

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2026-127-243-265



Ссылки для цитирования:

Чекин Г.В., Нечаев М.М. Некоторые особенности содержания тяжелых металлов в аллювиальных почвах р. Десны // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2026. Вып. 127. С. 243-265. DOI: 10.19047/0136-1694-2026-127-243-265

Cite this article as:

Chekin G.V., Nechaev M.M., Some features of trace element content in alluvial soils of the Desna River, Dokuchaev Soil Bulletin, 2026, V. 127, pp. 243-265, DOI: 10.19047/0136-1694-2026-127-243-265

Некоторые особенности содержания тяжелых металлов в аллювиальных почвах р. Десны

© 2026 г. Г. В. Чекин*, М. М. Нечаев

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ,
243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, Советская, 2а,
*e-mail: gb-swamp@yandex.ru.

Поступила в редакцию 27.04.2025, после доработки 05.06.2025,
принята к публикации 27.01.2026

Резюме: Представлены результаты исследования валового содержания и содержания подвижных форм Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Cr. Исследования проводили на территории Брянской области, Россия, в ландшафтах поймы реки Десны. Отбор почвенных образцов проводили методом почвенных ключей (92 почвенных разреза). Показана высокая вариабельность валового содержания и подвижных форм Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Cr в аллювиальных почвах р. Десны. Установлено наличие корреляционной связи между валовым содержанием тяжелых металлов в почве и ее гранулометрическим составом. По величине кларка концентрации элементы сгруппированы в убывающий ряд: Cu > Pb > Zn > Co > Ni > Cr > Cd, аналогичный для аллювиальных почв других рек региона. Составлен геохимический индекс пойменных почв р. Десны, который позволяет судить о потенциальном запасе тяжелых металлов. Установлен ряд подвижности тяжелых металлов: Cd > Ni > Pb > Zn > Cu > Co > Cr, аналогичный почвам другого генезиса. Установлено наличие корреляционной связи между содержанием подвижных форм Cd, Cu, Ni и Co и содержанием физической глины в почве. Показана степень

обеспеченности Zn, Cu и Co пойменных почв реки Десны. Отмечена необходимость в дополнительном их количестве при выращивании сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: аллювиальные почвы; тяжелые металлы; кларк концентрации.

Some features of trace element content in alluvial soils of the Desna River

© 2026 G. V. Chekin*, M. M. Nechaev

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Bryansk State Agrarian University,
2a Sovetskaya Str., Kokino Village 243365, Vygonichsky District,
Bryansk Region, Russian Federation,
e-mail: gb-swamp@yandex.ru.

Received 27.04.2025, Revised 05.06.2025, Accepted 27.01.2026

Abstract: The results of the study of the total amount and mobile forms of Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co and Cr are presented. The studies were conducted in the Bryansk Region, Russia, in the landscapes of the Desna River floodplain. Soil samples were collected using the soil key method (92 soil pits). High variability of gross amount and mobile forms of cadmium, lead, zinc, copper, nickel, cobalt and chromium in alluvial soils of the Desna River is shown. The presence of a correlation between the gross content of trace elements in the soil and its granulometric composition is established. According to the concentration clarke value, the elements are grouped in a descending series: Cu > Pb > Zn > Co > Ni > Cr > Cd, similar to that in alluvial soils of other rivers in the region. A geochemical index of floodplain soils of the Desna River has been compiled, which allows one to judge the potential reserve of trace elements. The mobility series of trace elements Cd > Ni > Pb > Zn > Cu > Co > Cr has been established, similar to that in soils of a different genesis. A correlation has been established between the content of the mobile form of cadmium, copper, nickel and cobalt and the content of physical clay in the soil. The degree of zinc, copper and cobalt supply of floodplain soils of the Desna River is shown. The need for their additional amount when growing agricultural products is noted.

Keywords: alluvial soils; trace elements; concentration clarke.

ВВЕДЕНИЕ

Пойма как элемент ландшафта, образовавшись в результате

деятельности реки, отличается крайней неоднородностью структуры, обусловленной русловыми процессами. Это в свою очередь приводит к формированию специфичных аллювиальных почв, развивающихся в условиях периодического затопления. Являясь своеобразным геохимическим аккумулятором в силу генезиса и положения в рельефе, эти почвы могут накапливать широкий спектр веществ как естественного, так и антропогенного происхождения, которые переносятся либо в растворенной форме с водными потоками, либо со взвешенными частицами (Балабко и др., 2016; Просянных, 2012; Izquierdo et al., 2013; Kałmykow-Piwińska et al., 2020).

Целью данной работы является составление представления о валовом содержании некоторых тяжелых металлов в аллювиальных почвах реки Десны, их подвижности и взаимосвязи с гранулометрическим составом, а также обеспеченности растений биофильными элементами. Данные вопросы приобретают все большую актуальность в связи с растущим антропогенным давлением на пойменные ландшафты, включая вовлечение их в сельскохозяйственное производство.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории Брянской области (Россия), в ландшафтах поймы реки Десны (рис. 1). Каждая точка пробоотбора (ключевой почвенный участок) представляет собой полнопрофильный почвенный разрез и четыре полуямы для уточнения варьирования границ горизонтов. Всего заложено 92 почвенных разреза. Образцы отбирались со стенок разрезов по генетическим горизонтам, перемешивались и усреднялись методом квартования. Отобранные образцы высушивались в естественных условиях и измельчались для проведения дальнейших анализов.

В образцах определяли следующие показатели:

- валовое содержание тяжелых металлов (методика М-МВИ-80-2008; п. 3.8.4.; метод определения – атомно-абсорбционный);
- подвижные формы Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr (методика РД 52.18.289; п. 4, 5; метод определения – атомно-абсорбционный);
- гранулометрический состав по Н.А. Качинскому.

Анализы выполнены в испытательной лаборатории Центра

коллективного пользования на научном оборудовании при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Статистическая обработка данных проводилась в программах Excel v. 2019 и Statistica v.12.

Для характеристики степени концентрирования или рассеяния тяжелых металлов в почвах рассчитывали кларк концентрации (Прохорова, 2004).

Для характеристики процессов накопления/рассеяния элементов в системе “почва–порода” рассчитывали коэффициент радиальной дифференциации (R) (Чекин, 2024).

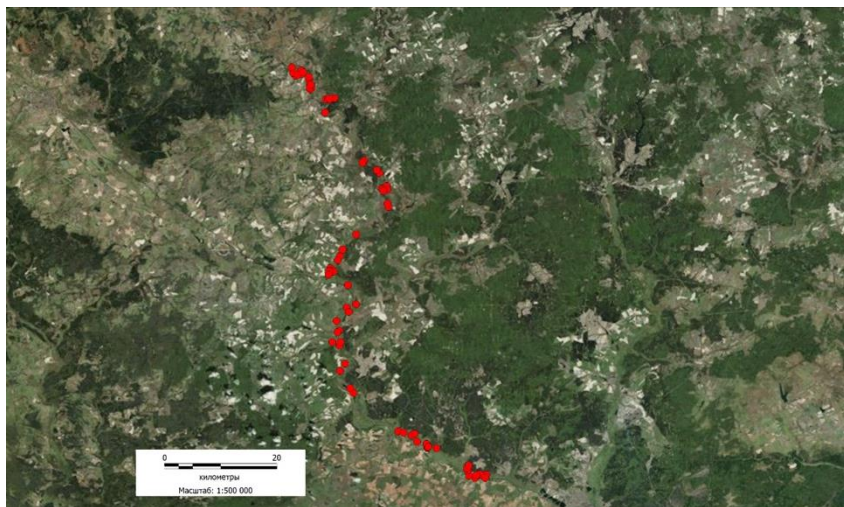


Рис. 1. Расположение ключевых почвенных участков в ландшафтах поймы р. Десны.

Fig. 1. Location of key soil areas in the landscapes of the Desna River floodplain.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Валовое содержание элементов в почвах

Почвам поймы р. Десны свойственно большое разнообразие, обусловленное вариабельностью кислотности и гранулометрического состава (Кораблева, 1969).

Распределение элементов в почвенных горизонтах лимитируется рядом факторов, связанных прежде всего с элементарными процессами почвообразования, а также влиянием минералогии аллювиальных отложений, гранулометрии и геоморфологическими особенностями конкретного участка поймы (Протасова, Щербakov, 2004; Чекин и др., 2021; Шиманская, Позняк, 2016).

В таблице 1 представлены результаты описательной статистики содержания тяжелых металлов в почвах пойменного ландшафта. В.П. Самсонова указывает, что распределение отличается от нормального, если коэффициент вариации больше 35% (Самсонова, Мешалкина, 2020). В этом случае корректнее использовать медианное значение показателя, а не среднюю величину.

Содержание тяжелых металлов в аллювиальных почвах р. Десны варьирует в широких пределах. С целью определения закономерности пространственного распределения элементов в рассматриваемых почвах был проведен корреляционный анализ между гранулометрическими фракциями почвы и валовым содержанием элементов (рис. 2).

Для фракций 0.25–1.00 и 0.05–0.25 мм коэффициенты корреляции имеют отрицательное значение; для фракций 0.01–0.05 мм – положительное, значимое для меди, цинка, никеля и хрома; а для фракций 0.005–0.01, 0.001–0.005 и <0.001 мм корреляция положительная, значимая (рис. 3).

Полученные результаты свидетельствуют о наличии связи между содержанием тяжелых металлов в почве и ее гранулометрическим составом. В общем случае, чем тяжелее гранулометрический состав, тем больше, при прочих равных условиях, содержание тяжелых металлов. Однако данный фактор не является единственным. Двухвыборочный *F*-тест показал, что коэффициенты детерминации являются значимыми для зависимости валового содержания кадмия, свинца, никеля и кобальта от содержания частиц почвы с размером менее 0.01 мм. Для цинка, меди и никеля регрессия считается не значимой (рис. 4).

Таблица 1. Описательная статистика валового содержания тяжелых металлов в аллювиальных почвах поймы р. Десны

Table 1. Descriptive statistics of the gross content of heavy metals in alluvial soils of the Desna River floodplain

Показатель	Валовое содержание тяжелых металлов, ppm						
	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr
Среднее	0.138	11.36	31.65	34.83	10.53	3.68	44.39
Медиана	0.085	10.66	26.17	34.33	9.31	2.57	40.72
Эксцесс	15.00	-0.20	2.50	52.50	2.10	21.90	0.40
Асимметричность	3.50	0.70	1.30	5.20	1.20	4.10	0.80
Минимум	0.010	2.92	0.41	2.87	0.38	0.08	0.80
Максимум	1.198	29.60	107.30	263.20	36.80	35.00	113.80
Вариация, %	119.50	48.03	62.86	63.16	55.37	114.98	49.71

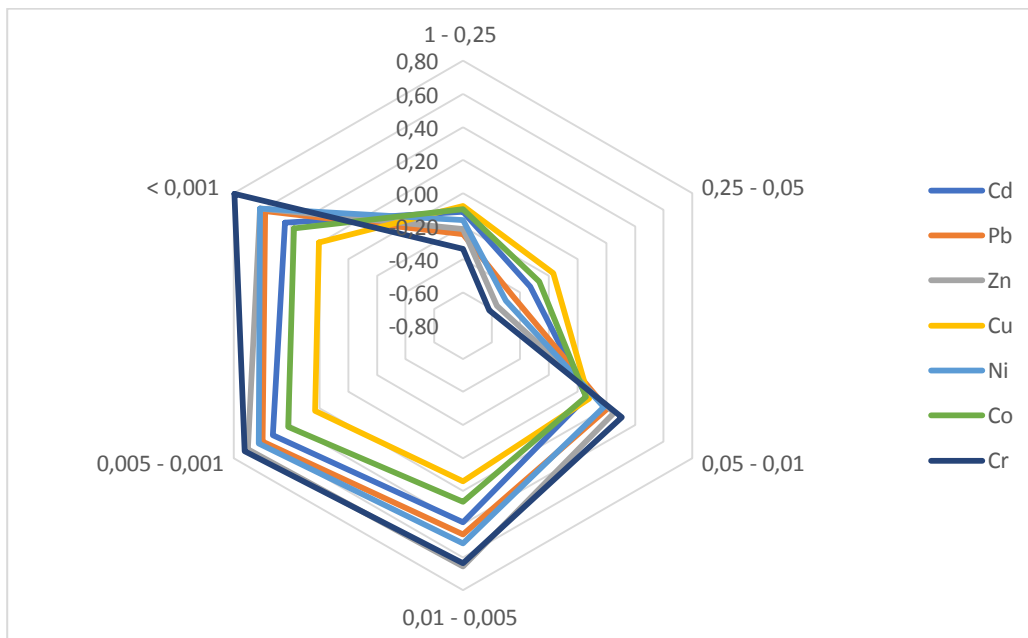
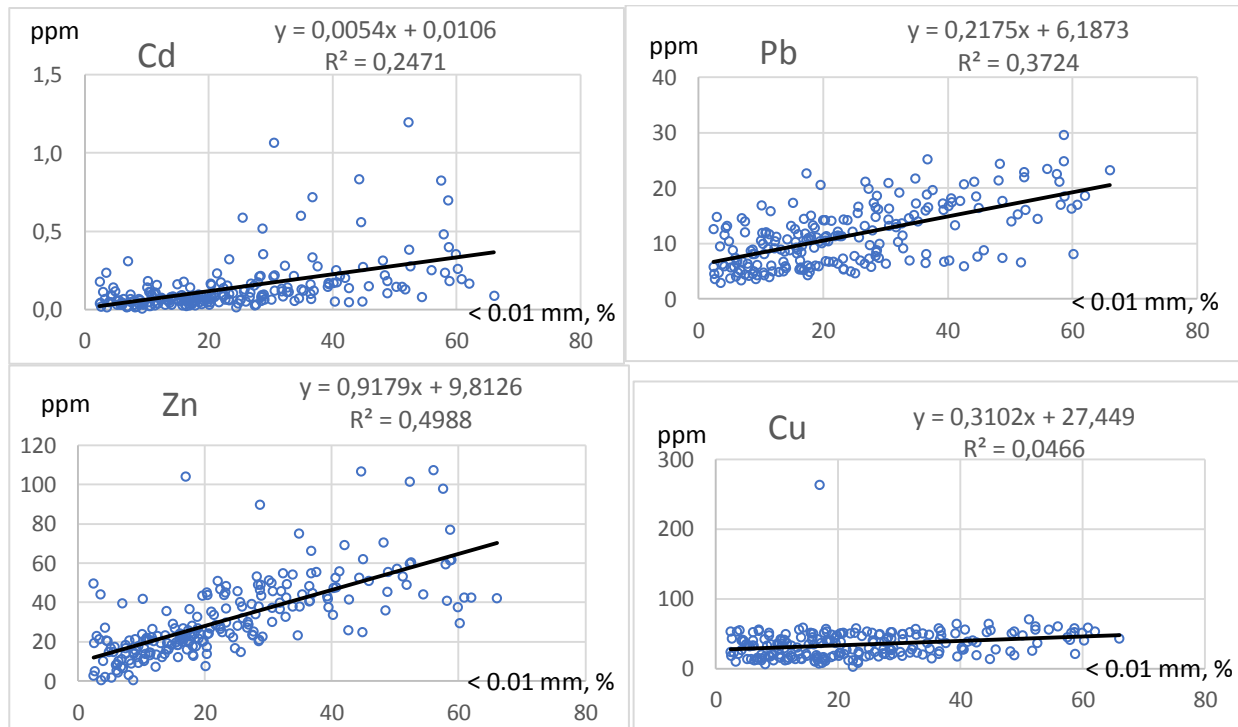


Рис. 2. Корреляционные матрицы валового содержания элементов, взаимосвязанных с разными гранулометрическими фракциями почвы.

Fig. 2. Correlation matrices of the gross content of elements associated with different granulometric fractions of soil.



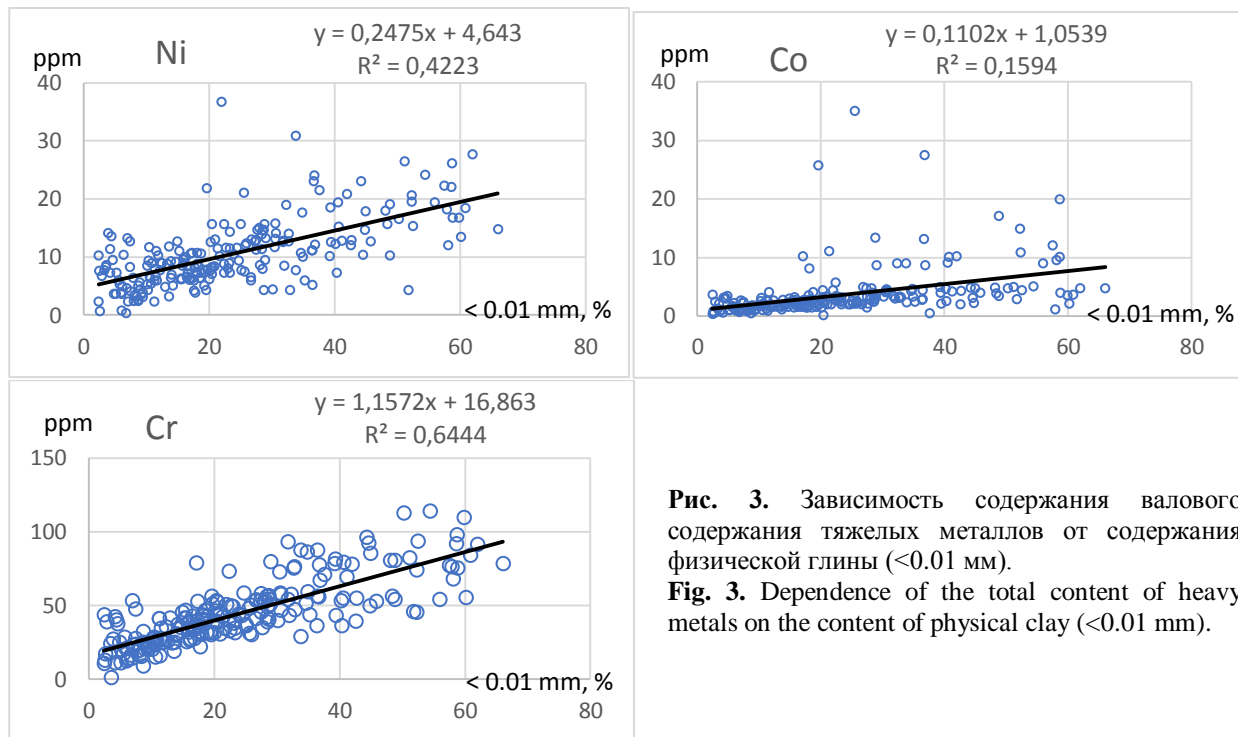


Рис. 3. Зависимость содержания валового содержания тяжелых металлов от содержания физической глины (<0.01 мм).

Fig. 3. Dependence of the total content of heavy metals on the content of physical clay (<0.01 mm).

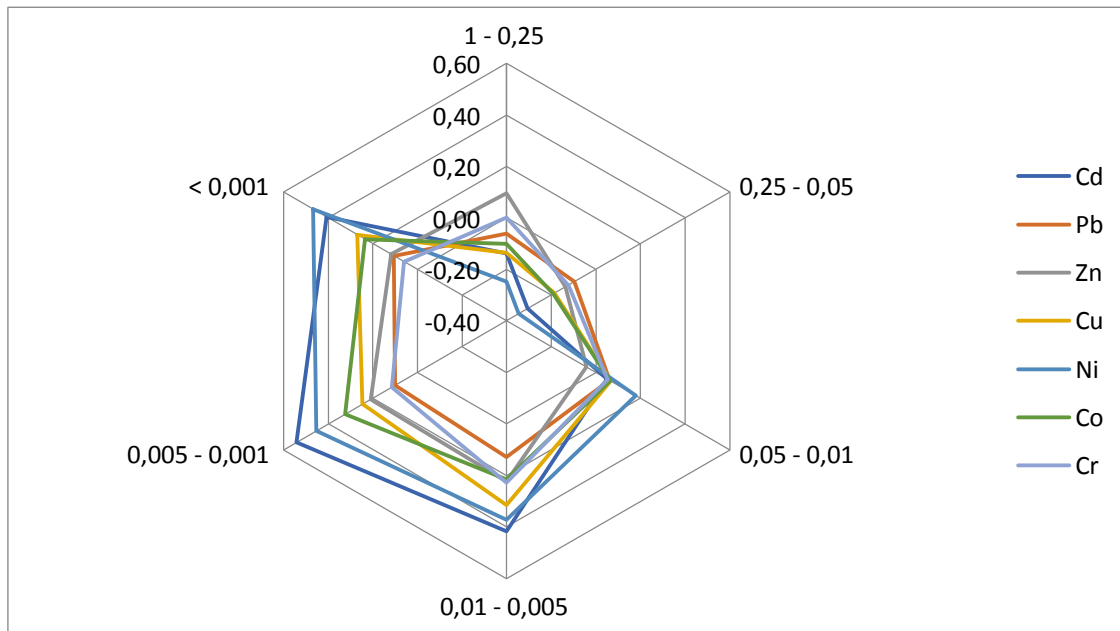


Рис. 4. Корреляционные матрицы подвижных форм металлов взаимосвязанных с разными гранулометрическими фракциями почвы.

Fig. 4. Correlation matrices of mobile forms of metals interconnected with different granulometric fractions of soil.

Ряд авторов указывают на значимые корреляции между катионообменной емкостью, содержанием глины и содержанием металлов в пойменных почвах. Было обнаружено, что (гидр)оксиды Fe и Mn являются основными носителями для Cd, Zn и Ni в кислородных условиях, тогда как органическая фракция была наиболее важна для Cu. Растения могут влиять на подвижность металлов в пойменных почвах, окисляя их ризосферу, поглощая металлы, выделяя экссудаты и стимулируя активность микробных симбионтов в ризосфере (Du Laing et al., 2009; Hooda, 2010; Matys et al., 2016; McComb et al., 2015; Sabry et al., 2014). Ряд авторов подчеркивают выраженную биоаккумуляцию меди и кобальта, а также зависящую от реакции среды и окислительно-восстановительных условий аккумуляцию никеля (Кудашкин, 2003; Мартынов, 2019). Значение биоаккумуляции для накопления элементов отмечает также Л.П. Рыбашлыкова с соавторами, указывая на кобальт и хром (Рыбашлыкова, Конев, 2017).

Также накопление некоторых химических элементов в поверхностных горизонтах может свидетельствовать о значительном воздействии антропогенной деятельности (Чекин, Смольский, 2024).

По медиане валового содержания тяжелых металлов рассчитали значения кларка концентрации (КК), отражающие уровни накопления элементов в почве (табл. 2).

Таблица 2. Кларк концентрации тяжелых металлов в аллювиальных почвах поймы р. Десны

Table 2. Clarke of heavy metal concentration in alluvial soils of the Desna River floodplain

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr
Медиана	0.17	1.07	0.53	1.71	0.23	0.32	0.20
Минимум	0.02	0.29	0.01	0.14	0.01	0.01	0.00
Максимум	2.40	2.98	2.16	13.13	0.93	4.31	0.57

При группировке КК, рассчитанного по медианному значению, в виде убывающего ряда получены следующие результаты:

$Cu > Pb > Zn > Co > Ni > Cr > Cd$.

Сравнивая данный ряд с аналогичными рядами для пойм других рек региона (Чекин и др., 2021), необходимо отметить определенную их схожесть, в частности, по положению в ряду меди, свинца и цинка. Это может говорить о схожих геохимических условиях формирования аллювиальных почв различных рек региона.

О потенциальном запасе тяжелых металлов в аллювиальных почвах пойменных ландшафтов позволяет судить геохимический индекс:

$$Pb(1,07) \frac{Cu(1,71)}{Cd(0,17)Cr(0,20)Ni(0,23)Co(0,32)Zn(0,53)}$$

Рассматриваемые элементы, за исключением меди и свинца, относятся к группе рассеивающихся. Исключение составляет медь, относящаяся к группе накапливающихся элементов, и свинец, имеющий содержание близкое к кларку. Подобное превышение величины кларка, возможно, объясняется антропогенным влиянием. Однако необходимо учитывать, что усредненное содержание не отражает всего многообразия почвенных условий конкретного участка поймы, что подтверждается высокой вариабельностью показателя. Таким образом, средние значения кларка концентрации могут рассматриваться как некая базовая величина, с опорой на которую необходимо дальнейшее изучение данного вопроса.

Радиальная неоднородность содержания химических элементов зависит от распределения в почвенном профиле органических и минеральных веществ, гранулометрического состава пород, кислотного-основных и окислительно-восстановительных условий.

Установили, что коэффициент радиальной дифференциации для рассматриваемых элементов варьирует в широком диапазоне, и составляет следующие величины (табл. 3):

Медианные значения коэффициента радиальной дифференциации больше 1, что позволяет говорить преимущественно о процессах аккумуляции тяжелых металлов в почве относительно подстилающей породы.

Таблица 3. Коэффициенты радиальной дифференциации тяжелых металлов в почвах поймы р. Десны
Table 3. Radial differentiation coefficients of heavy metals in the soils of the Desna River floodplain

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr
Среднее	2.25	1.35	1.97	1.54	1.64	1.95	1.31
Медиана	1.72	1.18	1.35	1.13	1.20	1.12	1.12
Минимум	0.20	0.23	0.32	0.37	0.12	0.02	0.20
Максимум	10.16	4.03	11.28	22.04	16.86	55.50	4.86
Вариация, %	71.97	47.14	97.83	153.37	129.24	303.20	59.19

Однако на почвах ряда исследованных участков происходит обратный процесс – вынос элементов из почвенного профиля. При этом зависимости от гранулометрического состава почвы не установлено.

Содержание подвижных форм элементов

Содержание подвижных форм тяжелых металлов дает представление об их биодоступности. Для анализа их содержания чаще всего используются агрохимические критерии оценки обеспеченности почв или же применяются ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), но они разработаны не для всех элементов и отличаются в разных странах (Мартынов, 2019). В данной работе будем опираться на значения критериев обеспеченности и ОДК, принятые в России.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах поймы р. Десны варьирует в широких пределах (табл. 4). На отдельных участках оно превышает установленные гигиенические нормативы для свинца и хрома, что не является характерным для аллювиальных почв региона, но возникает при антропогенном воздействии.

При этом доля подвижных форм элементов от валового количества также изменяется в широких пределах и составляет следующие медианные значения: кадмий – 4.29–99.68% (CV = 35.41%); свинец – 0.53–90.88% (CV = 107.92%); цинк – 0.00–87.41% (CV = 139.7%); медь – 0.14–19.11% (CV = 101.57%); никель – 1.49–88.37% (CV = 91.28%); кобальт – 0.04–70.72% (CV = 175.01%); хром – 0.00–87.13% (CV = 234.66%). По степени подвижности рассматриваемые элементы можно расположить в следующий убывающий ряд: Cd (59.48%) > Ni (6.55%) > Pb (5.63%) > Zn (3.91%) > Cu (1.60%) > Co (1.56%) > Cr (1.19%).

В скобках приведены медианные значения доли подвижной формы от валовой. Аналогичные ряды получены другими авторами (Просянкин, 2012; Система агроэкологического мониторинга..., 2006).

Таблица 4. Содержание подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) в почвах поймы р. Десны
Table 4. The content of mobile forms of heavy metals (mg/kg) in the soils of the Desna River floodplain

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr
Среднее	0.073	0.82	1.59	0.58	0.73	0.11	0.86
Медиана	0.048	0.55	1.16	0.57	0.62	0.04	0.57
Экссесс	11.715	147.18	22.82	3.35	1.16	14.39	12.92
Асимметричность	2.737	11.21	4.37	1.16	1.19	3.38	3.07
Минимум	0.003	0.05	0.000	0.029	0.086	0.002	0.000
Максимум	0.559	20.65	14.82	2.42	2.22	1.15	6.80
Вариация, %	96.52	182.18	129.82	61.80	61.44	154.16	111.73
ОДК	–	6.00	23.00	3.00	4.00	5.00	6.00

Высокая доля подвижных соединений может быть связана с высоким содержанием органического вещества, высокой кислотностью среды, легким гранулометрическим составом и другими причинами (Московченко, Бабушкин, 2015).

С целью определения зависимости содержания подвижной формы тяжелых металлов от гранулометрического состава почв был проведен корреляционный анализ (рис. 4). Значимая положительная корреляция с фракциями <0.01 мм отмечена для кадмия, меди, никеля и кобальта. Для свинца значимой корреляции с гранулометрическим составом не установлено. Для цинка значимая положительная корреляция отмечена с фракциями 0.001–0.005 и 0.005–0.01 мм; для хрома – с фракцией 0.005–0.01 мм. Полученные данные частично согласуются с данными других исследователей. В частности, В.М. Красницкий с соавторами отмечают для почв водоразделов наличие корреляционной связи гранулометрического состава почвы с содержанием подвижных форм свинца (Красницкий и др., 2015).

Агрохимическая группировка подвижной формы рассматриваемых элементов по содержанию в почве дана по методическим рекомендациям (Методические указания..., 2003). Предусмотрено выделение групп почв по степени обеспеченности для цинка, меди и кобальта (табл. 5).

Таблица 5. Группировка почв по содержанию подвижных форм элементов в вытяжке ацетат-аммонийного буфера (pH = 4.8)

Table 5. Grouping of soils by the content of mobile forms of elements in the extract of ammonium acetate buffer (pH = 4.8)

Элемент	Градация почв по содержанию элементов, мг/кг		
	низкое	среднее	высокое
Цинк	<2.00	2.10–5.00	>5.00
Медь	<0.20	0.21–0.50	>0.50
Кобальт	<0.15	0.16–0.30	>0.30

По содержанию подвижных форм элементов рассматриваемые почвы варьируют от уровня низкой до уровня высокой обес-

печенности, однако медианные значения для цинка и кобальта относятся к категории “низкое”, а для меди – “высокое”. Исходя из этого при ведении сельского хозяйства на данных почвах необходимо учитывать уровень обеспеченности почв указанными элементами, при необходимости добавляя их в питание растений.

ВЫВОДЫ

1. Определено содержание валового количества и подвижных форм кадмия, свинца, цинка, меди, никеля, кобальта и хрома в аллювиальных почвах р. Десны. Показана его высокая вариация.

2. Установлено наличие корреляционной связи между валовым содержанием тяжелых металлов в почве и ее гранулометрическим составом.

3. По величине кларка концентрации элементы сгруппированы в убывающий ряд: $Cu > Pb > Zn > Co > Ni > Cr > Cd$, аналогичный для аллювиальных почв других рек региона.

4. Составлен геохимический индекс пойменных почв р. Десны, который позволяет судить о потенциальном запасе тяжелых металлов.

5. Установлен ряд подвижности тяжелых металлов: $Cd > Ni > Pb > Zn > Cu > Co > Cr$, аналогичный почвам другого генезиса.

6. Установлено наличие корреляционной связи между содержанием подвижных форм кадмия, меди, никеля и кобальта и содержанием физической глины в почве.

7. Показана степень обеспеченности пойменных почв р. Десны цинком, медью и кобальтом. Отмечена необходимость в дополнительном их внесении при выращивании сельскохозяйственной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кораблева Л.И.* Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв Нечерноземной зоны. М.: Наука, 1969. 277 с.
2. *Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Матвейчик О.А.* Агроэкологическая характеристика пахотных почв Омской области // Плодородие. 2018. № 5 (104). С. 42–46.
3. *Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Цырк А.А.* Содержание свинца в почвах Омской области // Плодородие. 2015. № 3 (84). С. 43–45.

4. *Кудашкин М.И.* Медь и эффективность медьсодержащих удобрений в дерново-подзолистых и пойменных почвах // *Агрохимия*. 2003. № 7. С. 11–18.
5. *Мартынов А.В.* Содержание и распределение биофильных микроэлементов в аллювиальных почвах пойм крупных рек Зейско-Селемджинской равнины // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 6–4. С. 771–775.
6. *Мартынов А.В.* Содержание подвижных форм микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур и влияние на них паводка 2013 года // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 2. С. 32–39.
7. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / *В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов, И.В. Володарская* и др. М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2003. 240 с.
8. *Московченко Д.В., Бабушкин А.Г.* Фоновое содержание подвижных форм металлов в почвах Севера Западной Сибири // *Вестник Тюменского государственного университета*. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 3. С. 163–174.
9. *Балабко П.Н., Снег А.А., Локалина Т.В., Щедрин В.Н.* Почвы мелиорированной поймы верхнего течения реки Оки, используемые в интенсивном земледелии // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2016. № 3 (23). С. 116–137.
10. *Просьянников В.И.* Подвижность микроэлементов в пахотных почвах // *Агрохимический вестник*. 2012. № 4. С. 36–37.
11. *Протасова Н.А., Щербаков А.П.* Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья // *Почвоведение*. 2004. № 1. С. 50–59.
12. *Прохорова Н.В.* Ландшафтный подход в региональных эколого-геохимических исследованиях // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2004. Т. 6. № 2. С. 259–265.
13. *Рыбашлыкова Л.П., Конев С.В.* Эколого-геохимическое состояние луго-пастбищных экосистем Волго-Ахтубинской поймы // *Юг России: экология, развитие*. 2017. Т. 12. № 4. С. 185–191.
14. *Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л.* Часто встречающиеся неточности и ошибки применения статистических методов в почвоведении // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2020. Вып. 102. С. 164–182. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-164-182>.
15. *Орешкин В.Н., Ульяночкина Т.И., Кузьменкова В.С., Балабко П.Н.*

Свинец в марганцовисто-железистых конкрециях различного размера из аллювиальных почв и отложений // Геохимия. 2000. Т. 38. № 6. С. 680–684.

16. Сычев В.Г., Ефремов Е.Н., Лунев М.И., Кузнецов А.В. Система агроэкологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. М., 2006. 79 с.

17. Просянных Д.Е., Балабко П.Н., Просянных Е.В., Чекин Г.В. Современное состояние экосистемы правобережной поймы Средней Десны и перспективы ее рационального использования // Агрохимический вестник. 2012. № 5. С. 9–13.

18. Чекин Г.В., Силаев А.Л., Смольский Е.В. Распределение Cu, Ni, Zn, Mn, Cr, Cd, Pb, Co, Mo, As в аллювиальных почвах пойменных ландшафтов бассейна реки Сож // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2021. Вып. 109. С. 165–185. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-109-165-185>.

19. Чекин Г.В., Смольский Е.В. Агрохимические свойства почв и поведение химических элементов в системе почва-растение в пойме р. Десна // Проблемы агрохимии и экологии. 2024. № 1. С. 36–44. DOI: <https://doi.org/10.26178/3691.2024.25.18.002>.

20. Шиманская А.А., Позняк С.С. Профильное распределение меди, цинка и свинца в пойменных почвах мозырского полесья // Экологический вестник. 2016. № 1. С. 118–123.

21. Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F.M.G. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review // Science of the Total Environment. 2009. Vol. 407. P. 3972–3985.

22. Hooda P. Trace Elements in Soils. First ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010. 596 p.

23. Izquierdo M., Tye A.M., Chenery S.R. Lability, solubility and speciation of Cd, Pb and Zn in alluvial soils of the River Trent catchment // UK Environmental science. Processes & impacts. 2013. Vol. 15. No. 10. P. 1844–1858. DOI: <https://doi.org/10.1039/C3EM00370A>.

24. Kalmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland) // Open Geosciences. 2020. Vol. 12. No. 1. P. 1036–1051.

25. Matys Grygar T., Elznicová J., Kiss T., Smith H.G. Using sedimentary archives to reconstruct pollution history and sediment provenance // Catena. 2016. No. 144. P. 109–129.

26. McComb J.Q., Han F.X., Rogers C., Thomas C., Arslan Z., Ardeshir A., Tchounwou P.B. Trace elements and heavy metals in the Grand Bay National Estuarine Reserve in the northern Gulf of Mexico // Mar Pollut Bull. 2015.

Vol. 99 (1–2). P. 61–69. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.062>.

27. Sabry M. Shaheen, Jörg Rinklebe. Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany // *Geoderma*. 2014. Vol. 228–229. P. 142–159.

REFERENCES

1. Korableva L.I., *Plodorodie, agrokhimicheskie svoistva i udobrenie poimennykh pochv Nechernozemnoi zony* (Fertility, agrochemical properties and fertilization of floodplain soils of the Non-Chernozem zone), Moscow: Nauka, 1969, 277 p.
2. Krasnitskii V.M., Shmidt A.G., Matveichik O.A., *Agroekologicheskaya kharakteristika pakhotnykh pochv Omskoi oblasti* (Agroecological characteristics of arable soils of the Omsk region), *Plodorodie*, 2018, No. 5 (104), pp. 42–46.
3. Krasnitskii V.M., Shmidt A.G., Tsyrik A.A., *Soderzhanie svintsy v pochvakh Omskoi oblasti* (Copper and the efficiency of copper-containing fertilizers in sod-podzolic and floodplain soils), *Plodorodie*, 2015, No. 3 (84), pp. 43–45.
4. Kudashkin M.I., *Med' i effektivnost' med'soderzhashchikh udobrenii v dernovo-podzolistykh i poimennykh pochvakh* (Lead content in soils of the Omsk region), *Agrokimiya*, 2003, No. 7, pp. 11–18.
5. Martynov A.V., *Soderzhanie i raspredelenie biofil'nykh mikroelementov v allyuvial'nykh pochvakh poim krupnykh rek Zeisko-Selemdzhinskoi ravniny* (Content and distribution of biophilic microelements in alluvial soils of the floodplains of large rivers of the Zeya-Selemdzhinskaya plain), *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, No. 6–4, pp. 771–775.
6. Martynov A.V., *Soderzhanie podvizhnykh form mikroelementov v allyuvial'nykh pochvakh poimy srednego techeniya r. Amur i vliyanie na nikh pavodka 2013 goda* (Content of mobile forms of microelements in alluvial soils of the floodplain of the middle reaches of the Amur River and the impact of the 2013 flood on them), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*, Seriya: Geografiya. Geoekologiya, 2019, No. 2, pp. 32–39.
7. Sychev V.G., Aristarkhov A.N., Volodarskaya I.V., *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya* (Methodological guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands), Moscow: Rossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut informatsii i tekhniko-

ekonomicheskikh issledovaniy po inzhenerno-tekhnicheskomu obespecheniyu agropromyshlennogo kompleksa, 2003, 240 p.

8. Moskovchenko D.V., Babushkin A.G., Fonovoe sodержanie podviznykh form metallov v pochvakh Seve-ra Zapadnoi Sibiri (Background Content of Mobile Forms of Metals in Soils of the North of Western Siberia), *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*, 2015, Vol. 1, No. 3, pp. 163–174.

9. Balabko P.N., Sneg A.A., Lokalina T.V., Shchedrin V.N., Pochvy meliorovannoi poimy verkhnego techeniya reki Oki, ispol'zuemye v intensivnom zemledelii (Soils of the reclaimed floodplain of the upper reaches of the Oka River used in intensive farming), *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*, 2016, No. 3 (23), pp. 116–137.

10. Prosyannikov V.I., Podvizhnost' mikroelementov v pakhotnykh pochvakh (Microelement mobility in arable soils), *Agrokhimicheskii vestnik*, 2012, No. 4, pp. 36–37.

11. Protasova N.A., Shcherbakov A.P., Osobennosti formirovaniya mikroelementnogo sostava zonal'nykh pochv Tsentral'nogo Chernozem'ya (Features of the formation of the microelement composition of zonal soils of the Central Chernozem region), *Pochvovedenie*, 2004, No. 1, pp. 50–59.

12. Prokhorova N.V., Landshaftnyi podkhod v regional'nykh ekologo-geokhimicheskikh is-sledovaniyakh (Landscape approach in regional ecological-geochemical studies), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2004, Vol. 6, No. 2, pp. 259–265.

13. Rybashlykova L.P., Konev S.V., Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie lugo-pastbishchnykh ekosistem Volgo-Akhtubinskoi poimy (Ecological and geochemical state of meadow-pasture ecosystems of the Volga-Akhtuba floodplain), *Yug Rossii: ekolo-giya, razvitie*, 2017, Vol. 12, No. 4, pp. 185–191.

14. Samsonova V.P., Meshalkina J.L., Common inaccuracies and errors in the application of statistical methods in soil science, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 102, pp. 164–182, DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-164-182>.

15. Oreshkin V.N., Ulyanochkina T.I., Kuzmenkova V.S., Balabko P.N., Svinets v margantsovisto-zhelezistykh konkretyakh razlichnogo razmera iz allyuvi-al'nykh pochv i otlozhenii (Lead in manganese-ferrous concretions of various sizes from alluvial soils and sediments), *Geokhimiya*, 2000, Vol. 38, No. 6, pp. 680–684.

16. Sychev V.G., Efremov E.N., Lunev M.I., Kuznetsov A.V., *Sistema agroekologicheskogo monitoringa zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya* (Agroecological monitoring system for agricultural lands), Moscow, 2006, 79 p.

17. Prosyannikov D.E., Balabko P.N., Prosyannikov E.V., Chekin G.V., *Sovremennoe sostoyanie ekosistemy pravoberezhnoi poimy Srednei Desny i perspektivy ee ratsional'nogo ispol'zovaniya* (Current state of the ecosystem of the right-bank floodplain of the Middle Desna and prospects for its rational use), *Agrokhimicheskii vestnik*, 2012, No. 5, pp. 9–13.
18. Chekin G.V., Silaev A.L., Smolsky E.V., Distribution of Cu, Ni, Zn, Mn, Cr, Cd, Pb, Co, Mo, As in alluvial soils of floodplain landscapes of the Sozh river basin, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, Vol. 109, pp. 165–185. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-109-165-185>.
19. Chekin G.V., Smol'skii E.V., *Agrokhimicheskie svoystva pochv i povedenie khimicheskikh elementov v sisteme pochva-rastenie v poime r. Desna* (Agrochemical properties of soils and the behavior of chemical elements in the soil-plant system in the Desna River floodplain), *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2024, No. 1, pp. 36–44, DOI: <https://doi.org/10.26178/3691.2024.25.18.002>.
20. Shimanskaya A.A., Poznyak S.S., *Profil'noe raspredelenie medi, tsinka i svintsya v poimennykh pochvakh mozyrskogo poles'ya* (Profile distribution of copper, zinc and lead in floodplain soils of the Mozyr Polesie), *Ekologicheskii vestnik*, 2016, No. 1, pp. 118–123.
21. Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F.M.G., Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review, *Science of the Total Environment*, 2009, Vol. 407, pp. 3972–3985.
22. Hooda P., *Trace Elements in Soils*. First ed., Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010, 596 p.
23. Izquierdo M., Tye A.M., Chenery S.R., Lability, solubility and speciation of Cd, Pb and Zn in alluvial soils of the River Trent catchment, *UK Environmental science. Processes & impacts*, 2013, Vol. 15, No. 10, pp. 1844–1858, DOI: <https://doi.org/10.1039/C3EM00370A>.
24. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E., Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland), *Open Geosciences*, 2020, Vol. 12, No. 1, pp. 1036–1051.
25. Matys Grygar T., Elznicová J., Kiss T., Smith H.G., Using sedimentary archives to reconstruct pollution history and sediment provenance, *Catena*, 2016, No. 144, pp. 109–129.
26. McComb J.Q., Han F.X., Rogers C., Thomas C., Arslan Z., Ardeshir A., Tchounwou P.B., Trace elements and heavy metals in the Grand Bay National Estuarine Reserve in the northern Gulf of Mexico, *Mar Pollut Bull.*, 2015, Vol. 99 (1–2), pp. 61–69, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.062>.

27. Shaheen S.M., Rinklebe J., Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany, *Geoderma*, 2014, Vol. 228–229, pp. 142–159.