101). С. 3-8.
10. Чекин Г. В., Нечаев М. М. Некоторые особенности содержания тяжелых металлов в аллювиальных почвах р. Десны // Бюллетень Почвенного институт
11. та им. В. В. Докучаева. 2026. № 127. С. 243-265. DOI 10.19047/0136-1694-2026-127-243-265.
11. Ao M, et al. Chromium biogeochemical behaviour in soil-plant systems and remediation strategies: a critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 2022;424:127233. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127233.
12. Goncharuk EA, Zagorskina NV. Heavy metals, their phytotoxicity, and the role of phenolic antioxidants in plant stress responses with focus on cadmium: review. *Molecules*. 2023;28(9):3921. DOI: 10.3390/molecules28093921.
13. Gupta A, et al. Consequences of arsenic contamination on plants and mycoremediation-mediated arsenic stress tolerance for sustainable agriculture. *Plants*. 2022; 11(23):3220. DOI: 10.3390/plants11233220.
14. Parwez R, et al. Melatonin supplementation combats nickel-induced phytotoxicity in *Trigonella foenum-graecum* L. plants through metal accumulation reduction, upregulation of NO generation, antioxidant defence machinery and secondary metabolites. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023;202:107981. DOI: 10.1016/j.plaphy.2023.107981.
15. Sharma A, et al. Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: an overview. *Plants*. 2020;9(1):100. DOI: 10.3390/plants9010100.
16. Singh N, Pathak GC. Arsenic toxicity in plants. *Journal of Applied Bioscience*. 2024;50(2):88-94.
17. Singh SB, Srivastava PK. Bioavailability of arsenic in agricultural soils under the influence of different soil properties. *SN Applied Sciences*. 2020;2(2):1-16. DOI: 10.1007/s42452-019-1932-z.
18. Ur Rahman S, et al. Pb uptake, accumulation, and translocation in plants: Plant physiological, biochemical, and molecular response: A review. *Heliyon*. 2024 Mar 7;10(6):e27724. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27724.
19. Zulfiqar U, et al. Chromium toxicity, speciation, and remediation strategies in soil-plant interface: a critical review. *Frontiers in Plant Science*. 2023;13. DOI: 10.3389/fpls.2022.1081624.

References

1. Vliyanie svincza na zhivy'e organizmy` / A. F. Titov [i dr.] // Zhurnal obshhej biologii. 2020. T. 81, № 2. S. 147-160. DOI 10.31857/S0044459620020086.
2. Vremenny`j maksimal'no dopustimy`j uroven` (MDU) soderzhaniya nekotory`x ximicheskix e`lementov i gossipola v kormax dlya sel'skoxozajstvenny`x zhivotny`x i kormovy`x dobavkax (utv. Glavny`m upravleniem veterinarii Gosudarstvennogo agropromy`shlennogo komiteta SSSR 7 avgusta 1987 g.).
3. Degtyarev A. P. Koe`fficienty` biologicheskogo nakopleniya kak osnova bioximicheskoy klassifikacii ximicheskix e`lementov // Biosfera. 2024. T. 16, № 1. S. 5-19. DOI 10.24855/biosfera.v16i1.882.
4. Efremova M. A., Kry`pin D. D., Pinaeva A. S. Vliyanie organicheskogo veshhestva na podvizhnost` svincza v sisteme pochva-lyucerna // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025. № 4(82). S. 9-18. DOI 10.24411/2078-1318-2025-4-9-18.

5. Ivanishhev V. V. Nikel` v okruzhayushhej srede i ego vliyanie na rasteniya // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2021. № 2. S. 38-53.
6. Pobilat A. E., Voloshin E. I. Mikroelementy` v sel'skoxozyajstvenny`x rasteniyax (obzor) // Mikroelementy` v medicine. 2021. T. 22, № 3. S. 3-14. DOI 10.19112/2413-6174-2021-22-3-3-14.
7. Reut A. A., Beksheneva L. F. Toksikanty` I klassa opasnosti v dekorativny`x travyanisty`x mnogoletnikax // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2022. № 1(29). S. 132-144. EDN PIUPRW.
8. Silaev A. L., Chekin G. V., Smol'skij E. V. Soderzhanie ximicheskix elementov v estestvennom travostoe pojmeny`x lugov // E'kologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza. 2024. T. 20, № 1. S. 167-173.
9. Upravlenie produktivnost`yu estestvenny`x kormovy`x ugodij / A. L. Silaev [i dr.] // Vestnik Bryanskoy GSXA. 2024. № 1(101). S. 3-8.
10. Chekin G. V., Nechaev M. M. Nekotory`e osobennosti soderzhaniya tyazhely`x metallov v allyuvial`ny`x pochvax r. Desny` // Byulleten` Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2026. № 127. S. 243-265. DOI 10.19047/0136-1694-2026-127-243-265.
11. Ao M, et al. Chromium biogeochemical behaviour in soil-plant systems and remediation strategies: a critical review. Journal of Hazardous Materials. 2022;424:127233. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127233.
12. Goncharuk EA, Zagorskina NV. Heavy metals, their phytotoxicity, and the role of phenolic antioxidants in plant stress responses with focus on cadmium: review. Molecules. 2023;28(9):3921. DOI: 10.3390/molecules28093921.
13. Gupta A, et al. Consequences of arsenic contamination on plants and mycoremediation-mediated arsenic stress tolerance for sustainable agriculture. Plants. 2022; 11(23): 3220. DOI: 10.3390/plants11233220.
14. Parwez R, et al. Melatonin supplementation combats nickel-induced phytotoxicity in Trigonella foenum-graecum L. plants through metal accumulation reduction, upregulation of NO generation, antioxidant defence machinery and secondary metabolites. Plant Physiology and Biochemistry. 2023;202:107981. DOI: 10.1016/j.plaphy.2023.107981.
15. Sharma A, et al. Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: an overview. Plants. 2020;9(1):100. DOI: 10.3390/plants9010100.
16. Singh N, Pathak GC. Arsenic toxicity in plants. Journal of Applied Bioscience. 2024;50(2):88-94.
17. Singh SB, Srivastava PK. Bioavailability of arsenic in agricultural soils under the influence of different soil properties. SN Applied Sciences. 2020;2(2):1-16. DOI: 10.1007/s42452-019-1932-z.
18. Ur Rahman S, et al. Pb uptake, accumulation, and translocation in plants: Plant physiological, biochemical, and molecular response: A review. Heliyon. 2024 Mar 7;10(6):e27724. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27724.
19. Zulfikar U, et al. Chromium toxicity, speciation, and remediation strategies in soil-plant interface: a critical review. Frontiers in Plant Science. 2023;13. DOI: 10.3389/fpls.2022.1081624.

Сведения об авторах:

Г. В. Чекин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-9252-2193>;

А. Л. Силаев✉, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7837-4254>

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 243365, Россия, Брянская область, с. Кокино, ул. Советская, 2а

kafeap@bgsha.com

Original article

HEAVY METAL ACCUMULATION IN THE SOIL-PLANT SYSTEM UNDER THE CONDITIONS OF FLOODPLAIN ECOSYSTEMS OF THE DESNA RIVER

Gennady V. Chekin, Andrey L. Silaev✉

Bryansk State Agrarian University, Kokino, Russia

kafeap@bgsha.com

Abstract. The research purpose is to investigate the accumulation of heavy metals in the soil-plant system by the example of floodplain ecosystems of the Desna River (Bryansk Oblast). The study analyzed 55 plant samples of grass and slender tufted-sedge communities. The content of elements was determined by atomic absorption spectroscopy after microwave digestion of samples, and ash content was determined by the dry ashing technique. The accumulation rate was assessed using the coefficients of biological absorption and accumulation as well as the Spearman's rank correlation analysis. Statistical data processing was performed using Statistica and MS Excel. It has been found that the distribution of elements content in plants does not follow the normal distribution law, which necessitated the use of median values for analysis. Based on median content in ash, the elements form the following series: Ni>As>Pb>Cr>Cd. No excesses of maximum permissible levels (MPLs) of heavy metals in plant dry matter were detected. Cadmium showed a significant negative correlation with pH (KCl), while arsenic showed a positive correlation with soil organic matter content. Biological absorption and accumulation coefficients for all

elements were highly variable. Heavy accumulation was noted for cadmium and nickel, despite their traditional classification as weak uptake. Differences in the series of biological absorption and accumulation coefficients are explained by calculation specifics and theoretical imperfections of the coefficients. The study results indicate complex dynamics of heavy metal migration and accumulation in floodplain ecosystems, the absence of critical contamination of forage plants, and are in accord with previously published data for floodplain vegetation of other rivers in the region.

Key words: alluvial soils, heavy metals, natural grass stand, accumulation coefficient.

For citation: Chekin G. V., Silaev A. L. Heavy metal accumulation in the soil-plant system under the conditions of floodplain ecosystems of the Desna River. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2026; 2 (86): 19-25. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2026_2_19-25.

Authors:

G. V. Chekin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-9252-2193>;

A. L. Silaev[✉], Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7837-4254>

Bryansk State Agrarian University, 2a Sovetskaya St., Kokino, Russia, 243365

kafeap@bgsha.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 25.03.2026; одобрена после рецензирования 12.05.2026;

принята к публикации 05.06.2026.

The article was submitted 25.03.2026; approved after reviewing 12.05.2026; accepted for publication 05.06.2026.