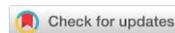


УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-165-185



Ссылки для цитирования:

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 имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 109. С. 165-185. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-165-185

Cite this article as:

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, V. 109, pp. 165-185, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-165-185

Распределение Cu, Ni, Zn, Mn, Cr, Cd, Pb, Co, Mo, As в аллювиальных почвах пойменных ландшафтов бассейна реки Сож

© 2021 г. Г. В. Чекин*, А. Л. Силаев**, Е. В. Смольский***

Брянский ГАУ, Россия,

243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а,

**<https://orcid.org/0000-0002-9252-2193>, e-mail: gb-swamp@yandex.ru,*

***<https://orcid.org/0000-0001-7837-4254>, e-mail: kafear@bgsha.com,*

****<https://orcid.org/0000-0002-7534-5893>, e-mail: sev_84@mail.ru.*

*Поступила в редакцию 30.06.2021, после доработки 06.12.2021,
принята к публикации 16.12.2021*

Резюме: Исследования проводили в западной части Брянской области в ландшафтах бассейна реки Сож (р. Ипуть, приток 1-го порядка, южнее с. Перевоз; р. Беседь, приток 1-го порядка, северо-западнее д. Батуровка; р. Унеча приток 2-го порядка, западнее с. Лопатни). Цель работы – изучение особенностей вертикального и горизонтального распределения валового содержания Cu, Ni, Zn, Mn, Cr, Cd, Pb, Co, Mo, As в аллювиальных почвах пойменных ландшафтов. Отбор почвенных образцов для определения валового содержания микроэлементов проводили в разных по геоморфологии и гидрологии подсистемах пойменного ландшафта методом почвенных ключей. Каждый ключевой почвенный участок представлял собой полнопрофильный разрез и

четыре полуямы. Образцы отбирались со стенок разрезов через 5 см, перемешивались и усреднялись методом квартования. Валовое содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом, после предварительного разложения проб смесью концентрированных азотной и плавиковой кислот с помощью микроволновой системы. Варьирование содержания микроэлементов по слоям аллювиальных почв оценивали с использованием коэффициента вариации. Для характеристики степени концентрирования или рассеяния микроэлементов в почвах, рассчитывали кларк концентрации. В результате исследований установили, что вертикальное распределение микроэлементов в слое 0–20 см определяется их химическими свойствами и генезисом почв пойменных подсистем, и может быть равномерным, убывающим/возрастающим с глубиной или с концентрированием в отдельных слоях. Кларки концентрации микроэлементов и их содержание возрастают в направлении от прирусловой к притеррасной подсистеме поймы. Концентрации элементов в почвах пойменных ландшафтов не превышают величину кларка. Исключение составляют Cr, Zn и Cu в почве притеррасной подсистемы поймы р. Унеча, Cd в почве центральной подсистемы поймы р. Беседь, а также Cu и Cd в почве притеррасной подсистемы поймы р. Беседь. Превышение величины кларка по некоторым элементам может указывать на их антропогенное происхождение.

Ключевые слова: аллювиальные почвы, микроэлементы, кларк концентрации.

Distribution of Cu, Ni, Zn, Mn, Cr, Cd, Pb, Co, Mo, As in alluvial soils of floodplain landscapes of the Sozh river basin

© 2021 G. V. Chekin^{*}, A. L. Silaev^{**}, E. V. Smolsky^{***}

Bryansk State Agrarian University,

2a Sovetskaya Str., Kokino 243365, Bryansk region, Russian Federation,

^{*}<https://orcid.org/0000-0002-9252-2193>, e-mail: gb-swamp@yandex.ru,

^{**}<https://orcid.org/0000-0001-7837-4254>, e-mail: kafep@bgsha.com,

^{***}<https://orcid.org/0000-0002-7534-5893>, e-mail: sev_84@mail.ru.

Received 30.06.2021, Revised 06.12.2021, Accepted 16.12.2021

Abstract: The studies were carried out in the western part of the Bryansk Region in the landscapes of the Sozh River basin (Iput' River, tributary of the 1st order, south of the village of Perevoz; River Besed', tributary of the 1st

order, northwest of the village of Baturovka; River Unecha, tributary 2nd order, west of the village of Lopatny). The aim of this work is to study the features of the vertical and horizontal distribution of the gross content of Cu, Ni, Zn, Mn, Cr, Cd, Pb, Co, Mo, As in the alluvial soils of floodplain landscapes. The selection of soil samples for the determination of the gross content of trace elements was carried out in subsystems of the floodplain landscape, different in geomorphology and hydrology, by the method of soil springs. Each key soil plot was a full-profile soil pit and four reconnaissance pits. Samples were taken from the walls of the cuts every 5 cm, mixed and averaged by the quartering method. The gross content of trace elements was determined by the atomic absorption method, after preliminary decomposition of the samples with a mixture of concentrated nitric and hydrofluoric acids using a microwave system. Variations in the content of trace elements in the layers of alluvial soils were assessed using the coefficient of variation. To characterize the degree of concentration or dispersion of trace elements in soils, the concentration clarke was calculated. As a result of the research, it was found that the vertical distribution of trace elements in the 0–20 cm layer is determined by their chemical properties and the genesis of the soils of the floodplain subsystems, and can be uniform, decreasing/increasing with depth or with concentration in separate layers. Clarke concentrations of microelements and their content increase in the direction from the riverbed to the near-terrace subsystem of the floodplain. Concentrations of elements in the soils of floodplain landscapes do not exceed the clarke value. The exceptions are Cr, Zn and Cu in the soil of the near-terrace subsystem of the river Unecha, Cd – in the soil of the central subsystem of the river Besed', as well as Cu and Cd – in the soil of the near-terrace subsystem of the river Besed'. An excess of the clarke value for some elements may indicate their anthropogenic origin.

Keywords: alluvial soils, trace elements, clark concentration.

ВВЕДЕНИЕ

Распределение и концентрации химических элементов в аллювиальных почвах ландшафта пойм изменяется в результате ряда факторов, таких как неоднородность почвенного покрова, поемность, показатели почвенного плодородия, антропогенное воздействие ([Фашевский, 2007](#); [Мартынов, 2019](#); [Kałmykow-Piwińska, Falkowska, 2020](#)).

Аллювиальные почвы аккумулируют химические элементы, как поступающие с бассейна водосбора, так и приносимые с па-

водковыми водами. Это обуславливает особую роль данных почв как маркера техногенно-геохимических преобразований в бассейне реки. Занимая сравнительно небольшие площади, аллювиальные почвы представляют важную роль в кормопроизводстве ([Орешкин и др., 2000](#); [Просянкин и др., 2012](#); [Балабко и др., 2016](#); [Dobrovol'ski et al., 2011](#)).

С точки зрения ландшафтно-геохимических исследований в пойменных ландшафтах наибольшей информативностью обладает корнеобитаемый слой почв, включающий собственно гумусовый горизонт и частично следующий за ним слой аллювия разной степени вовлеченности в почвообразовательный процесс. Свойства данного слоя являются как чувствительным индикатором техногенного загрязнения, так и показателем возможности формирования урожая естественных кормовых трав ([Шаповалов и др., 2014](#); [Белоус и др., 2016](#); [Белоус, 2018](#)). В связи с этим, выяснение особенностей рассеивания и концентрации микроэлементов в аллювиальных почвах является актуальным.

Цель исследования – особенности вертикального и горизонтального распределения следовых элементов (trace element) в аллювиальных почвах пойменных ландшафтов бассейна реки Сож.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в западной части Брянской области в ландшафтах пойм рек Ипуть, Беседь и Унеча. Ландшафт конкретной поймы образуют различные сочетания подсистем (приустьевой, центральной, притеррасной), обуславливающий индивидуальные закономерности поступления, накопления, перемещения элементов. Отбор почвенных образцов для определения валового содержания микроэлементов проводили в разных по геоморфологии и гидрологии подсистемах пойменного ландшафта методом почвенных ключей. Каждый ключевой почвенный участок представлял собой полнопрофильный разрез и четыре полуямы (рис. 1). Образцы отбирались со стенок разрезов через 5 см, перемешивались и усреднялись методом квартования. К анализам образцы подготавливали общепринятыми методами.

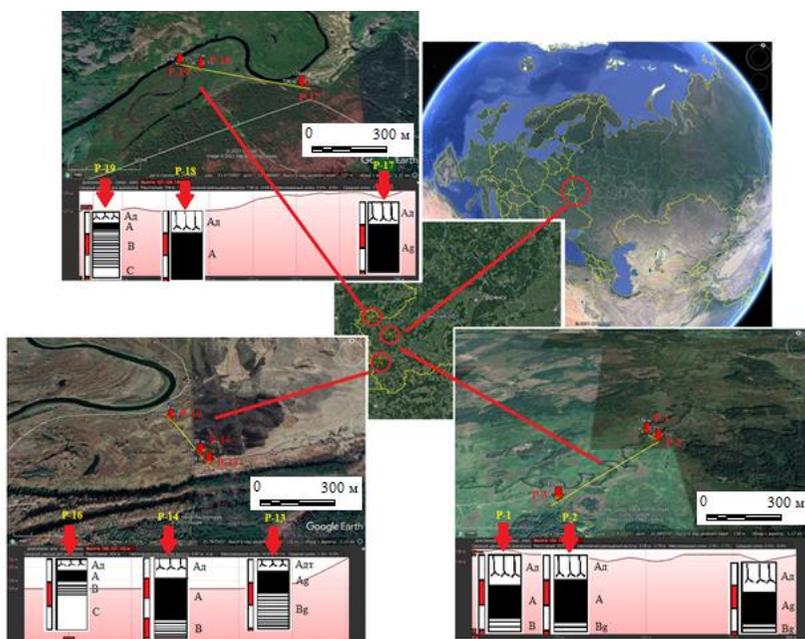


Рис. 1. Ключевые почвенные участки.

Fig. 1. Key soil areas.

Разложение почв для валового определения микроэлементов осуществляли смесью концентрированных азотной и плавиковой кислот с помощью микроволновой системы MARS 6. Валовое содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом (прибор: Shimadzu-7000, Квант-Z.ЭТА, Методика М-МВИ 80-2008). Анализы выполнены в испытательной лаборатории Центра коллективного пользования приборным и научным оборудованием при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Варьирование содержания микроэлементов по слоям аллювиальных почв оценивали с использованием коэффициента вариации, который показывает степень изменчивости показателя ([Доспехов, 1985](#)).

Для характеристики степени концентрирования или рассеяния микроэлементов в почвах, рассчитывали кларк концентрации

(КК) по формуле $КК = C_j/K$, где C_j – содержание микроэлемента в почве; K – среднее содержание элемента в почвах мира по А.П. Виноградову. Геохимические индексы составлялись в виде ранжированных дробных показателей, где возле дробной черты – микроэлементы с околочларковыми значениями ($КК = 1.1-0.9$), в числителе – микроэлементы с содержанием выше кларка ($КК > 1.1$), в знаменателе – микроэлементы с содержанием ниже кларка ($КК < 0.9$) ([Прохорова, 2004](#)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение концентраций микроэлементов в различных слоях почв подчиняется определенным закономерностям, обусловленным действием многих факторов, и является результатом сложных и многообразных биогеохимических процессов ([Протасова, Щербаков, 2004](#)).

Концентрация химических элементов в различных подсистемах пойменного ландшафта, который расположен в зоне промывного водного режима и на который накладываются пойменный и водозастойный режимы, характеризуется значительной пестротой и сложностью. Формирование профиля в аллювиальных почвах обусловлено различным расположением на рельефе, длительностью поемного процесса, особенностями видового состава растительного покрова, разными гранулометрическим и минералогическим составом почв ([Шиманская, Позняк, 2016](#)).

Распределение содержания валового количества химических элементов по слоям аллювиальных почв зависит от места и глубины отбора образцов, генезиса почвы и варьировало в зависимости от элемента (рис. 2):

Для пойменных подсистем р. Ипуть:

Cu – от 4.94 до 30.45; Ni – от 0.00 до 25.88; Zn – от 8.77 до 67.63; Mn – от 118.60 до 857.16; Cr – от 61.28 до 248.23; Cd – от 0.04 до 4.60; Pb – от 4.52 до 7.77; Co – от 0.24 до 1.27; Mo – от 0.02 до 1.20; As – от 0.29 до 1.61 мг/кг;



Рис. 2. Вертикальное распределение элементов в слое 0–20 см (начало).
Fig. 2. Vertical distribution of elements in layer 0–20 cm (beginning).

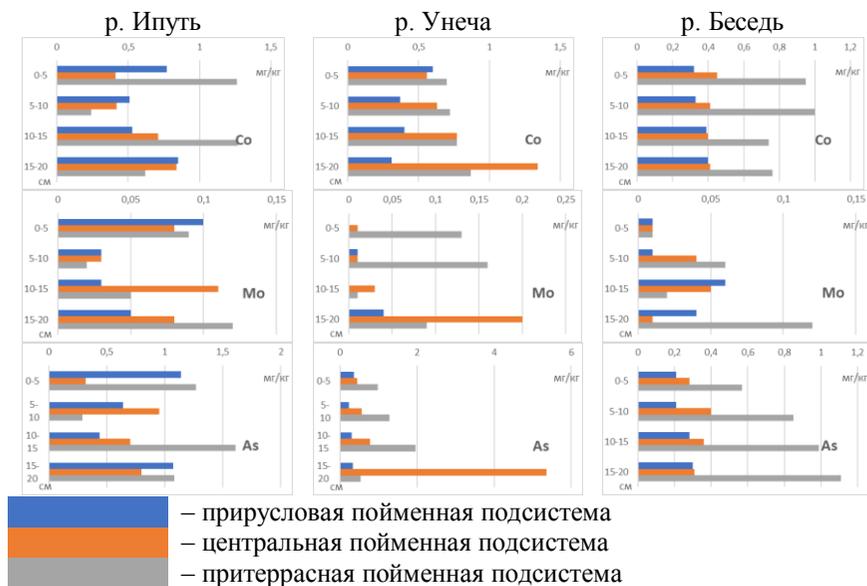


Рис. 2. Вертикальное распределение элементов в слое 0–20 см (окончание).
Fig. 2. Vertical distribution of elements in layer 0–20 cm (ending).

Для пойменных подсистем р. Унеча:

Cu – от 6.18 до 25.39; Ni – от 0.00 до 29.53; Zn – от 11.05 до 65.31; Mn – от 318.07 до 5 849.81; Cr – от 81.38 до 255.36; Cd – от 0.04 до 3.04; Pb – от 2.65 до 7.40; Co – от 0.31 до 1.34; Mo – от 0.00 до 0.20; As – от 0.24 до 5.36 мг/кг;

Для пойменных подсистем р. Беседь:

Cu – от 4.80 до 37.27; Ni – от 0.00 до 35.88; Zn – от 11.70 до 57.88; Mn – от 234.51 до 539.09; Cr – от 28.31 до 194.55; Cd – от 0.03 до 2.04; Pb – от 2.84 до 10.34; Co – от 0.32 до 1.00; Mo – от 0.01 до 0.12; As – от 0.21 до 1.11 мг/кг.

Для поймы реки Ипуть установлены следующие закономерности вертикального распределения:

В почве прирусловой подсистемы распределение элементов, за исключением Ni, проходит через минимум на глубине либо 5–10, либо 10–15 см, и вновь возрастает на глубине 15–20 см. Содержание Ni монотонно убывает с глубиной; в почве центральной

подсистемы пойменного ландшафта, содержание Cu, Zn, Cd, Pb, Co убывает с глубиной, для Mn отмечен минимум на глубине 5–10 см. Распределение Ni, Cr, Mo и As носит сложный характер с минимумами на глубинах 0–5 и 10–15 см; в почве притеррасной подсистемы пойменного ландшафта в вертикальном распределении элементов, за исключением Mo, отмечены минимумы на глубинах 5–10 и 15–20 см. Для Mo отмечен один минимум, на глубине 5–10 см.

Для поймы р. Унеча установлены следующие закономерности вертикального распределения:

В почве прирусловой подсистемы распределение элементов частично совпадает с таким для аналогичного участка р. Ипать, однако имеется ряд особенностей. Содержание Cr, Pb, Co имеет минимумы на глубинах 0–5 и 10–15 см. Mn сосредоточен в основном в слое 0–5 см, затем его содержание резко убывает. Для Cd отмечен максимум на глубине 10–15 см. В почве притеррасной подсистемы Zn и Cu распределены аналогично такому же элементу ландшафта р. Ипать. Распределение Ni, Cd, Co проходит через минимум в середине слоя 0–20 см. Распределение Cr, Pb и As, наоборот, имеет максимум в середине слоя 0–20 см. Mn распределен практически равномерно. Распределение Mo проходит через минимумы в слоях 0–5 и 10–15 см.

Для поймы р. Беседь установлены следующие закономерности вертикального распределения:

В почве прирусловой подсистемы распределение элементов тоже частично повторяет закономерности распределения на рассмотренных выше ключевых участках. Распределение Cu и Ni проходит через минимум в слое 0–20 см. Содержание цинка слабо изменяется по слоям. Содержание Mn убывает с глубиной. Для Cr и Cd отмечены минимумы на глубинах 5–10 и 15–20 см. Содержание Co и As возрастает с глубиной. Для свинца отмечен максимум в слое 5–10 см, для молибдена в слое 10–15 см. В почве центральной подсистемы пойменного ландшафта для вертикального распределения Cu отмечены минимумы в слоях 5–10 и 15–20 см, Ni имеет выраженный максимум в слое 5–10 см. Содержание Zn, Cd, Co постепенно уменьшается с глубиной. Для Mn, Cr, Pb, Mo и As выявлен максимум в середине слоя 0–20 см.

Анализируя приведенные закономерности, можно предположить, что на вертикальное распределение элементов оказывают влияние не только их химические свойства, но и особенности почв: мощность отдельных горизонтов, гранулометрический состав и показатели плодородия. Это отмечают многие исследователи. Так, в работе ([Кудашкин, 2003](#)) показано, что в условиях кислой и слабокислой реакции среды органическое вещество может закреплять Си в виде труднорастворимых соединений. Другие polyvalentные катионы, вероятно, взаимодействуют схожим образом.

В работе ([Saint-Laurent et al., 2013](#)) отмечается, что различные свойства почвы (рН, $C_{\text{общ}}$, ЕКО, грансостав) участвуют в различных процессах почвообразования, включая удержание или поглощение микроэлементов, в частности, через органические вещества и илестые частицы. Кроме того, металлические элементы могут выщелачиваться в более глубокие горизонты профиля, особенно в кислых почвах.

В работах ([Fijałkowski et al., 2012](#); [Zhang et al., 2018](#)) указывают, что рН почвы считается одним из важнейших факторов, определяющих концентрацию металлов в почвенном растворе, их подвижность и доступность для растений. Увеличение концентрации ионов водорода влияет на интенсивность мобилизации тяжелых металлов. В сильнокислых почвах подвижность металлических элементов намного выше, чем в почвах с нейтральной и щелочной реакцией. Как и уровень рН, содержание органического углерода и илестые частицы в разной степени участвуют в удерживании или ремобилизации микроэлементов, содержащихся в аллювиальных почвах. В работе ([Hooda, 2010](#)) накопление металлов в верхних слоях аллювиальных почв связывают с обогащением этих горизонтов органическим веществом и оксидами железа и марганца, которые действуют как партнеры по сорбции. Это свидетельствует о сильном влиянии первичных свойств почвы и естественных почвенных процессов на вертикальное распределение валового количества металлов. В работе ([Shaheen, Rinklebe, 2014](#)) отмечается, что накопление некоторых металлов в поверхностных горизонтах может указывать на значительный вклад антропогенной деятельности.

В таблицах 1–3 представлены медианы содержания микроэлементов в почвах пойменного ландшафта. По этим величинам рассчитаны значения кларка концентрации (КК), отражающие уровни накопления элементов. Использование для расчета значений медианы обосновано, так как при величине коэффициента вариации более 35% распределение величин не подчиняется закону нормального распределения ([Самсонова, Мешалкина, 2020](#)) и, следовательно, рассчитывать среднюю величину для таких данных некорректно.

Таблица 1. Медиана содержания (мг/кг) элементов в слое почвы 0–20 см почв поймы р. Ипуть

Table 1. Median content (mg/kg) of elements in the soil layer 0–20 cm of soils of the floodplain of the River Iput'

Почва	Cu	Ni	Zn	Mn	Cr	Cd	Pb	Co	Mo	As
Аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная супесчаная	18.44	9.94	27.35	257.42	115.59	0.33	6.66	0.65	0.04	0.86
Коэффициент вариации, %	59	76	60	63	30	162	25	26	65	41
Кларк концентрации	0.92	0.25	0.55	0.30	0.58	0.66	0.67	0.08	0.02	0.17
Аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная среднесуглинистая	13.03	14.79	26.25	294.82	132.22	0.27	5.92	0.57	0.08	0.75
Коэффициент вариации, %	56	58	37	37	28	48	3	36	44	39
Кларк концентрации	0.65	0.37	0.53	0.35	0.66	0.54	0.59	0.07	0.04	0.15
Аллювиальная перегнойно-болотная тяжелосуглинистая	14.97	15.91	36.95	437.68	167.35	0.41	6.81	0.94	0.07	1.18
Коэффициент вариации, %	26	45	77	83	50	113	19	60	68	53
Кларк концентрации	0.75	0.40	0.74	0.51	0.84	0.82	0.68	0.12	0.04	0.24

При группировке КК в виде убывающего ряда получены следующие результаты:

Для пойменного ландшафта р. Ипуть:

– прирусловая: $Cu > Pb > Cd > Cr > Zn > Mn > Ni > As > Co$
> Mo

– центральная: $Cr > Cu > Pb > Cd > Zn > Ni > Mn > As > Co$
Mo

– притеррасная: $Cr > Cd > Cu > Zn > Pb > Mn > Ni > As > Co$
> Mo

Для пойменного ландшафта р. Унеча:

– прирусловая: $Mn > Cr > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd > As > Co$
> Mo;

– центральная: $Mn > Cr > Cu > Zn > Pb > Cd > Ni > As > Co$
Mo;

– притеррасная: $Cu > Zn > Cr > Cd > Pb > Mn > Ni > As > Co$
> Mo.

Для пойменного ландшафта р. Беседь:

– прирусловая: $Mn > Cu \approx Pb \approx Cr > Zn > Cd > Co \approx As > Mo$
> Ni

– центральная: $Cd > Mn > Cu > Pb > Zn > Cr > Ni > As > Co$
Mo

– притеррасная: $Cu > Cd > Zn > Pb > Ni > Cr > Mn > As > Co$
> Mo

Убывающие ряды имеют схожую структуру в пределах каждого ключевого участка, что объясняется однотипными биогеохимическими условиями пойменного режима, в котором формируются аллювиальные почвы. Некоторые отличия в данном случае могут объясняться отличием водного режима и окислительно-восстановительных условий данной почвы от других частей поймы и, как следствие, варьирование горизонтальной подвижности отдельных элементов в ландшафте в целом. Отличия убывающих рядов кларков концентрации между различными ключевыми участками, вероятно, носит более фундаментальный характер, и, видимо, связано с геохимическими особенностями местности.

Таблица 2. Медиана содержания (мг/кг) элементов в слое почвы 0–20 см поймы р. Унеча

Table 2. Median content (mg/kg) of elements in soil layer 0–20 cm of floodplain of Unecha River

Почва	Cu	Ni	Zn	Mn	Cr	Cd	Pb	Co	Mo	As
Аллювиальная дерновая кислая слоистая примитивная укороченная супесчаная	6.70	9.19	22.96	566.97	103.93	0.07	3.11	0.39	0.01	0.32
Коэффициент вариации, %	<i>13</i>	<i>108</i>	<i>49</i>	<i>147</i>	<i>17</i>	<i>74</i>	<i>18</i>	<i>30</i>	<i>122</i>	<i>17</i>
Кларк концентрация	0.33	0.23	0.46	0.67	0.52	0.14	0.31	0.05	0.003	0.06
Аллювиальная луговая кислая маломощная укороченная легкосуглинистая	12.63	14.48	31.08	614.23	136.14	0.19	5.56	0.70	0.02	0.67
Коэффициент вариации, %	<i>16</i>	<i>67</i>	<i>11</i>	<i>66</i>	<i>48</i>	<i>164</i>	<i>18</i>	<i>43</i>	<i>150</i>	<i>134</i>
Кларк концентрация	0.63	0.36	0.62	0.72	0.68	0.38	0.56	0.09	0.01	0.13
Аллювиальная перегноино-болотная среднесуглинистая	22.03	21.04	54.23	524.61	197.47	0.41	6.39	0.75	0.11	1.14
Коэффициент вариации, %	<i>18</i>	<i>52</i>	<i>15</i>	<i>8</i>	<i>17</i>	<i>23</i>	<i>15</i>	<i>10</i>	<i>68</i>	<i>50</i>
Кларк концентрация	1.10	0.53	1.08	0.62	0.99	0.81	0.64	0.09	0.05	0.23

Рассматривая горизонтальное распределение микроэлементов в подсистемах пойменного ландшафта, установлена следующая закономерность: кларк концентрации микроэлементов возрастает от прирусловой к притеррасной части поймы. Полученные данные согласуются с другими аналогичными исследованиями ([Шиманская, Позняк, 2016](#)).

При построении геохимического индекса в ассоциацию накапливающихся элементов относят элементы с относительной концентрацией > 1, в группу рассеивающихся – с относительной концентрацией < 1. Насколько меньше и насколько больше 1, решают в зависимости от выраженности региональной геохимической дифференциации по изучаемым элементам ([Прохорова, 2004](#)).

Mo 0.04, Co 0.07, As 0.15, Mn 0.35, Ni 0.37, Zn 0.53, Cd 0.54, Pb 0.59, Cu 0.65, Cr 0.66

Геохимический индекс аллювиальной перегнойно-болотной
тяжелосуглинистой почвы:

Mo 0.04, Co 0.12, As 0.24, Ni 0.40, Mn 0.51, Pb 0.68, Zn 0.74, Cu 0.75, Cd 0.82 Cr 0.84

Рассматриваемые элементы в почвах прирусловой, центральной и притеррасной подсистем пойменного ландшафта р. Ипуть по величине кларка концентрации относятся к группе рассеивающихся, что типично для почв с примитивным (укороченным) строением профиля, развивающихся на породах бедных микроэлементами. Исключение составляет содержание Cu в почве прирусловой части поймы, которое находится на уровне кларковой (КК = 0.92).

Для почв пойменного ландшафта р. Унеча:

Геохимический индекс аллювиальной дерновой кислой слоистой примитивной укороченной супесчаной почвы:

Mo 0.003, Co 0.05, As 0.06, Cd 0.14, Ni 0.23, Pb 0.31, Cu 0.33, Zn 0.46, Cr 0.52, Mn 0.67

Геохимический индекс аллювиальной луговой кислой маломощной укороченной легкосуглинистой почвы:

Mo 0.01, Co 0.09, As 0.13, Ni 0.36, Cd 0.38, Pb 0.56, Zn 0.62, Cu 0.63, Cr 0.68 Mn 0.72

Геохимический индекс аллювиальной перегнойно-болотной среднесуглинистой почвы:

Cr 0.99, Zn 1.08, Cu 1.10

Mo 0.05, Co 0.09, As 0.23, Ni 0.53, Mn 0.62, Pb 0.64, Cd 0.81

Как для пойменных почв р. Ипуть, все рассматриваемые

микроэлементы в аллювиальной почве прирусловой подсистемы пойменного ландшафта р. Унеча по величине кларка концентрации находятся в группе рассеивающихся. Аналогичные результаты получены для аллювиальной почвы центральной подсистемы поймы. В почве притеррасной части поймы содержание Cr, Zn и Cu находятся на уровне кларковых (КК 0.99–1.10), остальные микроэлементы рассеивающиеся.

Для почв пойменного ландшафта р. Беседь:

Геохимический индекс аллювиальной дерновой кислой слоистой примитивной укороченной супесчаной почвы:

–

Mo 0.01, As 0.05, Co 0.05, Cd 0.16, Zn 0.26, Cr 0.39, Pb 0.39, Cu 0.39, Mn 0.40

Геохимический индекс аллювиальной дерновой кислой маломощной укороченной тяжелосуглинистой почвы:

Cd 3.72

Mo 0.01, Co 0.05, As 0.07, Ni 0.22, Cr 0.30, Zn 0.36, Pb 0.45, Cu 0.53, Mn 0.57

Геохимический индекс аллювиальной перегнойно-болотной тяжелосуглинистой почвы:

Cu 1.34, Cd 1.25

Zn 0.99

Mo 0.02, Co 0.11, As 0.18, Mn 0.40, Cr 0.68, Ni 0.72, Pb 0.78

Рассматриваемые микроэлементы в почвах прирусловой, центральной и притеррасной подсистем пойменного ландшафта р. Беседь по величине кларка концентрации относятся к группе рассеивающихся. Исключение составляет микроэлемент Cd в почве центральной подсистемы поймы, а также Cu и Cd в почве притеррасной подсистемы поймы, которые относятся к ассоциации накапливающихся. Подобное превышение величины кларка, возможно, объясняется антропогенным фактором.

В целом валовое содержание микроэлементов в почвах хозяйственно ценной части рассматриваемого пойменного ландшафта (прирусловой и центральной) ниже кларковых содержаний в

почвах мира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Вертикальное распределение микроэлементов в слое 0–20 см определяется химическими свойствами элемента и генезисом почв пойменных подсистем, и может быть равномерным, убывающим/возрастающим с глубиной, или с концентрированием в отдельных слоях.

2. В пойменном ландшафте кларк концентрации микроэлементов и их содержание, как правило, возрастают от прирусловой к притеррасной подсистеме поймы.

3. Концентрации элементов в почвах пойменных ландшафтов, как правило, не превышают величину кларка. Исключения составляют Cr, Zn и Cu в почве притеррасной подсистемы поймы р. Унеча, Cd – в почве центральной подсистемы поймы р. Беседь, а также Cu и Cd в почве притеррасной подсистемы поймы р. Беседь.

4. Превышение величины кларка некоторыми элементами, особенно нетипичное для пойменных почв легкого гранулометрического состава, и особенности распределения данных элементов могут указывать на их антропогенное происхождение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. С. 116–137.
2. Белоус Н.М. Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 3–11.
3. Белоус Н.М., Подоляк А.Г., Карпенко А.Ф., Смольский Е.В. Эффективность защитных мероприятий при реабилитации кормовых угодий России и Беларуси, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 4. С. 405–413.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

5. *Кудашкин М.И.* Медь и эффективность медьсодержащих удобрений в дерново-подзолистых и пойменных почвах // *Агрохимия*. 2003. № 7. С. 11–18.
6. *Мартынов А.В.* Содержание подвижных форм микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур и влияние на них паводка 2013 года // *Вестник ВГУ, серия: География. Геоэкология*. 2019. № 2. С. 32–39.
7. *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. № 6. С. 680.
8. *Просьянников Д.Е., Балабко П.Н., Просьянников Е.В., Чекин Г.В.* Современное состояние экосистемы правобережной поймы средней Десны и перспективы ее рационального использования // *Агрохимический вестник*. 2012. № 5. С. 9–13.
9. *Протасова Н.А., Щербаков А.П.* Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья // *Почвоведение*. 2004. №1. С. 50–59.
10. *Прохорова Н.В.* Ландшафтный подход в региональных эколого-геохимических исследованиях // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2004. Т. 6. № 2. С. 259–265.
11. *Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л.* Часто встречающиеся неточности и ошибки применения статистических методов в почвоведении // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2020. Вып. 102. С. 164–182. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-102-164-182](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-164-182).
12. *Фацевский Б.В.* Экологическое значение поймы в речных экосистемах // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2007. № 5. С. 118–129.
13. *Шаповалов В.Ф., Плющиков В.Г., Белоус Н.М., Курганов А.А.* Разработка комплекса мероприятий по коренному улучшению естественных кормовых угодий, загрязненных радионуклидом цезий-137 // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2014. № 1. С. 13–20.
14. *Шиманская А.А., Позняк С.С.* Профильное распределение меди, цинка и свинца в пойменных почвах Мозырского полесья // *Экологический вестник*. 2016. № 1. С. 118–123.
15. *Dobrowol'ski G.V., Balabko P.N., Stasjuk N.V., Bykova E.P.* Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences // *Arid Ecosystems*. 2011. Vol. 1. No. 3. P. 119–124.
16. *Fijalkowski K., Kasprzak M., Grobelak A., Placek A.* The influence of selected soil parameters on the mobility of heavy metals in soil. *Inżynieria i*

Ochrona Środowiska // Engineering and Protection of Environment. 2012. No. 15. P. 81–92.

17. Hooda P. Trace Elements in Soils. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2010.

18. 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.

19. 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. P. 142–159.

20. Saint-Laurent D., Gervais-Beaulac V., Baril F., Matteau C., Berthelot J-S. Spatial Variability of Heavy Metal Contamination in Alluvial Soils in Relation to Flood Risk Zones in Southern Québec, Canada // Air, Soil and Water Research. 2013. Vol. 6. DOI: [10.4137/ASWR.S10314](https://doi.org/10.4137/ASWR.S10314).

21. Zhang Y., Zhang H., Zhang Zh., Liu Ch., Sun C., Zhang W., Marhaba T. pH Effect on Heavy Metal Release from a Polluted Sediment // Journal of Chemistry. 2018. Vol. 2018. Article ID 7597640. DOI: [10.1155/2018/7597640](https://doi.org/10.1155/2018/7597640).

REFERENCES

1. Balabko P.N., Sneg A.A., Lokalina T.V., Shchedrin V.N., Pochvy meliorirovannoj pojmy verhnego techeniya reki Oki, ispol'zuemye v intensivnom zemledelii (Soils of the melirated floodplain of the upper reaches of the Oka River, used in intensive agriculture), *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*, 2016, No. 3, pp. 116–137.

2. Belous N.M., Razvitie radioaktivno zagryaznennykh territorij Bryanskoj oblasti v otdalennyj period posle avarii na CHernobyl'skoj AES (Development of radioactively contaminated territories of the Bryansk region in a distant period after the Chernobyl accident), *Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaistvennoj akademii*, 2018, No. 1, pp. 3–11.

3. Belous N.M., Podolyak A.G., Karpenko A.F., Smolsky E.V., Effektivnost' zashchitnykh meropriyatij pri reabilitacii kormovykh ugodij Rossii i Belarusi, zagryaznennykh posle katastrofy na CHernobyl'skoj AES (Effectiveness of protective measures in the rehabilitation of the feed lands of Russia and Belarus contaminated after the Chernobyl disaster), *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, Vol. 56, No. 4, pp. 405–413.

4. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experience methodology), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.

5. Kudashkin M.I., Med' i effektivnost' med'soderzhashchih udobrenij v dernovo-podzolistykh i pojmyennykh pochvah (Copper and efficiency of copper-containing fertilizers in sod-podzolic and floodplain soils), *Agrokimiya*, 2003, No. 7, pp. 11–18.
6. Martynov A.V., Soderzhanie podviznykh form mikroelementov v allyuvial'nykh pochvah pojmy srednego techeniya r. Amur i vliyanie na nih pavodka 2013 goda (The content of mobile forms of trace elements in the alluvial soils of the middle stream floodplain of the river Amur and the impact of the flood of 2013 on them), *Vestnik VGU, seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2019, No. 2, pp. 32–39.
7. Oreshkin V.N., Ulyanochkina T.I., Kuzmenkova V.S., Balabko P.N., Svinec v margancovisto-zhelezistykh konkreciyah razlichnogo razmera iz allyuvial'nykh pochv i otlozhenij (Lead in manganese-ferruginous nodules of various sizes from alluvial soils and sediments), *Geokhimiya*, 2000, No. 6, p. 680.
8. Prosyannikov D.E., Balabko P.N., Prosyannikov E.V., Chekin G.V., Sovremennoe sostoyanie ekosistemy pravoberezhnoj pojmy srednej Desny i perspektivy ee racional'nogo ispol'zovaniya (The current state of the ecosystem of the right-bank floodplain of the middle Desna and the prospects for its rational use), *Agrokhimicheskii vestnik*, 2012, No. 5, pp. 9–13.
9. Protasova N.A., Shcherbakov A.P., Osobennosti formirovaniya mikroelementnogo sostava zonal'nykh pochv Central'nogo Chernozem'ya (Features of the formation of microelement composition of zonal soils of the Central Black Earth Region), *Eurasian Soil Science*, 2004, No. 1, pp. 50–59.
10. Prokhorova N.V., Landshaftnyj podhod v regional'nykh ekologo-geokhicheskikh issledovaniyakh (Landscape approach in regional environmental and geochemical research), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2004, Vol. 6, No. 2, pp. 259–265.
11. Samsonova V.P., Meshalkina J.L., Common inaccuracies and errors in the application of statistical methods in soil science, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, No. 102, pp. 164–182, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-102-164-182](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-164-182).
12. Fashevsky B.V., Ekologicheskoe znachenie pojmy v rechnykh ekosistemakh (Ecological significance of floodplain in river ecosystems), *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, 2007, No. 5, pp. 118–129.
13. Shapovalov V.F., Plyushchikov V.G., Belous N.M., Kurganov A.A., Razrabotka kompleksa meropriyatij po korennomu uluchsheniyu estestvennykh kormovykh ugodij, zagryaznennykh radionuklidom cezij-137 (Development of a set of measures for the radical improvement of natural fodder lands contaminated with caesium radionuclide-137), *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2014, No. 1, pp. 13–20.

14. Shimanskaya A.A., Poznyak S.S., Profil'noe raspredelenie medi, cinka i svinca v pojmnennyh pochvah Mozyrskogo poles'ya (Profile distribution of copper, zinc and lead in floodplain soils of the Mozyr field), *Ekologicheskii vestnik*, 2016, No. 1, pp. 118–123.
15. Dobrovolski G.V., Balabko P.N., Stasjuk N.V., Bykova E.P., Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences, *Arid Ecosystems*, 2011, Vol. 1, No. 3, pp. 119–124.
16. Fijałkowski K., Kacprzak M., Grobelak A., Placek A., The influence of selected soil parameters on the mobility of heavy metals in soil. *Inżynieria i Ochrona Środowiska, Engineering and Protection of Environment*, 2012, No. 15, pp. 81–92.
17. Hooda P., *Trace Elements in Soils*, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2010.
18. 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.
19. 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.
20. Saint-Laurent D., Gervais-Beaulac V., Baril F., Matteau C., Berthelot J.-S., Spatial Variability of Heavy Metal Contamination in Alluvial Soils in Relation to Flood Risk Zones in Southern Québec, Canada, *Air, Soil and Water Research*, 2013, Vol. 6, DOI: [10.4137/ASWR.S10314](https://doi.org/10.4137/ASWR.S10314).
21. Zhang Y., Zhang H., Zhang Zh., Liu Ch., Sun C., Zhang W., Marhaba T., pH Effect on Heavy Metal Release from a Polluted Sediment, *Journal of Chemistry*, 2018, Vol. 2018, Article ID 7597640, DOI: [10.1155/2018/7597640](https://doi.org/10.1155/2018/7597640).