

УДК 632.122.1:631.445

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЛУГОВЫХ ПОЧВАХ РЕКИ УПА В ЗОНЕ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

© 2020 г. Л. В. Переломов<sup>1,\*</sup>, Д. Л. Пинский<sup>2</sup>, И. В. Переломова<sup>3</sup>, Ю. М. Агрошенко<sup>1</sup><sup>1</sup> Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого  
300026 Тула, просп. Ленина, 125, Россия<sup>2</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН  
142290 Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2, Россия<sup>3</sup> Тульский государственный университет 300026 Тула, просп. Ленина, 92, Россия

\*E-mail: perelomov@rambler.ru

Поступила в редакцию 18.04.2020 г.

После доработки 02.06.2020 г.

Принята к публикации 11.09.2020 г.

Изучено содержание и распределение ряда тяжелых металлов (ТМ) в естественных и пахотных аллювиальных луговых почвах в зоне влияния комбината черной металлургии. Содержание большинства ТМ, за исключением Zn и Fe, в изученных почвах находилось в пределах установленных нормативов и величин кларка. В верхнем слое естественной аллювиальной луговой почвы отмечены наиболее высокие концентрации Mn и Fe, что может свидетельствовать об их аккумуляции из выпадений металлургического комбината. В пахотной почве верхний слой содержал максимальные валовые количества всех элементов, за исключением свинца. Самые высокие концентрации подвижных форм всех элементов (за исключением Zn) отмечены в верхнем слое почв естественного сложения, обладающих наибольшим содержанием гумуса и физической глины и с рН<sub>KCl</sub>, близким к нейтральной реакции. Сельскохозяйственное освоение данных почв могло служить причиной изменения характера распределения валовых и подвижных форм элементов по профилю.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, аллювиальные луговые почвы, р. Упа, зона индустриального воздействия.

DOI: 10.31857/S0002188120120078

### ВВЕДЕНИЕ

Пойменные почвы, занимающие в России 29.2 млн га, имеют большое экономическое и экологическое значение [1]. Несмотря на различия пойменных почв по соотношению почвообразовательного и аллювиально-седиментационного процессов, степени и характеру гидроморфизма, истории формирования и развития, все они обладают рядом общих свойств, главными из которых являются слоистость почвенного профиля, аккумуляция данными почвами наряду с автохтонным аллохтонного вещества, большое количество гидроморфных новообразований различного химико-минералогического состава [2]. Аллювиальные почвы, как правило, обладают более высоким плодородием по сравнению с зональными почвами. При нормированном внесении удобрений, поливе и соблюдении рациональной агротехники в пойменных хозяйствах Нечерноземной зоны России получают высокие урожаи: овощей – 50–60 т/га, картофеля – 25–27, кормовых корнеплодов – 50–

65, зеленой массы кукурузы – 50–70, моркови – 60–65, сена – 6–8 т/га [3].

Специфику аккумуляции и трансформации тяжелых металлов (ТМ) в аллювиальных почвах определяют особенности их генезиса, такие как нахождение в подчиненном ландшафте, действие аллювиального процесса, подстиление карбонатными породами. В пахотных почвах на данные процессы оказывают влияние водные мелиорации, внесение высоких доз минеральных и органических удобрений, средств химической защиты растений. Несмотря на незначительный объем, которые занимают аллювиальные почвы в структуре сельскохозяйственных угодий (4.9%) и пашни (0.6%) [4], их использование имеет особое значение в пригородах крупных городов. Например, более 85% овощных культур в Московской обл. размещено в поймах р. Оки, Москвы, Яхромы, Клязьмы, Дубны и др. Только из Яхромской поймы в Москву и область поступает ежегодно более 130 тыс. т овощей [3]. Однако в связи со зна-

чительной техногенной эмиссией вредных веществ, пригородные и городские аллювиальные сельскохозяйственные почвы должны быть объектами постоянного экологического мониторинга.

Цель работы – изучение содержания и распределения общего содержания и форм тяжелых металлов в аллювиальных почвах р. Упа в черте г. Тулы в зоне воздействия металлургического комбината.

Сопоставление содержания ТМ в атмосферных осадках и речном стоке, выполненное для Верхнеокского бассейна [5], показало, что в целом поступление Cu, Zn, Ni, Cd на изученной территории с атмосферными осадками почти в 2 раза меньше их выноса с речным стоком, а баланс свинца близок к нулю. Поступают ТМ в бассейн преимущественно в растворимой форме, а выносятся главным образом со взвешенным веществом. При этом региональные модули атмосферных выпадений Mn и Cu близки к глобальным, а модули выпадений Zn, Ni, Pb, Cd – в 1.5–3.0 раза больше глобальных. Проведенные ранее исследования показали, что в изученном районе ежегодно на 1 м<sup>2</sup> поверхности почвы может поступать с жидкими атмосферными осадками и пылью 1776–18263 мг Fe, 85–211 мг Mn, 115–222 мг Zn, 9.4–36.4 мг Ni, 11.4–92.5 мг Pb, 2.1–19.2 мг Cd [6].

Сравнение основных составляющих приходной части геохимического баланса ТМ на уровне типичного для изученной территории агропроизводственного ландшафта (поступление элементов с жидкими и твердыми осадками, удобрениями, без учета поступления с пожнивными остатками и опадом, посевным материалом, известковой мукой) с потерями микроэлементов за счет различных миграционных процессов также показало, что в целом сложившийся баланс – отрицательный, за исключением цинка. За счет специфических агрогенных источников ТМ в пахотные почвы возможно поступление на 1 м<sup>2</sup>: 256–542 мг железа, 28–53 мг марганца, 23–47.5 мг цинка, 2.3–4.6 мг никеля, 0.6–2.0 мг свинца и 0.05–0.23 мг кадмия. При этом поступление ТМ в агроландшафт составляло от 13% для Mn до 50–70% для остальных элементов от их суммарного выноса из агроценоза. В то же время с учетом вышеперечисленных недостающих статей баланс практически всех элементов, кроме железа, меди, свинца и частично никеля становился положительным. Для агроэкосистем, где выращивают зерновые, и технологическая эрозия отсутствует, баланс Cr, Ni и Zn положительный, Mn, Cu и Co – отрицательный, Pb – приблизительно нулевой, либо в отдельные годы положительный. Восполнение по-

терь ТМ в почве за счет внесения минеральных удобрений не превышает 15–35% от суммарных потерь агроэкосистемой [6].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение содержания, распределения и фракционного состава ТМ в аллювиальных луговых почвах проводили на 2-х участках в пойме р. Упы на окраине г. Тулы (Криволучье) (рис. 1). Один участок занят естественной луговой растительностью, местами периодически переувлажняется. Другой участок представлен сельскохозяйственной почвой, используемой для выращивания пропашных овощных культур. Участки расположены в непосредственной близости друг от друга, на расстоянии ≈3 км от металлургического комбината.

Смешанные образцы почв из различных слоев (0–20 см, 20–40 см и 40–60 см) отбирали методом конверта, из 5-ти точек – один образец. Образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, освобождали от корней, пропускали через сито с диаметром ячеек 1 мм. Общие физические и химические свойства образцов почв (табл. 1) определяли с использованием стандартных методов, принятых в отечественном почвоведении [7]: гумус – по Тюрину, рН<sub>KCl</sub> – потенциометрическим методом, гидролитическую кислотность – по Каппену, подвижные фосфор и калий – по Кирсанову, поглощенные основания – по Блэку. Гранулометрический состав исследовали методом пипетки (вариант Качинского) с подготовкой почвы к анализу пирофосфатным методом по Долгову–Личмановой [7].

Пробоподготовку почв для определения общего содержания ТМ проводили по методу, описанному Гелетюк и Золотаревой [8] последовательной обработкой навески пробы концентрированными кислотами HF, HNO<sub>3</sub> и HCl после минерализации образца в муфельной печи. Извлечение подвижных форм ТМ осуществляли ацетатно-аммонийным буферным раствором рН 4.8 [7].

Экстракцию форм ТМ, связанных с различными компонентами почв (табл. 2), осуществляли по методу Тессьера [9]. Извлечение форм ТМ проводили в пластиковых центрифужных стаканах. Твердую и жидкую фазы после обработки соответствующим реагентом разделяли центрифугированием в течение 30 мин при скорости 10000 об./мин. После каждой экстракции оставшийся осадок промывали дистиллированной водой, после чего снова проводили центрифугирование и раствор удаляли. Определение концентраций ТМ в растворах проводили методом

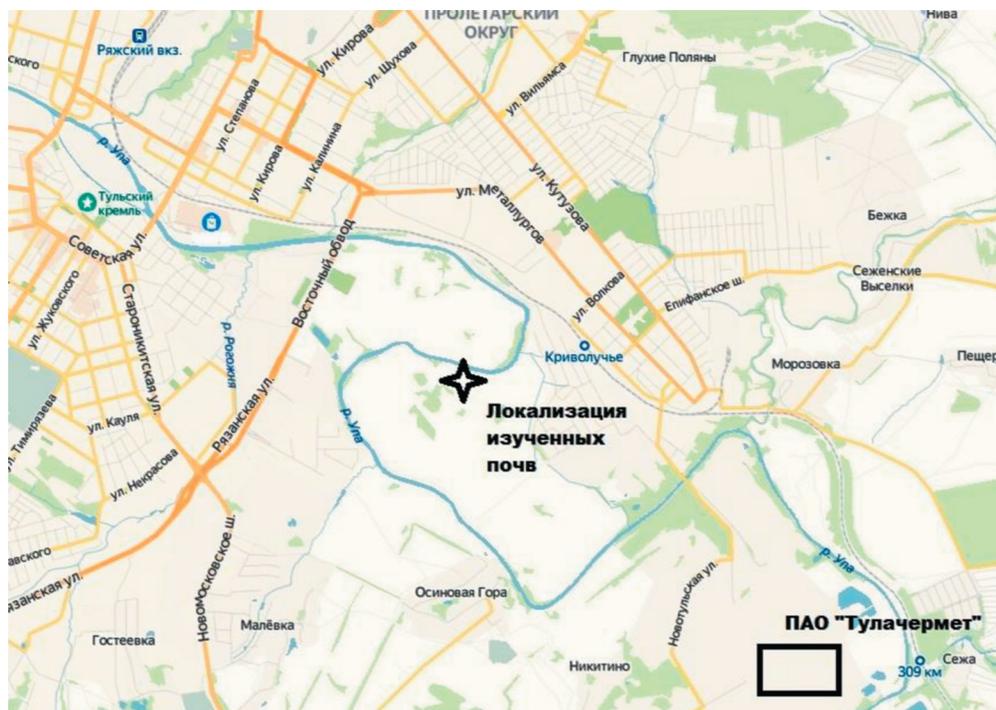


Рис. 1. Локализация изученных почв.

атомно-абсорбционной спектрофотометрии с плазменной и электротермической атомизацией проб.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение содержания ТМ в почвах Тульской обл. показало их повышенное содержание в почвах городов, в которых размещены крупные промышленные предприятия [10]. Для предприятий черной металлургии, характерных для г. Тулы, типоморфными металлами техногенной аномалии являются Ni, Mn, Pb, Cu, Zn. В промышленных узлах Тулы и Новомосковска плотность выпадения пыли и соответственно аэрозольный по-

ток ТМ превышает региональный фон более чем в 3 раза [5]. Наиболее контрастные геохимические аномалии в почвах г. Тулы характерны для элементов первого класса экологической опасности: Pb, Zn и Hg. Ореолы с максимальными уровнями загрязнения почв в основном находятся в правобережной части города и приурочены к промышленным предприятиям машиностроительного профиля и крупным транспортным магистралям [11].

Несмотря на то, что изученные пойменные участки находятся в непосредственной близости друг к другу, почвы под лугом по гранулометриче-

Таблица 1. Характеристика физико-химических свойств целинных и пахотных аллювиальных луговых почв р. Упа

Участок	Глубина	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	K	Физ. песок, %	Физ. глина, %
				мг/100 г почвы		мг-экв/100 г почвы					
Пойма р. Упы, луг	0–20	6.8	7.3	1.3	6.0	60.00	2.70	0.82	0.37	40.8	59.2
	20–40	4.8	6.7	3.5	6.0	29.00	1.45	0.54	0.25	58.4	41.6
	40–60	2.9	6.8	4.0	8.1	25.50	1.23	0.52	0.30	56.6	43.4
Пойма р. Упы, пашня	0–20	3.8	7.4	27.5	14.5	38.00	2.92	0.24	0.46	65.1	34.9
	20–40	2.9	7.5	14.0	9.3	46.00	2.92	0.32	0.32	65.5	34.5
	40–60	3.5	7.4	3.8	6.0	48.00	2.70	0.34	0.25	63.3	36.7

**Таблица 2.** Схема последовательных селективных экстракций [9]

Последовательность экстракции	Название фракции	Экстрагент, условия экстракции
1	Обменная (Ex)	1 М MgCl <sub>2</sub> (рН 7.0)
2	Связанная с карбонатами (экстрагируемая ацетатом натрия с рН 5 (для некарбонатных почв)) (AcNa)	1 М CH <sub>3</sub> COONa (рН 5.0)
3	Связанная с оксидами/гидроксидами Fe и Mn (Ox)	0.04 NH <sub>2</sub> OH · HCl + 25% (V) CH <sub>3</sub> COOH (t = 96 ± 3°C)
4	Связанная в прочные комплексы с органическим веществом (Or)	HNO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (t = 85 ± 2°C)
5	Остаточная (Res)	HClO <sub>4</sub> + HF

**Таблица 3.** Содержание тяжелых металлов в целинных и пахотных аллювиальных луговых почвах р. Упа (мг/кг)

Участок	Глубина	Mn <sub>вал</sub>	Mn <sub>подв</sub>	Fe <sub>вал</sub>	Fe <sub>подв</sub>	Pb <sub>вал</sub>	Pb <sub>подв</sub>	Zn <sub>вал</sub>	Zn <sub>подв</sub>	Cd <sub>вал</sub>	Cd <sub>подв</sub>	Ni <sub>вал</sub>	Ni <sub>подв</sub>
Пойма р. Упы, луг	0–20	760	128	33000	82	15.0	0.8	100	12	0.35	0.16	24.5	0.60
	20–40	600	14	22500	18	15.0	0.4	120	5	0.30	0.06	28.5	0.10
	40–60	700	10	25000	10	17.5	0.1	125	2	0.25	0.05	25.5	0.05
Пойма р. Упы, пашня	0–20	580	22	31500	22	15.0	0.5	225	13	0.40	0.13	27.5	0.05
	20–40	560	18	27000	30	15.5	0.5	115	11	0.35	0.11	22.5	0.05
	40–60	540	20	23500	44	15.0	0.5	95	23	0.25	0.08	21.0	0.30
ОДК [13]						130		220		2		80	
ПДК [14]		1500	100*, 140**	22300 [15]		32	6	100 [16]	23				4

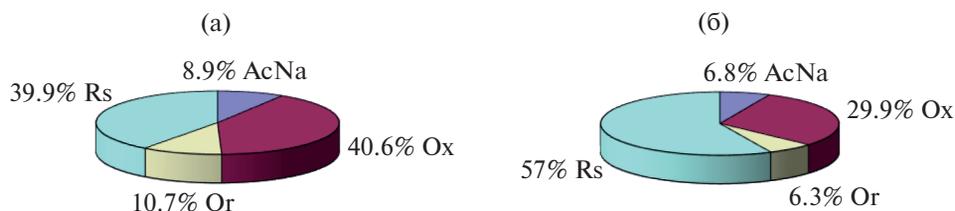
\*Для дерново-подзолистой почвы рН 6.0.

\*\*Для чернозема.

скому составу являются тяжелыми суглинками, а пахотные – средними суглинками (табл. 1). В почвах естественного сложения наибольшее количество частиц физической глины отмечено для слоя 0–20 см, непосредственно подверженного аллювиальному процессу; с глубиной количество физической глины значительно уменьшается, приближаясь к верхней границе среднего суглинка. Гранулометрический состав пахотных почв является однородным по всей изученной глубине (0–60 см). С глубиной в почвах естественного сложения уменьшается количество гумуса и содержание обменных оснований, несколько снижается рН. В пахотных почвах в слое 0–60 см отмечено относительно равномерное распределение гумуса (с уменьшением в слое 20–40 см), кислотность практически не изменяется. Максимальное количество подвижного фосфора и обменного калия в сельскохозяйственной почве приурочено к пахотному горизонту (табл. 1). Данные закономерности изменения свойств почв в слое 0–60 см очевидно оказывают влияние на распределение ряда микроэлементов и их подвижных форм.

Слоистость почвенного профиля, различная степень гидроморфизма, поступление металлов с аллювием и горизонтальными потоками вещества, минеральными и органическими удобрениями, а также аэротехногенным загрязнением делает проблему изучения поведения ТМ в пойменных почвах весьма сложной. Зачастую просто невозможно однозначно ответить на вопрос о причине изменения в них концентраций ТМ.

Сравнение содержания ТМ в аллювиальных почвах и зональных серых лесных почвах на основе ранее полученных данных [12] показало, что пойменные почвы как в агроэкосистемах, так и под естественным ценозом, несмотря на их положение в геохимически подчиненном ландшафте, обеднены валовым марганцем по сравнению с серыми лесными почвами под дубравой. Общее содержание марганца в почвах под лугом несколько больше его содержания в пахотных почвах, причем на всех изученных глубинах (табл. 3). Это может быть обусловлено как его привносом с техногенными выпадениями, так и активным участием в биологическом круговороте в естественных экосистемах. Показано обогащение зональных



**Рис. 2.** Формы цинка в целинных и пахотных аллювиальных луговых почвах р. Упа: (а) – почва естественного сложения под лугом, (б) – пахотная почва; AcNa – фракция, связанная с карбонатами (экстрагируемая ацетатом натрия), Oх – фракция, связанная с оксидами/гидроксидами Fe и Mn, Or – фракция, связанная в прочные комплексы с органическим веществом, Res – остаточная фракция.

серых лесных почв марганцем под широколиственным лесом, причем значительная его часть (порядка 10%) находилась в подвижных формах [12]. В пахотных почвах как валовые, так и подвижные формы марганца распределены более равномерно. Уменьшение концентраций подвижного марганца в сельскохозяйственных почвах может быть обусловлено как его миграцией в более глубокие горизонты, так и латеральным выносом и отчуждением урожаем.

Железо является характерным элементом пойменных лугов и болот, который накапливается в растениях и энергично мигрирует в почвах и водах, концентрируется на окислительном барьере в верхнем горизонте почв [17]. Суммарное содержание железа в слое 0–60 см в естественных и пахотных почвах соизмеримо и максимально (превышало кларк) в слое 0–20 см. Максимальная аккумуляция железа в верхнем слое этих почв не зависела ни от содержания гумуса, ни от количества физической глины, ни от кислотности и могла быть обусловлена аэротехногенным привносом. В пахотных почвах в слое 0–40 см валовое железо распределено более равномерно. Количество подвижных форм железа максимально в верхнем слое естественных почв и уменьшалось с глубиной, в пахотных почвах оно, наоборот, возрастало с глубиной.

Содержание свинца как в пахотных почвах, так и в почвах под лугом на разных глубинах было одинаковым. Известно, что одним из основных источников свинца в городских почвах, удаленных от точечных источников его эмиссии, является автотранспорт. Исследованные участки находятся на значительном удалении от крупных автомобильных дорог города. Суммарный запас подвижных форм свинца в слое 0–60 см обеих почв соизмерим, но в пахотных почвах элемент распределен более равномерно.

Концентрация цинка как в почвах естественного сложения, так и в пахотных, находилась в целом в пределах ныне существующих ОДК, но превышала длительное время существовавшие

ПДК в нашей стране. Максимальное его содержание отмечено в пахотных почвах в слое 0–20 см и немного превышало ОДК. Это происходило, несмотря на более тяжелый гранулометрический состав и более высокое содержание гумуса почв под лугом, близкую кислотность. Источником цинка для пополнения остаточной фракции могут быть органические удобрения, техногенные поступления, а также наилок, приносимый во время половодий. Причем логично предположить, что во время половодий в пахотных почвах ввиду их лучшей водопроницаемости задерживается большее количество элемента. В почвах под лугом концентрации элемента с глубиной несколько увеличиваются, на пашне – уменьшаются с глубиной. Распределение подвижных форм элемента имеет противоположный характер и в слое 40–60 см в пахотных почвах достигает величины ОДК.

Для изучения роли отдельных компонентов почв в увеличении содержания цинка в почвах было проведено его фракционирование согласно методу Тессьера с соавторами [9] (рис. 2). Содержание элемента в обменной фракции было меньше уровня чувствительности прибора.

Наибольшее количество цинка в верхнем слое изученных почв находится в остаточной фракции и фракции, связанной с оксидами и гидроксидами Fe и Mn. Во фракции, прочно связанной с органическим веществом, и экстрагируемой ацетатом натрия, находится приблизительно одинаковое количество элемента, независимо от характера использования почвы. Увеличение содержания цинка в верхнем горизонте пахотной почвы обусловлено значительным ростом его содержания в остаточной фракции. Металлы, входящие в состав данной фракции, представлены прочными соединениями в составе первичных и глинистых минералов и не способны переходить в почвенный раствор и поглощаться растениями. Тем не менее, высокие концентрации цинка в пахотной почве вызывают опасения и требуют детального и постоянного мониторинга за качеством выращиваемой на ней сельскохозяйственной продукции.

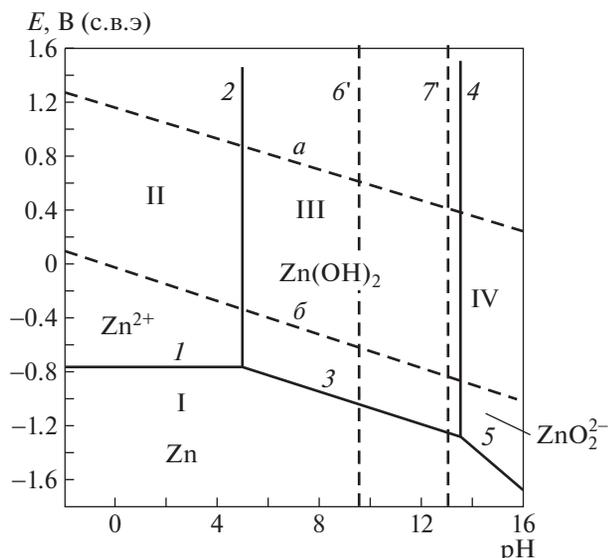


Рис. 3. Диаграмма E–pH для системы Zn–H<sub>2</sub>O [18].

Диаграмма Пурбе для цинка (рис. 3) [18] демонстрирует, что при данных pH в диапазоне окислительно-восстановительных потенциалов, характерных для аллювиальных почв Центральной России, цинк может существовать как отдельная фаза в форме гидроксида. Однако в реальных почвенно-экологических условиях скорее всего возможно его соосаждение с гидроксидами железа и марганца, чем и обусловлено его высокое содержание в этой фракции. Изменения концентраций цинка во фракции, связанной с оксидами/гидроксидами железа и марганца, а также во фракции, связанной с органическим веществом, в пахотных почвах не происходило, однако доля этих фракций в пахотных почвах (в %) уменьшалась в связи с ростом общего содержания элемента за счет остаточной фракции.

Достаточно высокое содержание элемента во фракции, экстрагируемой ацетатом натрия при pH 5.0, может быть связано как со специфической адсорбцией цинка на органических и неорганических компонентах ППК, так и образованием труднорастворимых солей с карбонатами и фосфатами, которые растворяются при pH ≤ 5.0 [19]. Значительная роль фосфатов в иммобилизации цинка в интервале нагрузок 20–500 мг цинка/100 г почвы отмечена в работе [20].

Существенных различий в содержании валового кадмия и валового никеля между пахотными и естественными почвами не обнаружено, их концентрации находились в пределах установленных нормативов (табл. 3). В обеих почвах максимальные концентрации валового и подвижного кадмия были характерны для верхнего слоя и уменьшались с глубиной. Наибольшее количество по-

движных кадмия и никеля отмечено в наиболее гумусированном и тяжелом по гранулометрическому составу образце почвы. В пахотных почвах, в слое 0–40 см, в наибольшей степени подверженному сельскохозяйственному воздействию, содержание подвижного никеля было минимальным и выравненным по концентрации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на нахождение на окраине крупного промышленного города в зоне действия металлургического комбината содержание большинства тяжелых металлов, за исключением Zn и Fe, в естественных и пахотных аллювиальных почвах находилось в пределах установленных нормативов и величин кларков, что могло быть обусловлено преобладанием выноса этих элементов над поступлением, что характерно в целом для баланса тяжелых металлов в этом регионе.

В верхнем слое естественной аллювиальной луговой почвы отмечены наиболее высокие среди природных и пахотных почв концентрации марганца и железа, что могло свидетельствовать об аккумуляции этих элементов из выпадений находящегося поблизости комбината черной металлургии. Также в верхнем слое почвы под лугом аккумуляровалось наибольшее количество кадмия. В пахотной почве верхний слой содержал максимальные валовые количества всех элементов, за исключением свинца.

Максимальное количество подвижных форм всех элементов (за исключением цинка) наблюдали в верхнем слое почв естественного сложения, с наибольшим содержанием гумуса и физической глины среди всех изученных почв и pH<sub>KCl</sub>, близким к нейтральному.

Сельскохозяйственное освоение изученных почв может служить причиной изменения характера распределения валовых и подвижных форм ряда элементов по профилю на глубину до 60 см, что чаще выражалось в наиболее равномерном их распределении. Для подвижных форм железа, цинка, никеля характерно вымывание в нижележащие горизонты пахотной почвы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабко П.Н., Хуснетдинова Т.И. Развитие учения о пойменном почвообразовании и проблемы классификации и эволюции пойменных почв // Экологическое почвоведение: этапы развития, вызовы современности. К 100-летию со дня рожд. Г.В. Добровольского / Под ред. Шобы С.А., Ковалевой Н.О. М.: ГЕОС, 2015. С. 84–94.
2. Добровольский Г.В., Афанасьева Т.В., Балабко П.Н., Федоров К.Н. Морфогенетические и режимно-экологические принципы классификации аллюви-

- альных почв // Почвы речных долин и дельт, их рациональное использование и охрана. Тез. Докл. Всесоюз. конф. М., Изд-во МГУ, 1984. С. 4–5.
3. Курматов А.А. Особенности свойств и режимов почв Москворецкой поймы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: РУДН, 2004. 19 с.
  4. Романенко Г.А., Комов Н.В., Тютюнников А.И. Земельные ресурсы России, эффективность их использования. М.: РАСХН, 1996. 306 с.
  5. Золотарева Б.Н. Тяжелые металлы в почвах Верхнеокского бассейна // Почвоведение. 2003. № 2. С. 173–182.
  6. Учеватов В.П. Природные и антропогенные потоки вещества в ландшафтах Русской равнины: Дис. ... д-ра биол. наук. Пушкино, 1994. 471 с.
  7. Агрохимические методы исследования почв. Изд-е 5-е. М.: Наука, 1975. 656 с.
  8. Гелетюк Н.И., Золотарева Б.Н. Использование метода беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии для анализа проб различных компонентов биосферы. Препринт. Пушкино, 1980. 25 с.
  9. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // *Analyt. Chem.* 1979. V. 51. № 7. P. 844–851.
  10. Арлянов В.А., Волкова Е.М., Нечаева И.А., Скворцова Л.С. Содержание тяжелых металлов в почве как индикатор антропогенного загрязнения Тульской области // *Изв. ТулГУ. Естеств. науки.* 2015. № 4. С. 194–204.
  11. Комиссаров М.С. Разработка системы мониторинга загрязнения почв тяжелыми металлами на территории Подмосковного угольного бассейна: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Тула: ТулГУ, 2007. 24 с.
  12. Переломов Л.В., Пинский Д.Л. Формы Mn, Pb и Zn в серых лесных почвах Среднерусской возвышенности // *Почвоведение.* 2003. № 6. С. 682–691.
  13. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2511-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 10 с.
  14. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
  15. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почвах и предельные уровни их содержания по показателям вредности (по состоянию на 01.01.1991). М.: Госкомприрода СССР, № 02-2333 от 10.12.1990.
  16. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв сельтебных ландшафтов. Р. н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2013. 388 с.
  17. Добровольский Г.В. Поймы рек как ландшафты высокой плотности жизни и интенсивного почвообразовательного процесса // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 226–231.
  18. Залкин В.М. О строении расплавов в бинарных металлургических системах с эвтектическими диаграммами состояния // *Журн. физ. химии.* 1972. Т. 46. № 1. С. 8–14.
  19. Dhillon S.K., Dhillon K.S. Zinc adsorption by alkaline soils // *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 1984. V. 32. № 2. P. 250–252.
  20. Кудярова А.Ю., Семенюк Н.Н. Химические и микробиологические аспекты буферности серых лесных почв при загрязнении цинком // *Почвоведение.* 1999. № 2. С. 225–234.

## Heavy Metals in Alluvial Meadow Soils of the Upa River in the Zone of Industrial Exposure

L. V. Perelomov<sup>a, #</sup>, D. L. Pinsky<sup>b</sup>, I. V. Perelomova<sup>c</sup>, and Y. M. Atroschenko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Tula Lev Tolstoy State Pedagogical University  
prosp. Lenina 125, Tula 300026, Russia

<sup>b</sup> Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS,  
Institutskaya ul. 2, Moscow Region, Pushchino 142290, Russia

<sup>c</sup> Tula State University, prosp. Lenina 92, Tula 300026, Russia

<sup>#</sup> E-mail: perelomov@rambler.ru

The concentration and depth distribution of a number of heavy metals in natural and arable alluvial meadow soils in the impact zone of the ferrous metallurgy plant was studied. The concentration of most heavy metals, with the exception of Zn and Fe, in the studied soils is within the established standards and clark values. There are highest concentrations of Mn and Fe in the upper layer of natural alluvial meadow soil that may indicate their accumulation from emission of the metallurgical plant. The top layer of the arable soil contains the maximum total amounts of all elements, with the exception of Pb. The highest concentrations of mobile forms of all elements (with the exception of Zn) are observed in the upper layer of the natural soil, which has the highest amount of humus and physical clay and a salt pH close to neutral. Agricultural use of alluvial soils can cause a change in the trends of the depth distribution of total and mobile forms of the elements along the profile.

*Key words:* heavy metals, alluvial meadow soils, Upa river, zone of industrial exposure.