

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ,
ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.416

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_42

EDN: UBLYLIV

**Распределение тяжелых металлов в профиле дерново-подзолистых
супесчаных и песчаных почв средней полосы России**

Артём Андреевич Павлов^{1✉}

¹ Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова,
Москва, Россия

¹ kupo@mail.ru[✉]

Аннотация. Представлены результаты исследований, проведенных в Рязанской области в 2019–2022 гг. с целью определения содержания тяжелых металлов (ТМ) в дерново-подзолистых почвах, которые, занимаемая 1/5 площади сельскохозяйственных угодий в регионе, подвергаются техногенной нагрузке и деградации. В настоящее время при расчете уровня загрязнения почв используются ориентировочные фоновые концентрации тяжелых металлов для средней полосы России, что не всегда отражает действительную картину загрязнения. В задачи исследований входила оценка содержания тяжелых металлов в почве с дифференциацией элементов по генетическим горизонтам и расчетом местных фоновых концентраций. Особое внимание уделено содержанию валовых форм Zn, Pb, Cd (1-й класс опасности) на глубине до 1,5 м по интервалам 0,1–0,2 м. Получены следующие значения анализируемого показателя: Zn (5,4–12,8 мг/кг), Pb (2,1–7,4 мг/кг), Cd (0,031–0,081 мг/кг). Наибольшая концентрация определена в верхнем слое. Выполнено сравнение полученных расчетных фоновых значений с ориентировочными фоновыми концентрациями (ОФК) для средней полосы России, ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК), с содержанием ТМ в почвах северной Европы, в почвах мира (по Виноградову), в почвах США (по Шаклетту и Борнгену), а также с данными других исследований, выполненных в условиях Рязанской области. Содержание Zn, Pb, Cd в дерново-подзолистых почвах Рязанской области значительно ниже, чем в почвах мира, в частности северной Европы. Построены ряды содержания исследуемых тяжелых металлов (Zn>Pb>Cd), в том числе приоритетные ряды их содержания по интервалам. Значения Zn и Pb в отличие от Cd не превышают ориентировочные фоновые концентрации. Превышений ОДК также не выявлено. По результатам исследований предложены следующие значения местных фоновых концентраций: Zn – 8,3 мг/кг, Pb – 4,2 мг/кг, Cd – 0,053 мг/кг.

Ключевые слова: дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, почвенный горизонт, тяжелые металлы, ориентировочные фоновые концентрации (ОФК), ориентировочно допустимые концентрации (ОДК)

Для цитирования: Павлов А.А. Распределение тяжелых металлов в профиле дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почв средней полосы России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 1(80). С. 42–49. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_42–49.

4.1.3. AGRICULTURAL CHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE,
PROTECTION AND QUARANTINE OF PLANTS
(AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Distribution of heavy metals in the profile of sod-podzolic
sandy and sandy-loam soils in Central Russia**

Artem A. Pavlov^{1✉}

¹ Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russia

¹ kupo@mail.ru

Abstract. The author presents the results of studies conducted in Ryazan Oblast in 2019-2022 in order to determine the content of heavy metals (HM) in sod-podzolic soils, which occupy 1/5 of the area of agricultural land in the region and are affected by technogenic load and degradation. At present the calculation of the level of soil pollution is performed using approximate background concentrations of heavy metals for Central Russia, which does not always reflect the actual situation with pollution. The objectives of research included assessing the content of heavy metals in the soil with differentiation of chemical elements according to genetic horizons and calculation of local background concentrations. Particular attention is paid to the content of bulk forms of Zn, Pb, and Cd (Hazard Class 1) at the depth of up to 1.5 m at intervals of 0.1-0.2 m. The following values of the analyzed indicator were obtained: 5.4-12.8 mg/kg

for Zn, 2.1-7.4 mg/kg for Pb, and 0.031-0.081 mg/kg for Cd. The highest concentration was determined in the upper layer. The obtained calculated background values were compared with the approximate background concentrations (ABC) for Central Russia, approximate permissible concentrations (APC), and the content of HMs in the soils of northern Europe, soils of the world (according to A.P. Vinogradov), and soils of the USA (according to H.T. Shacklette and J.G. Boemgen), as well as with data from other studies carried out in the conditions of Ryazan Oblast. The content of Zn, Pb, and Cd in sod-podzolic soils of Ryazan Oblast is significantly lower than in the soils of the world, particularly northern Europe. Sequences of values of content of the studied heavy metals (Zn>Pb>Cd) have been plotted, including priority sequences by intervals. In contrast to Cd, the values of Zn and Pb do not exceed the approximate background concentrations. Also no excesses of the APC have been detected. According to the research results, the following values of local background concentrations were proposed: 8.3 mg/kg for Zn, 4.2 mg/kg for Pb, and 0.053 mg/kg for Cd.

Keywords: sod-podzolic sandy and sandy-loam soils, soil horizon, heavy metals, approximate background concentrations (ABC), approximate permissible concentrations (APC)

For citation: Pavlov A.A. Distribution of heavy metals in the profile of sod-podzolic sandy and sandy-loam soils in Central Russia. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(1):42-49. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_42-49.

Введение

Интенсивные темпы техногенного воздействия на окружающую среду приводят к широкомасштабному химическому загрязнению агроэкосистем. Большая часть тяжелых металлов поступает в почву в результате деятельности промышленных предприятий, сельскохозяйственных комплексов, развитой автотранспортной инфраструктуры вблизи населенных пунктов [8, 15], при этом основными веществами 1-го класса опасности являются цинк, кадмий, свинец [4, 15, 19]. Как известно, часть тяжелых металлов (ТМ) вступает в трофические цепи и вместе с продукцией растениеводства и животноводства попадает в рацион человека, другая часть при взаимодействии с органическими веществами становится более устойчива к вымыванию и накапливается в почвенном слое [3, 7, 9, 10].

Постоянное накопление тяжелых металлов оказывает негативное влияние на процессы гумификации, приводя к увеличению кислотности почвы, что способствует развитию деградиционных процессов [1, 11, 16, 18]. В этой связи необходимы организация и проведение агроэкологического мониторинга загрязнения почв сельскохозяйственного назначения тяжелыми металлами. Справедливая оценка уровня загрязнения почвы невозможна без учета фоновых концентраций содержания элементов района исследований.

Общая площадь дерново-подзолистых почв в Рязанской области составляет около 1200 тыс. га, или 29,3% территории. В структуре сельскохозяйственных угодий дерново-подзолистые почвы занимают 477,0 тыс. га, или 18,4%, в том числе пашни – 254,3 тыс. га, или 14% [5, 6]. Наибольшую распространенность в регионе дерново-подзолистые почвы получили на северо-востоке и простираются вдоль левого берега р. Оки. На сегодняшний день изучаемые почвы подвергаются высокой антропогенной нагрузке ввиду постоянно развивающихся технологий химизации и защиты растений, близкого расположения к крупным населенным пунктам и предприятиям, таким как ГРЭС, ТЭЦ, предприятиям металлургической промышленности [8, 15]. По статистическим данным, на территории региона за последний год в атмосферный воздух выброшены десятки тысяч тонн поллютантов, которые в результате рассеивания из атмосферы попали на поверхность почвы и водных объектов. [5]. Дерново-подзолистые почвы из-за резкого сокращения объемов вносимых органических удобрений и техногенного загрязнения деградируют, их основные физико-химические свойства ухудшаются, в частности регистрируется повышение кислотности, снижение содержания гумусовых веществ и, как следствие, потеря плодородия [1, 11, 16, 18].

В Рязанской области к приоритетным поллютантам относятся цинк, кадмий, свинец (1-й класс опасности); хром, никель, медь, кобальт, бор (2-й класс опасности); марганец, ванадий (3-й класс опасности) [15]. В отдельные годы в почвах области отмечали превышение фоновых показателей по свинцу, кадмию, цинку, меди и другими ТМ [4, 19]. Такие вещества, как цинк, свинец, кадмий, вступают в связь с органическими веществами, тем

самым повышая устойчивость к вымыванию и создавая некий запас поллютантов в слое почвы. Эта зависимость характерна в большей степени для свинца, в меньшей степени для цинка и кадмия [3, 7, 9, 10]. При этом следует отметить, что на территории Рязанской области в дерново-подзолистых супесчаных почвах содержание поллютантов в 4–5 раз ниже, чем в почвах глинистого гранулометрического состава.

В настоящее время отсутствуют современные региональные значения фоновых концентраций для почв Рязанской области и чаще всего используются ориентировочные фоновые концентрации для средней полосы России, что не позволяет достаточно точно оценить степень загрязнения почвы. В этой связи актуальность приобретают исследования по определению современных региональных фоновых показателей с учетом природных и техногенных факторов воздействия на почву.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований выступают дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы Рязанской области. Основным условием выбора места взятия почвенных проб являлось отсутствие видимых признаков техногенного воздействия на природный комплекс, а также отсутствие вблизи источников загрязнения. Такими были определены участки в Спасском районе – левобережье р. Оки (близ д. Сумбулово – с. Новики), на границе Ермишинского и Касимовского районов – правобережье р. Оки (близ п. Лебяжий Бор – п. Игошино), в Рыбновском районе – левобережье р. Оки (южнее с. Шехмино). Исследования проводились в теплые периоды 2019–2022 гг.

Изучение загрязнения почвы тяжелыми металлами осуществлялось посредством отбора почвенных образцов до глубины 1,5 м, с интервалами отбора 0,1–0,2 м с последующим лабораторным анализом методом атомно-абсорбционной спектроскопии [13]. При анализе образцов почв было уделено внимание валовым формам приоритетных поллютантов (цинк, свинец, кадмий), относящихся к 1-му классу опасности. Исследуемые вещества имеют высокую интенсивность поступления в почву и широкий спектр источников выбросов.

Анализ расчетного фонового значения, а также значений по интервалам выполнялся посредством сравнения с ориентировочными фоновыми концентрациями (ОФК) [17], ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) [14], с содержанием ТМ в почвах северной Европы [12], в почвах мира по Виноградову (ПМВ) [2], в почвах США (по Шаклетту и Борнгену) [2], а также с данными других исследований, выполненных в условиях Рязанской области [8, 9, 15].

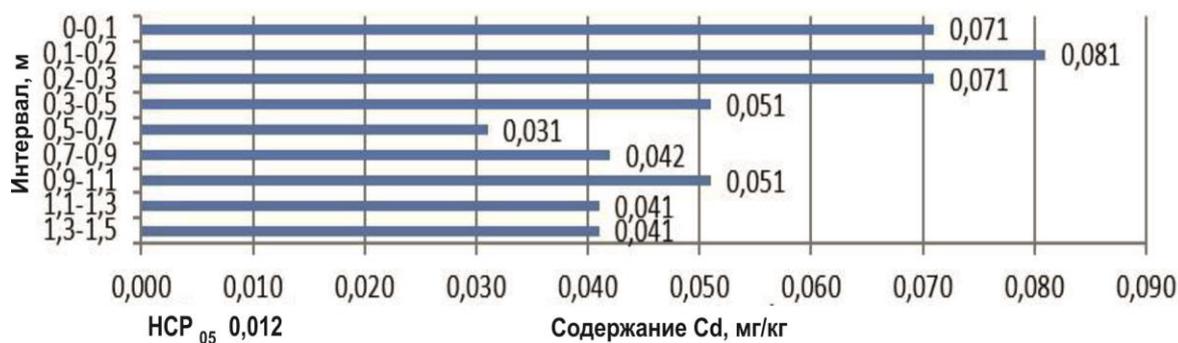
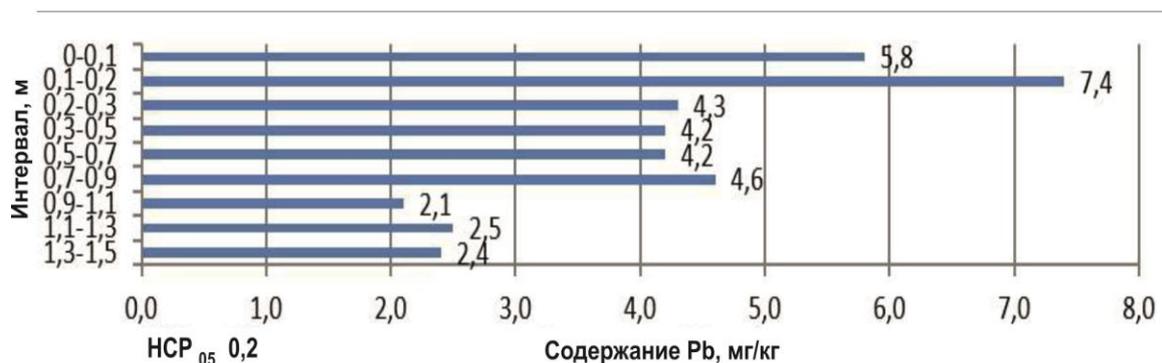
Результаты и их обсуждение

Дерново-подзолистые почвы формируются на песчаных отложениях и покровных суглинках. По сравнению с другими почвами Рязанской области они обладают более низким содержанием агрохимических элементов и тяжелых металлов. Аккумуляция питательных элементов и формирование почвенной структуры, позволяющей противостоять вымыванию, происходит в верхнем слое благодаря дерновому процессу. Процесс вымывания минеральных веществ дернового слоя в нижние слои почвы и грунтовые воды происходит за счет подзолистого процесса.

Валовое содержание тяжелых металлов во всех слоях дерново-подзолистой почвы различно. По полученным данным, наибольшее количество поллютантов содержится ближе к поверхности в верхнем слое, а в нижележащих слоях до 1,5 м наблюдается постепенное снижение концентрации. В материнской породе обнаружены минимальные концентрации по всем элементам. По результатам проведенных исследований в интервале до 1,5 м 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.

Сравнительный анализ содержания исследуемых тяжелых металлов в почвенных слоях проводился по принципу разницы значений концентрации в рассматриваемом слое почвы с поверхностью почвы. Значения послойного накопления поллютантов по всем интервалам с шагом 0,1–0,2 м в профиле до 1,5 м приведены на рисунке.



Послойное содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах Рязанской области

Таким образом, наибольшая концентрация цинка отмечена в верхнем слое почвы в интервалах 0,0–0,3 м со средним значением 11,9 мг/кг, далее, с углублением по почвенному горизонту до 1,5 м, этот показатель уменьшался до 6,5 мг/кг. Похожая зависимость складывалась и в отношении свинца: наибольшее содержание определено в интервале 0,0–0,2 м со средним значением 6,6 мг/кг; в интервале 0,2–0,9 м концентрация составила 4,3 мг/кг; на следующем шаге, в интервале 0,9–1,5 м, отмечено снижение концентрации до 2,3 мг/кг. Аккумуляция кадмия происходит следующим образом: в интервале 0,0–0,3 м среднее значение составляет 0,073 мг/кг; в нижних слоях разреза до 1,5 м отмечено снижение концентрации до 0,042 мг/кг. Сравнительный анализ послойного содержания цинка, свинца и кадмия свидетельствует о ярко выраженной биогеохимической аккумуляции элементов. Приоритетный ряд по среднему содержанию тяжелых металлов в почвенном профиле 0,0–1,5 м выглядит следующим образом: Zn > Pb > Cd.

Наименьшая концентрация цинка относительно поверхностного слоя почвы обнаружена в интервале 1,1–1,3 м со снижением на 7,39 мг/кг. Относительно поверхностного слоя почвы наибольшее содержание свинца определено в интервале 0,1–0,2 м с повышением концентрации на 1,63 мг/кг. Одновременно наименьшая концентрация отмечена в интервале 0,9–1,1 м со снижением на 3,65 мг/кг. Наименьшая концентрация кадмия относительно поверхностного слоя почвы отмечена в интервале 0,5–0,7 м со снижением на 0,04 мг/кг. По результатам анализа послойного содержания поллютантов построены приоритетные ряды содержания тяжелых металлов по интервалам:

Zn: 0,0–0,1 > 0,2–0,3 > 0,1–0,2 > 1,3–1,5 > 0,3–0,5 > 0,9–1,1 > 0,5–0,7 > 0,7–0,9 > 1,1–1,3;

Pb: 0,1–0,2 > 0,0–0,1 > 0,7–0,9 > 0,2–0,3 > 0,3–0,5 > 0,5–0,7 > 1,1–1,3 > 1,3–1,5 > 0,9–1,1;

Cd: 0,1–0,2 > 0,1–0,2 > 0,2–0,3 > 0,3–0,5 > 0,9–1,1 > 0,7–0,9 > 1,1–1,3 > 1,3–1,5 > 0,5–0,7.

По данным анализа содержания тяжелых металлов в различных интервалах были получены расчетные фоновые концентрации.

Средние значения содержания валовых форм тяжелых металлов, мг/кг

Элемент	Расчетные фоновые концентрации	Ориентировочные фоновые концентрации (ОФК) по СП 502.1325800.2021 [17]	Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) [14]	Содержание в почвах мира по геохимическому атласу (ПМ) [12]	Содержание в почвах мира по Виноградову (ПМВ) [2]	Содержание в почвах США по Шаклетту и Борнгену [2]
Zn	8,3 ± 1,9	28	55	70	50	58
Pb	4,2 ± 0,8	6	32,0	17	–	–
Cd	0,053 ± 0,011	0,05	0,5	0,3	–	–

Анализ полученных расчетных значений фоновых концентраций по всему исследуемому интервалу 0,0–1,5 м на дерново-подзолистой супесчаной почве показал, что расчетные фоновые значения содержания цинка и свинца не превышают значений ориентировочных фоновых концентраций валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве для средней полосы России и составляют по цинку – 0,3 ОФК, по свинцу – 0,7 ОФК. Расчетный фон по кадмию, наоборот, превышает и составляет 1,1 ОФК.

При интервальном сопоставлении отмечены следующие превышения:

- по цинку – наибольшая концентрация 0,47 ОФК – в верхнем слое 0,0–0,1 м;
- по свинцу – наибольшая концентрация 1,23 ОФК – в верхнем слое 0,1–0,2 м;
- по кадмию – наибольшее превышение 1,65 ОФК – в верхнем слое 0,1–0,2 м.

Анализ полученных данных в отношении валовых форм тяжелых металлов показал, что из изучаемых элементов не наблюдается превышений ОДК по всем значениям: расчетное значение фоновых концентраций по цинку составляет 0,15 ОДК, по свинцу –

0,13 ОДК, по кадмию – 0,1 ОДК. При интервальном сопоставлении полученных значений с ОДК отмечено наибольшее содержание цинка – 0,23 ОДК в интервале 0,0–0,1 м, свинца – 0,23 ОДК в интервале 0,1–0,2 м, кадмия – 0,16 ОДК в интервале 0,1–0,2 м.

Значения содержания тяжелых металлов в почвах мира весьма разнообразны, в основном это связано с географическим расположением, отдаленностью участков исследований, почвообразующими породами, разными периодами наблюдений, отличиями в методиках определения элементов, особенностями техногенных нагрузок исследуемых территорий и пр. Так, например значения цинка по разным источникам варьируют в диапазоне 50–70 мг/кг. При сопоставлении полученных 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 наибольшее содержание цинка в интервале 0,0–0,1 м – 0,18 ПМ, свинца – в интервале 0,1–0,2 м – 0,43 ПМ, кадмия – в интервале 0,1–0,2 м – 0,27 ПМ.

На территории Рязанской области в разное время проводились исследования содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах. Полученные в представленной статье значения сопоставимы с данными ранее опубликованных исследований, в которых авторы отмечали, что поллютанты аккумулировались в верхней части профиля, причем их концентрация в дерново-подзолистых супесчаных почвах была более низкой в сравнении с почвами глинистого гранулометрического состава [9, 10, 15]. Так, содержание поллютантов в супесчаных почвах было измеримо 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 0,01–0,02 мг/кг, по кадмию – от 0,001–0,003 мг/кг. Распределение тяжелых металлов в слоях дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах Рязанской области также зависит от механического состава, интенсивности антропогенной нагрузки и свойств генетических горизонтов почв.

Заключение

При выращивании сельскохозяйственных культур на землях, подверженных загрязнению, происходит транслокация тяжелых металлов в растения, тем самым снижается качество сельскохозяйственной продукции и кормов. Поэтому проведение постоянного агроэкологического мониторинга с целью предупреждения и выявления необходимости профилактических мероприятий по детоксикации загрязненных почв является обязательным для сельхозпроизводителей.

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 изучаемых элементов в дерново-подзолистых супесчаных почвах Рязанской области ниже других. Использование в расчетах предлагаемых концентраций позволит снизить порог значений категории «чистых» почв.

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

Список источников

1. Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Белявская Ю.А. и др. Миграция подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв под влиянием регулярных нагрузок жидких отходов животноводства // Почвоведение и агрохимия. 2019. № 1(62). С. 179–195.
2. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах: монография. Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 17 с.
3. Воробьев В.Б. О взаимосвязи между содержанием тяжелых металлов и гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 103–107.
4. Государственный доклад об использовании природных ресурсов и состоянии окружающей среды Рязанской области в 2000 году. Белая книга. Рязань: Министерство природных ресурсов РФ. Комитет природных ресурсов по Рязанской области, 2001. 398 с.
5. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Рязанской области в 2020 году. Рязань: Комитет природных ресурсов по Рязанской области, 2020. 148 с.
6. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Рязанской области в 2021 году. Рязань: Комитет природных ресурсов по Рязанской области, 2021. 163 с.
7. Касатиков В.А. Влияние мелиоративных приемов на миграцию тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве // Мелиорация. 2018. № 4(86). С. 72–77.
8. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М. Экологические проблемы агроландшафтов Рязанской области // Биосфера. 2019. Т. 11, № 3. С. 156–159. DOI: 10.24855/biosfera.v11i3.510.
9. Мажайский Ю.А. Обоснование режимов комплексных мелиораций в условиях техногенного загрязнения агроландшафта: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02. Москва, 2002. 456 с.
10. Мажайский Ю.А. Особенности распределения тяжелых металлов в профилях почв Рязанской области // Агрохимия. 2003. № 8. С. 74–79.
11. Мамиева Е.Б., Ширнина Л.В. Липа мелколистная как биоиндикатор загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 1(52). С. 34–40. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.1.34.
12. Матинян Н.Н., Рейман К., Бахматова К.А. и др. Фоновое содержание тяжелых металлов и мышьяка в пахотных почвах Северо-Запада России (по материалам международного геохимического атласа) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2007. № 3. С. 123–134.
13. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ЦИНАО, 1992. 61 с.
14. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. URL: <https://www.55.rospotrebnadzor.ru/Files/СанПин%203685.pdf> (дата обращения: 15.03.2023).
15. 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.
16. Солодухина М.А., Михеев И.Е., Банщикова Е.А. и др. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих растениях и растениеводческой продукции Балецкого рудного поля (Забайкальский край) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2(73). С. 95–104. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_95.
17. СП 502.1325800.2021. Свод правил «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ»: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 июля 2021 г. № 475/пр. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1710009803&tld> (дата обращения: 15.03.2023).
18. Терехова В.А., Прудникова Е.В., Кирюшина А.П. и др. Фитотоксичность тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Почвоведение. 2021. № 6. С. 757–768. DOI: 10.31857/S0032180X21060137.
19. Черникова О.В. Экологическое обоснование комплексных приемов реабилитации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Рязанской области): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Рязань, 2010, 178 с.

References

1. Bogatyrova E.N., Seraya T.M., Belyavskaya Yu.A. et al. Migration of mobile forms of heavy metals along the profile of sod-podzolic soils under the influence of regular loads of liquid animal waste. *Soil Science and Agrochemistry*. 2019;1(62):179-195. (In Russ.).
2. Vodyanitskiy Yu.N. Heavy metals and metalloids in soils: monograph. Moscow: V.V. Dokuchaev Institute of Soils Publishers; 2008. 164 p. (In Russ.).
3. Vorobiev V.B. Concerning the interrelationp between the content of heavy metals and humus in sod-podzolic light loamy soil. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022;4:103-107. (In Russ.).
4. State Report on the Use of Natural Resources and the Status of the Environment of Ryazan Oblast in 2000. Ryazan: State Committee of Natural Resources for Ryazan Oblast Publishers; 2001. 398 p. (In Russ.).
5. Report on the state and environmental protection in Ryazan Oblast in 2020. Ryazan: Committee of Natural Resources of Ryazan Oblast Publishers; 2020. 148 p. (In Russ.).
6. Report on the state and environmental protection in Ryazan Oblast in 2021. Ryazan: Committee of Natural Resources of Ryazan Oblast Publishers; 2021. 163 p. (In Russ.).
7. Kasatikov V.A. The influence of reclamation techniques on the migration of heavy metals in sod-podzol sandy loam soil. *Land Reclamation*. 2018;4(86):72-77. (In Russ.).
8. Mazhaysky Yu.A., Guseva T.M. Ecological problems of agricultural landscapes of Ryazan region. *Biosphere*. 2019;11(3):156-159. DOI: 10.24855/biosfera.v11i3.510. (In Russ.).
9. Mazhaysky Yu.A. Justification of the modes of complex land reclamation in the conditions of technogenic pollution of the agricultural landscape: Doctoral Dissertation in Agricultural Sciences: 06.01.02. Moscow; 2002. 456p. (In Russ.).
10. Mazhaysky Yu.A. The distribution of heavy metals in the profile of soils of Ryazan Oblast. *Agrochemistry*. 2003;8:74-79. (In Russ.).
11. Mamieva E.B., Shirnina L.V. Littleleaf linden as a biological indicator of air pollution with heavy metals. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2017;1(52):34-40. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.1.34. (In Russ.).
12. Matinian N.N., Reimann K., Bakhmatova K.A. et al. The background concentrations of heavy metals and As in arable soils of the Baltic region]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Seriya 3. Biology*. 2007;3:123-134. (In Russ.).
13. Methodological guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop production. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow: Central Research Institute of Agrochemical Services of Agriculture Publishers; 1992. 61 p. (In Russ.).
14. On the approval of sanitary rules and norms of SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans": Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 2 of 28.01.2021. URL: <https://www.55.rospotrebnadzor.ru/Files/СанПин%203685.pdf>. (In Russ.).
15. Pavlov A.A., Mazhaysky 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.).
16. Solodukhina M.A., Mikheev I.E., Banshchikova E.A. et al. Heavy metals and arsenic in wild plants and plant production of the Baleyky Ore Field (Zabaykalsky Krai). *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(73):95-104. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_95. (In Russ.).
17. SP 502.1325800.2021. Code of Rules "Engineering and environmental survey for construction. General regulations for execution of work": approved by Order of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation of July 16, 2021 No. 475/pr. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1710009803&tld>. (In Russ.).
18. Terekhova V.A., Prudnikova E.V., Kiryushina A.P. et al. 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.).
19. Chernikova O.V. Ecological justification of complex methods of rehabilitation of chernozems contaminated with heavy metals (on the example of Ryazan Oblast): Candidate Dissertation in Biological Sciences: 03.02.08. Ryazan; 2010. 178 p. (In Russ.).

Информация об авторе

A.A. Павлов – кандидат биологических наук, научный сотрудник научного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова», kupoz@mail.ru.

Information about the author

A.A. Pavlov, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Scientific Department, Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, kupoz@mail.ru, kupoz@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.11.2023; одобрена после рецензирования 19.12.2023; принята к публикации 22.12.2023.

The article was submitted 05.11.2023; approved after reviewing 19.12.2023; accepted for publication 22.12.2023.

© Павлов А.А., 2024