

Содержание валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах земель сельскохозяйственного назначения

А. А. Павлов

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Москва, Россия

E-mail: kuroz@mail.ru

Аннотация. Цель и задачи. Исследование направлено на изучение особенностей распределения валовых форм цинка, свинца, кадмия по генетическим горизонтам почвенного профиля дерново-подзолистых супесчаных почв земель сельскохозяйственного назначения Рязанской области и определение современных фоновых концентраций. **Методология и методы.** Для решения поставленных задач были заложены шурфы глубиной 1,5 м в разных районах области, проанализированы глубина и особенности строения почвенного слоя, влияние на условия миграции исследуемых элементов. По результатам определения содержания исследуемых элементов в почве по интервалам 0,1–0,2 м до материнской выполнен расчет фоновых концентраций. Проведен сравнительный анализ предлагаемых фоновых значений с общеизвестными значениями мировых и отечественных исследователей. **Научная новизна** проведенных исследований заключается в том, что предлагаемые фоновые значения являются современными и рассчитаны непосредственно для дерново-подзолистой супесчаной почвы Рязанской области. **Результаты.** Строение почвенных профилей дерново-подзолистой супесчаной почвы при глубине 110–120 см имеет следующий вид: О – А – EL – ELBt – Bt – BtC – C. При этом зафиксированы в горизонтах А и Bt заметные геохимические барьеры, задерживающие миграцию тяжелых металлов. Полученные значения исследуемых элементов располагались в диапазонах концентраций для Zn (5,4–12,8 мг/кг), Pb (2,1–7,4 мг/кг), Cd (0,031–0,081 мг/кг). Предложены фоновые концентрации: Zn – 8,3 мг/кг, Pb – 4,2 мг/кг, Cd – 0,053 мг/кг, которые отличаются от общеизвестных значений мировых и отечественных исследователей, представленных в сравнительном анализе и дают современное представление о региональном фоновом содержании валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах Рязанской области.

Ключевые слова: геохимический барьер, дерново-подзолистая супесчаная почва, почвенный горизонт, тяжелые металлы, фоновые концентрации

Для цитирования: Павлов А. А. Содержание валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах земель сельскохозяйственного назначения // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1138–1146. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1138-1146>.

Дата поступления статьи: 04.04.2024, **дата рецензирования:** 16.05.2024, **дата принятия:** 13.06.2024.

Content of gross forms of zinc, lead and cadmium in sod-podzolic sandy loam soils of agricultural lands

A. A. Pavlov

All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russia

E-mail: kupoz@mail.ru

Abstract. Purpose and objectives. The research is aimed at studying the peculiarities of the distribution of gross forms of zinc, mumps, cadmium according to the soil profile of sod-podzolic sandy loam soils of agricultural lands of the Ryazan region and determining the current regional background. **Methodology and methods.** To solve the tasks set, pits with a depth of 1.5 m were laid in different regions of the region, the depth and structural features of the soil layer and the effect on the migration conditions of the studied elements were analyzed. Based on the results of determining the content of the studied elements in the soil at intervals of 0.1–0.2 m to the maternal, the calculation of background concentrations was performed. A comparative analysis of the proposed background values with well-known values of world and domestic researchers has been carried out. **The scientific novelty** of the conducted research lies in the fact that the proposed background values are modern and calculated directly for the sod-podzolic sandy loam soil of the Ryazan region. **Results.** The structure of soil profiles of sod-podzolic sandy loam soil at a depth of 110–120 cm has the following form: O – A – EL – ELBt – Bt – BtC – C. At the same time, noticeable geochemical barriers delaying the migration of heavy metals are noted in the horizon A and Bt. The obtained values of the studied elements were in the concentration ranges for Zn (5.4–12.8 mg/kg), Pb (2.1–7.4 mg/kg), Cd (0.031–0.081 mg/kg). Background concentrations are proposed: Zn – 8.3 mg/kg, Pb – 4.2 mg/kg, Cd – 0.053 mg/kg, which differ from the well-known values of world and domestic researchers presented in a comparative analysis and give a modern idea of the regional background content of gross forms of zinc, lead and cadmium in sod-podzolic sandy loam soils Ryazan region.

Keywords: geochemical barrier, sod-podzolic sandy loam soil, soil horizon, heavy metals, background concentrations

For citation: Pavlov A. A. Content of gross forms of zinc, lead and cadmium in sod-podzolic sandy loam soils of agricultural lands. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1138–1146. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1138-1146>. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.04.2024, **date of review:** 16.05.2024, **date of acceptance:** 13.06.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Дерново-подзолистые почвы занимают пятую часть в структуре сельскохозяйственных площадей в Рязанской области, и их эффективное использование вносит существенный вклад в развитие экономики региона [1]. На исследуемой территории в настоящее время наблюдается интенсификация темпов техногенного воздействия на окружающую среду, и это приводит к широкомасштабному химическому загрязнению агроэкосистем. Большая часть тяжелых металлов поступает в почву за счет деятельности промышленных предприятий, сельскохозяйственных комплексов, развитой автотранспортной инфраструктуры вблизи населенных пунктов [2]. Повсеместное вовлечение природных ресурсов для интенсивного использования в промышленных целях способствует изменению биохимических циклов задействованных химических элементов [3]. По данным официальной статистики, на территории региона за последний год в ат-

мосферный воздух выброшены десятки тысяч тонн поллютантов, которые результате рассеивания из атмосферы попадают на поверхность почвы и водных объектов [4–6].

В Рязанской области к приоритетным тяжелым металлам относятся цинк, кадмий, свинец (I класс опасности); хром, никель, медь, кобальт, бор (II класс опасности); марганец, ванадий (III класс опасности) [5]. Основная часть тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду, попадает на поверхность почвы, которая обеспечивает выполнение экологических и барьерных функций, влияющих на биогеоценозы [5, 7, 8]. В отдельные годы в почвах области наблюдалось количество тяжелых металлов, превышающее фоновые показатели по свинцу, кадмию, цинку, меди и др. В этой связи в почве происходит бесконтрольное накопление тяжелых металлов, которое на фоне несоблюдения научно обоснованных технологий использования земель, в том числе дефицита внесения органиче-

ских удобрений, частичного отсутствия севооборота, приводит в первую очередь к снижению плодородия и продуктивности, к потере способности почвы сохранять свои экологические функции при антропогенном воздействии [9–13]. Дерново-подзолистая супесчаная почва в силу своих особенностей формирования и низкого по сравнению с другими почвами региона запаса органического вещества, микро- и макроэлементов является наиболее восприимчивой к такому сценарию развития событий.

Загрязнение сельскохозяйственных агроландшафтов имеет прямую связь с потенциальным риском для здоровья населения, так как высокие концентрации тяжелых металлов из почвы проникают в продукцию растениеводства, снижая качество товарной продукции. В этой связи осуществление своевременного мониторинга загрязнения используемых сельскохозяйственных земель является важной задачей [14; 15], а проведение оценки уровня загрязнения почв невозможно без использования современных фоновых значений содержания элементов конкретного региона, которые на сегодняшний день в Рязанской области отсутствуют или устарели. При выполнении оценки уровня загрязнения почв и расчете категории загрязнения чаще всего используются ориентировочные фоновые концентрации для средней полосы России. Таким образом, проведенная оценка загрязнения почв с использованием таких значений может не совсем точно отражать действительную картину загрязнения. Поэтому расчет фоновых концентраций для дерново-подзолистой супесчаной почвы является актуальным для условий Рязанской области.

Методология и методы исследования (Methods)

В основе методологии настоящих исследований лежат комплексный анализ полученных данных в ходе проведения полевых и лабораторных работ и аналитическое сравнение результатов исследований с данными других авторов. Исследования проведены в 2019–2022 годах на дерново-подзолистых

супесчаных почвах, получивших наибольшее распространение в северной и северо-восточной частях Рязанской области и простирающихся вдоль левого берега р. Оки. Почвообразующими породами исследуемых дерново-подзолистых супесчаных почв выступают водноледниковые и древнеаллювиальные отложения.

Места (точки) закладки шурфов и опробования почв располагались на землях сельскохозяйственного назначения вне зон локальных техногенных влияний, на достаточном расстоянии от населенных пунктов, с наветренной стороны, в отдалении от автомобильных магистралей. Точка № 1 определена в Рыбновском районе левобережья р. Оки (южнее с. Шехмино), точка № 2 в Спасском районе – левобережье р. Оки (близ д. Сумбулово – с. Новики), точка № 3 на границе Ермишинского и Касимовского районов – правобережье р. Оки (близ п. Лебяжий Бор – п. Игошино) (рис. 1). Почвенные горизонты исследуемых дерново-подзолистых супесчаных почв по окислительно-восстановительным параметрам характеризуются как окислительные, по кислотности – кислые.

Почвенные разрезы закладывались в местах отбора проб почвы и грунтов на содержание валовых форм цинка, свинца и кадмия с целью изучения почв, отбора проб и имели размеры 120 см – длина, 70 см – ширина и 150 см – глубина. Морфологическое строение профилей и описание генетических горизонтов представлено согласно действующей классификационной системе почв России. Отбор проб почв выполнялся на всю глубину почвенного профиля, включая почвообразующую породу, до 150 см от поверхности, с интервалом 10 см (на глубине 0–30 см), с интервалом 20 см (на глубине 30–150 см). Лабораторный анализ отобранных почвенных образцов с целью определения содержания валовых форм цинка, свинца и кадмия осуществлялся по методике М-МВИ-80-2008 в экоаналитической лаборатории. Сравнительный анализ

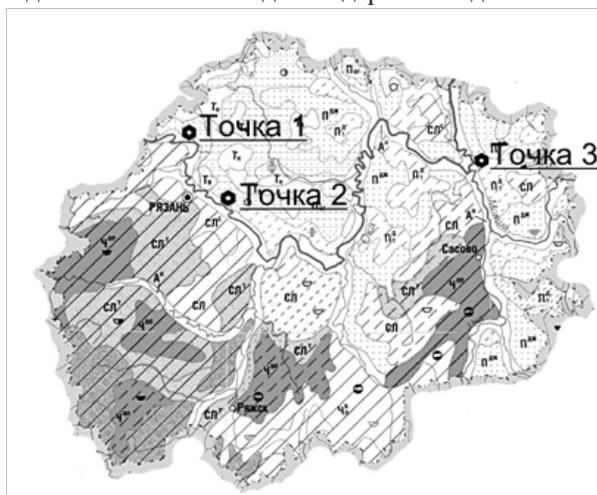


Рис. 1. Схема расположения точек опробования почв



Fig. 1. The layout of the soil sampling points

расчетного фонового значения, а также значений по интервалам выполнялся посредством сравнения с ориентировочными фоновыми концентрациями для средней полосы России по СП 502.1325800.2021 (ОФК), гигиеническими нормативами, характеризующими ориентировочную допустимую концентрацию вещества в почве по СанПиН 1.2.3685-21 (ОДК), с почвами мира по материалам международного геохимического атласа (ПМ), с почвами мира по А. П. Виноградову (ПМВ), с глобальными, зональными, региональными значениями фона по Ю. Е. Саету, а также с данными других исследователей на Рязанской земле.

Результаты (Results)

По результатам проведенных исследований было изучено и описано морфологическое строение почвенного профиля дерново-подзолистых супесчаных почв, которое представлено следующим образом: О – А – EL – ELBt – Bt – BtC – C. Профиль почвы сверху представлен дерном (О) слабой мощности 4–6 см. Гумусовый горизонт (А) сероватого, серовато-бурого оттенка, с пятнами ржавчины, по структуре непрочный, мелкий, с комками, супесчаный, с частыми корнями, мощностью 8–15 см, с заметным переходом. Элювиальный горизонт (EL) белесоватого цвета, плитчатый, с пятнами ржавчины, бесструктурный, рыхлый, супесчаный или песчаный, с редкими корнями, мощностью 20–32 см, с плавным переходом в переходный горизонт. Субэлювиальный горизонт (ELBt) от светлого до светловато-бурого цвета, плитчатый, с языковатыми внедрениями светлого цвета, рыхлый, супесчаный, мощностью 15–25 см, с плавным переходом. Иллювиальный горизонт (Bt) бурого цвета, с присутствием пятен глины и прослоями оглеения, влажный, плотный, супесчаный, мощностью 15–28 см со слабовидимым переходом. Переходный горизонт (BtC) бурого цвета с включениями светлого и желтого песка, комковатый, влажный, супесчаный, мощностью 12–30 см, с заметным переходом. Материнская порода (С) желтого цвета, сырая, супесчаная. Глубина почвенного слоя составила 110–120 см, ниже расположена материнская порода. В период проведения исследований грунтовые воды не вскрывались, визуальных признаков загрязнения и инородных предметов не встречалось.

По результатам проведенных химико-аналитических исследований в интервале до 150 см определено содержание поллютантов в следующих диапазонах: цинк (5,4–12,8 мг/кг), свинец (2,1–7,4 мг/кг), кадмий (0,031–0,081 мг/кг). Наибольшее содержание отмечено ближе к поверхности в верхнем слое, а в нижележащих слоях до 150 см наблюдается снижение концентрации. В материнской породе обнаружены минимальные концентрации по всем элементам. Такие вещества, как цинк, свинец, кадмий, вступают в связь с органическими веществами, тем

самым повышая устойчивость к вымыванию и создавая некий запас тяжелых металлов в слое почвы. Эта зависимость характерна в большей степени для свинца, в меньшей степени для цинка и кадмия [16].

Особенности миграции и трансформации исследуемых тяжелых металлов в почве во многом зависят от почвенных барьеров и условий, формирующихся в зависимости от окислительно-восстановительных и кислотно-основных параметров. Исследуемая почва характеризуется наличием в горизонте А (6–21 см) малоемкого биогеохимического органоинерального барьера, а горизонт Bt (80–108 см) выполняет функцию умеренно емкого физико-химического сорбционно-седиментационного барьера, что создает условия для аккумуляции исследуемых тяжелых металлов. По кислотно-основным условиям исследуемая почва относится к кислым, что может неблагоприятно сказываться на минеральных компонентах и развитии микроорганизмов-редуцентов, трансформирующих органические вещества на органические и неорганические соединения. Такие условия позволяют не задерживаться тяжелым металлам и слабо влияют на скорость миграции и трансформации.

Сравнительный анализ содержания элементов в почвенных слоях проводился по принципу разницы значений концентрации в рассматриваемом слое почвы с поверхностью почвы. Результаты анализа поинтервального содержания валовых форм кадмия, свинца, цинка в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах приведены в таблице 1.

Наибольшая концентрация цинка отмечена в верхнем слое почвы в интервалах 0–30 см со средним значением 11,9 мг/кг, далее в нижних слоях до 150 см содержание уменьшается до 6,5 мг/кг. Похожая зависимость складывается со свинцом, наибольшее содержание определено в интервале 0–20 см со средним значением 6,6 мг/кг, немного ниже, в диапазоне 20–90 см, концентрация составила 4,3 мг/кг, следующий шаг снижения концентрации – в диапазоне 90–150 см со средним значением 2,3 мг/кг. Аккумуляция кадмия происходит следующим образом: в интервале 0–30 см среднее значение составляет 0,073 мг/кг, в нижних слоях разреза до 150 см – 0,042 мг/кг. Сравнительный анализ послойного содержания цинка, свинца и кадмия свидетельствует о ярко выраженном биогеохимическом накоплении элементов в гумусовом горизонте и менее заметной аккумуляции в иллювиальном горизонте. Приоритетный ряд по среднему содержанию тяжелых металлов в профиле до 150 см выглядит следующим образом: $Zn > Pb > Cd$.

Наименьшая концентрация цинка относительно поверхностного слоя почвы обнаружена в интервале 110–130 см со снижением на 7,39 мг/кг. Относительно поверхности почвы наибольшее содержание свинца определено в интервале 10–20 см с повы-

шением концентрации на 1,63 мг/кг. Одновременно наименьшая концентрация отмечена в интервале 90–110 см со снижением на 3,65 мг/кг. Наименьшая концентрация кадмия относительно поверхностного слоя почвы отмечена в интервале 50–70 см со снижением на 0,04 мг/кг. По результатам анализа послойного содержания поллютантов построены приоритетные ряды интервалов, представленные следующим образом:

Цинк: 0–10 > 20–30 > 10–20 > 130–150 > 30–50 > 90–110 > 50–70 > 70–90 > 110–130.

Свинец: 10–20 > 0–10 > 70–90 > 20–30 > 30–50 > 50–70 > 110–130 > 130–150 > 90–110.

Кадмий: 10–20 > 10–20 > 20–30 > 30–50 > 90–110 > 70–90 > 110–130 > 130–150 > 50–70.

По данным исследований содержания тяжелых металлов в различных интервалах были получены расчетные фоновые концентрации (таблица 2).

Сравнительный анализ полученных расчетных значений фоновых концентраций по всему исследуемому интервалу на дерново-подзолистой супесчаной почве показал, что расчетное фоновое значение цинка и свинца не превышает значения ориентиро-

вочных фоновых концентраций валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве для средней полосы России и составляет по цинку 0,3 ОФК, по свинцу – 0,7 ОФК. Расчетный фон по кадмию, наоборот, превышает и составляет 1,1 ОФК. При интервальном сопоставлении по цинку наибольшая концентрация в интервале 0–10 см составляет 0,47 ОФК. У свинца наблюдается превышение в интервале 10–20 см и составляет 1,23 ОФК. У кадмия отмечено превышение в верхнем слое, наибольшее в 10–20 см – 1,65 ОФК.

Результаты определяемых валовых форм тяжелых металлов показали, что из изучаемых элементов не наблюдается превышений гигиенических нормативов по всем значениям. Расчетное значение фоновых концентраций по цинку – 0,15 ОДК, по свинцу – 0,13 ОДК, по кадмию – 0,1 ОДК. При интервальном анализе полученных значений и сопоставлении с ОДК наибольшее содержание установлено у цинка в интервале 0–10 см – 0,23 ОДК, у свинца в интервале 10–20 см – 0,23 ОДК, у кадмия в интервале 10–20 см – 0,16 ОДК.

Таблица 1

Результаты анализа поинтервального содержания валовых форм кадмия, свинца, цинка в дерново-подзолистых супесчаных почвах, мг/кг

№	Интервал, см	Показатели валовых форм тяжелых металлов, мг/кг					
		Zn		Pb		Cd	
		Содержание	Отклонение от верхнего интервала	Содержание	Отклонение от верхнего интервала	Содержание	Отклонение от верхнего интервала
1	0,0–10	12,8	–	5,8	–	0,071	–
2	10–20	11,0	1,8	7,4	–1,6	0,081	–0,010
3	20–30	12,0	0,8	4,3	1,5	0,071	0
4	30–50	7,1	5,7	4,2	1,6	0,051	0,020
5	50–70	5,9	6,9	4,2	1,6	0,031	0,040
6	70–90	5,8	7,0	4,6	1,2	0,042	0,029
7	90–110	6,8	6,0	2,1	3,7	0,051	0,020
8	110–130	5,4	7,4	2,5	3,3	0,041	0,030

Table 1

The results of the analysis of the interval content of gross forms of cadmium, lead, zinc in sod-podzolic sandy loam soils, mg/kg

№	Interval, cm	Indicators of gross forms of heavy metals, mg/kg					
		Zn		Pb		Cd	
		Contents	Deviation from the upper interval	Contents	Deviation from the upper interval	Contents	Deviation from the upper interval
1	0.0–10	12.8	–	5.8	–	0.071	–
2	10–20	11.0	1.8	7.4	–1.6	0.081	–0.010
3	20–30	12.0	0.8	4.3	1.5	0.071	0
4	30–50	7.1	5.7	4.2	1.6	0.051	0.020
5	50–70	5.9	6.9	4.2	1.6	0.031	0.040
6	70–90	5.8	7.0	4.6	1.2	0.042	0.029
7	90–110	6.8	6.0	2.1	3.7	0.051	0.020
8	110–130	5.4	7.4	2.5	3.3	0.041	0.030

Сравнительная оценка содержания валовых форм тяжелых, мг/кг

№	Источник	Показатели валовых форм тяжелых металлов		
		Zn	Pb	Cd
1	Предлагаемые расчетные фоновые концентрации	8,3	4,2	0,053
2	Ориентировочные фоновые концентрации по СП 502.1325800.2021 (ОФК)	28	6	0,05
3	Гигиенический норматив по СанПиН 1.2.3685-21	55	32	0,5
4	Почвы мира по материалам международного геохимического атласа (ПМ)	70	17	0,3
5	Почвы мира по А. П. Виноградову (ПМВ)	50	–	–
6	Почвы по Шаклетту и Борнгену	58	–	–
Глобальные оценки фона по Ю. Е. Саету (ГО)				
7	Кларк в земной коре	83	16,0	0,13
8	Осадочные породы	80	20,0	0,3
9	Почвы мира	50	10,0	0,5
Зональные оценки фона по Ю. Е. Саету (ЗО)				
10	СССР, дерново-подзолистые	41,3	11,5	0,7
Региональные оценки фона по Ю. Е. Саету (РО)				
11	Московская область, дерново-подзолистые	50,0	25,0	0,3
12	Региональный фон по данным других исследователей (2002–2003 гг.)	35	12	0,18

Table 2
Comparative assessment of the content of gross forms of heavy, mg/kg

No.	Source	Indicators of gross forms of heavy metals		
		Zn	Pb	Cd
1	<i>Proposed calculated background concentrations</i>	8.3	4.2	0.053
2	<i>Approximate background concentrations SP 502.1325800.2021. (OFC)</i>	28	6	0.05
3	<i>Hygienic standard SanPiN 1.2.3685-21</i>	55	32	0.5
4	<i>Soils of the world based on materials from the international geochemical atlas (PM)</i>	70	17	0.3
5	<i>Soils of the world according to Vinogradov A.P.(PMV)</i>	50	–	–
6	<i>Soils according to Shacklett and Borngen</i>	58	–	–
Global background estimates according to Yu. A. Saet (GE)				
7	<i>Clark in the Earth's crust</i>	83	16.0	0.13
8	<i>Sedimentary rocks</i>	80	20.0	0.3
9	<i>The soils of the world</i>	50	10.0	0.5
Zonal background estimates according to Yu. A. Saet (ZE)				
10	<i>USSR, sod-podzolic</i>	41.3	11.5	0.7
Regional background estimates according to Yu. A. Saet (RE)				
11	<i>Moscow region, sod-podzolic</i>	50.0	25.0	0.3
12	<i>Regional Fund according to other researchers (2002–2003)</i>	35	12	0.18

Значения содержания тяжелых металлов в почвах мира весьма разнообразны, в основном это связано с географическим расположением, удаленностью участков исследований друг от друга, почвообразующими породами, разными периодами наблюдений, отличиями в методиках определения элементов, особенностями техногенных нагрузок исследуемых территорий и прочим. Так, например значение цинка по разным источникам разнится в диапазоне 50–70 мг/кг. При сопоставлении полу-

ченных расчетных значений фоновых концентраций тяжелых металлов со значениями почв мира, в частности, Северной Европы, отмечено, что в дерново-подзолистой почве Рязанской области содержание исследуемых элементов цинка, свинца, кадмия значительно ниже. Расчетное значение фоновых концентраций по цинку – 0,11 ПМ, по свинцу – 0,24 ПМ, по кадмию – 0,18 ПМ. При интервальном сравнении полученных фоновых значений и сопоставлении с ПМ определено, что у цинка в

интервале 0–10 см – 0,18 ПМ, у свинца в интервале 10–20 см – 0,43 ПМ, у кадмия в интервале 10–20 см – 0,27 ПМ.

Сравнительный анализ расчетных фоновых значений с зональными оценками фона по Ю. А. Саету показывает, что расчетный фон элементов значительно ниже и составляет по цинку 0,2 ЗО, по свинцу – 0,36 ЗО, по кадмию – 0,07 ЗО. При сравнении с глобальными оценками почв мира расчетный фон ниже и составляет по цинку 0,17 ГО, по свинцу – 0,42 ГО, по кадмию – 0,11 ГО. При сравнении с региональными оценками (в частности, почвы Московской области) расчетный фон ниже и составляет по цинку 0,16 РО, по свинцу – 0,17 РО, по кадмию – 0,18 РО.

На территории Рязанской области в разное время проводились исследования содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве. Полученные значения сопоставимы с ранее полученными данными, где также была отмечена в целом низкая концентрация тяжелых металлов в дерново-подзолистых супесчаных почвах в сравнении с почвами с глинистого гранулометрического состава примерно в 4–5 раз.

Исследуемые поллютанты аккумулировались в верхней части профиля. Так, содержание в супесчаных почвах было соизмеримо с полученными в опытах значениями, а различия наблюдались в сопоставимых интервалах почвы по цинку от 0,05 до 2,4 мг/кг, по свинцу – от 0,01 до 0,02 мг/кг, по кадмию – от 0,001 до 0,003 мг/кг.

Таким образом, расчетные значения фоновых концентраций дерново-подзолистых супесчаных почв в целом ниже фоновых значений, представленных в сравнительном анализе (таблица 2). Дерново-подзолистые супесчаные почвы ввиду своих структурных особенностей в естественных условиях характеризуются низким содержанием тяжелых металлов относительно других почв области. Наибольшие концентрации свинца, цинка и кадмия отмечаются в горизонтах А, Вt, выполняющих функции геохимических барьеров, и способствуют увеличению геохимической устойчивости дерно-

во-подзолистых супесчаных почв. Распределение тяжелых металлов в слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы Рязанской области также зависит от механического состава, интенсивности антропогенной нагрузки и свойств генетических горизонтов почв.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Выращивание сельскохозяйственных культур на землях, подверженных сильному загрязнению тяжелыми металлами, приводит к ухудшению качества сельскохозяйственной продукции и кормов. В этой связи проведение мониторинговых наблюдений за содержанием тяжелых металлов с целью предупреждения и выявления необходимости профилактических мероприятий по детоксикации загрязненных почв является важной задачей сельхозпроизводителей.

Полученные результаты настоящих исследований дают современное представление о региональном фоновом содержании валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах сельскохозяйственных земель обследуемых территорий в Рязанской области и могут быть использованы при оценке антропогенного воздействия на почву и научно-методическом обосновании природовосстановительных мероприятий.

Представленная характеристика содержания тяжелых металлов в профиле почв свидетельствует о наибольшем накоплении исследуемых элементов в дерновом и гумусовом горизонтах, при этом расчетные фоновые концентрации составляют всего 10–15 % от установленных гигиенических нормативов. Сравнительная оценка предлагаемых фоновых концентраций с общеизвестными фоновыми концентрациями позволяет сделать вывод о том, что текущее содержание исследуемых элементов в дерново-подзолистых супесчаных почвах Рязанской области находится на низком уровне. Использование в расчетах уровня загрязнения (Zc) предложенных фоновых концентраций повысит точность определений и снизит вероятность ошибочного отнесения почвы к «чистой» категории.

Библиографический список

1. Харлашкин А. С. Риски при вовлечении в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель в обеспечении экономической безопасности Рязанской области // Нацразвитие. Наука и образование. 2022. № 8 (11). С. 14–21. DOI: 10.37539/2782-3075.2022.11.8.002.
2. Борисочкина Т. И., Когут Б. М., Хаматнуров Ш. А. Эколого-геохимическое состояние почв и грунтов зеленых насаждений Москвы (аналитический обзор) // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2021. № 109. С. 129–164. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-129-164.
3. Kosheleva N. E., Terskaya E. V., Kuzminskaya N. Y. Distribution of Heavy Metals and Metalloids in Soil Catenas in Serpukhov // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54, No. 8. Pp. 1281–1297. DOI: 10.1134/S1064229321080111.
4. Глызин М. Д., Лопаева Н. Л. Влияние токсических веществ на загрязнение почвы [Электронный ресурс] // Молодежь и наука. 2023. № 2. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53951796> (дата обращения: 15.03.2024).

5. Павлов А. А., Мажайский Ю. А. Определение фоновых концентраций почвенных элементов в серой лесной почве Рязанской области // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14, № 4. С. 33–40. DOI: 10.36508/RSATU.2022.35.33.006.

6. Васильева Т. Н., Галактионова Л. В. Оценка состояния урбаноземов по содержанию поллютантов // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 12. С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-2-11.

7. Васин Д. В. Особенности накопления тяжелых металлов в разных типах почв (на примере Ульяновской области) // Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 62–67. DOI: 10.17513/use.37642.

8. Ларионов Ю. С., Жарников В. Б., Трубина Л. К. О содержании, технологиях и результатах мониторинга сельскохозяйственных угодий в прогрессивных системах земледелия // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов V Национальной научно-практической конференции. В 3 частях. Ч. 2. Новосибирск, 2022. № 2. С. 119–127. DOI: 10.33764/2687-041X-2022-2-119-127.

9. Kicińska A., Pomykała R., Izquierdo-Diaz M. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils // European Journal of Soil Science. 2021. No. 73. DOI: 10.1111/ejss.13203.

10. Солодухина М. А., Михеев И. Е., Банщикова Е. А., Желибо Т. В. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих растениях и растениеводческой продукции Балецкого рудного поля (Забайкальский край) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2. С. 95–104. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_95.

11. Терехова В. А., Прудникова Е. В., Кирюшина А. П., Карпучин М. М., Плеханова И. О., Якименко О. С. Фитотоксичность тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Почвоведение. 2021. № 6. С. 757–768. DOI: 10.31857/S0032180X21060137.

12. Мажайский Ю. А., Павлов А. А. Влияние гуминового препарата на плодородие залежных земель и урожайность кормовых культур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 4 (48). С. 32–40. DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.005.

13. Мажайский Ю. А., Павлов А. А. Способ освоения залежных земель Нечерноземной зоны при выращивании кормовых культур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 3 (47). С. 138–143. DOI: 10.36508/RSATU.2020.11.68.024.

14. Иванов А. Л., Столбовой В. С., Гребенников А. М., Духанин Ю. А. Загрязнение и пригодность почв для выращивания экологически чистой сельскохозяйственной продукции в РФ // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2024. № 118. С. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-5-20.

15. Li M., Zhou H., Li X., Pang L., Zhao Z., Liu Zh. Remediation of Contaminated Soil with Compound Heavy Metals Using an Array-Electrode Electrokinetics Coupled with Permeable Reactive Barrier System with Different Electrolytes // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55, No. 12. Pp. 1939–1953. DOI: 10.1134/s1064229322601469.

16. Воробьев В. Б., Казакевич Н. А. О взаимосвязи между содержанием тяжелых металлов и гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 103–107.

Об авторе:

Артем Андреевич Павлов, кандидат биологических наук, научный сотрудник научного подразделения, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-5932-1624, AuthorID 1141178. E-mail: kupo@mail.ru

References

1. Kharlashkin A. S. Risks of involving unused agricultural land in the turnover in ensuring the economic security of the Ryazan region. *Natsrazvitie. Nauka i obrazovanie*. 2022; 8 (11): 14–21. DOI: 10.37539/2782-3075.2022.11.8.002. (In Russ.)

2. Borisochkina T. I., Kogut B. M., Khamaturov Sh. A. Ecological and geochemical state of soils and grounds of Moscow green spaces (analytical review). *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2021; 109: 129–164. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-129-164. (In Russ.)

3. Kosheleva N. E., Terskaya E. V., Kuzminskaya N. Y. Distribution of Heavy Metals and Metalloids in Soil Catenas in Serpukhov. *Eurasian Soil Science*. 2021; 54 (8): 1281–1297. DOI: 10.1134/S1064229321080111.

4. Glyzin M. D., Lopaeva N. L. The influence of toxic substances on soil pollution. *Youth and Science* [Internet]. 2023 [cited 2024 Mar 15]; 2. Available from: URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53951796>.

5. Pavlov A. A., Mazhayskiy Yu. A. Determination of background concentrations of soil elements in gray forest soil of the Ryazan region. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2022; 14 (4): 33–40. DOI: 10.36508/RSATU.2022.35.33.006. (In Russ.)

6. Vasil'eva T. N., Galaktionova L. V. Assessment of the state of urban soils based on the content of pollutants. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (12): 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-2-11. (In Russ.)
7. Vasin D. V. Features of accumulation of heavy metals in different types of soils (on the example of the Ulyanovsk region). *Advances in Current Natural Sciences*. 2021; 6: 62–67. DOI: 10.17513/use.37642. (In Russ.)
8. Larionov Yu. S., Zharnikov V. B., Trubina L. K. About the content, technologies and results of monitoring of agricultural lands in progressive farming systems. *Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Assessment, Ecology, Technological Solutions: collection of materials of the V National scientific and practical conference. In 3 Parts. Part 2. Novosibirsk*, 2022; 2: 119–127. DOI: 10.33764/2687-041X-2022-2-119-127. (In Russ.)
9. Kicińska A., Pomykała R., Izquierdo-Diaz M. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*. 2021; 73. DOI: 10.1111/ejss.13203.
10. Solodukhina M. A., Mikheev I. E., Banshchikova E. A., Zhelibov T. V. Heavy metals and arsenic in wild plants and plant products of the Baleysky ore field (Zabaykalsky krai). *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022; 15 (2): 95–104. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_95. (In Russ.)
11. Terekhova V. A., Prudnikova E. V., Kiryushina A. P., Karpukhin M. M., Plekhanova I. O., Yakimenko O. S. Phytotoxicity of heavy metals in contaminated podzolic soils of different fertility levels. *Eurasian Soil Science*. 2021; 6: 757–768. DOI: 10.31857/S0032180X21060137. (In Russ.)
12. Mazhayskiy Yu. A., Pavlov A. A. The effect of a humic preparation on fertility of fallow land and yield of fodder crops. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2020; 4 (48): 32–40. DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.005. (In Russ.)
13. Mazhayskiy Yu. A., Pavlov A. A. Method for development of long-fallow lands in the non-black earth zone when growing fodder crops. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2020; 3 (47): 138–143. DOI: 10.36508/RSATU.2020.11.68.024. (In Russ.)
14. Ivanov A. L., Stolbovoy V. S., Grebennikov A. M., Dukhanin Yu. A. Contamination and suitability of soils for growing bio products in Russia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2024; 118: 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-5-20. (In Russ.)
15. Li M., Zhou H., Li X., Pang L., Zhao Z., Liu Zh. Remediation of Contaminated Soil with Compound Heavy Metals Using an Array-Electrode Electrokinetics Coupled with Permeable Reactive Barrier System with Different Electrolytes. *Eurasian Soil Science*. 2022; 55 (12): 1939–1953. DOI: 10.1134/s1064229322601469.
16. Vorob'ev V. B., Kazakevich N. A. On the relationship between the content of heavy metals and humus in soddy-podzolic light loamy soil. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022; 4: 103–107. (In Russ.)

Author's information:

Artem A. Pavlov, candidate of biological sciences, researcher, scientific department, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-5932-1624, AuthorID 1141178. E-mail: kupo@mail.ru