



Научная статья
УДК 504.054+504.062+631.95
doi: 10.55186/25876740_2024_67_4_461

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА С СЕДИМЕНТАМИ НА ПАХОТНЫЕ ЗЕМЛИ ПОЙМЕННОГО АГРОЛАНДШАФТА РЕКИ ОКА

А.В. Ильинский, К.Н. Евсенкин, А.А. Павлов

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

Аннотация. Целью исследований является экологическая оценка влияния паводковой седиментации на пахотные земли агроландшафта поймы р. Ока. Исследования по изучению поступления поллютантов в составе паводковых седиментов на пахотные земли пойменного агроландшафта проводились в 2022 г. на стационарном участке наблюдений площадью 16 га, расположенном в 2-х км от северо-восточной административной границы г. Рязани Рязанской области (левый берег центральной части поймы р. Ока близ с. Шумашь). Изучение седиментной нагрузки осуществлялось посредством пробоотбора седиментов с помощью заблаговременно установленных (до начала весеннего половодья) ворсистых пластиковых матов, имитирующих сверху почвенный покров (площадь мата 0,14 м²). Экспериментально установлена величина седиментной нагрузки, изучено содержание поллютантов в паводковых седиментах в сравнении с подстилающей почвой, выполнена оценка степени загрязнения седиментов тяжелыми металлами и мышьяком, проанализирована структура поступления в агроландшафт изучаемых химических элементов с паводковыми седиментами. Анализ рассчитанных коэффициентов концентрации элементов показал, что из рассмотренных поллютантов в паводковых седиментах стационарного участка наблюдений более активно концентрируется кадмий, со значительным отставанием следуют цинк, ртуть, мышьяк, никель и свинец, а медь и хром накапливаются менее активно. Поступление валовых форм тяжелых металлов составило: медь — 238,58 г/га; цинк — 1501,0 г/га; свинец — 271,76 г/га; кадмий — 103,65 г/га; никель — 472,4 г/га; хром — 477,16 г/кг; ртуть — 0,46 г/га; мышьяк — 143,9 г/га. Поступление поллютантов в процессе седиментогенеза на территорию агроландшафта в пойме р. Оки свидетельствует о необходимости организации и проведения экологического мониторинга содержания тяжелых металлов и мышьяка в паводковых седиментах и подстилающей почве, а также профилактических мероприятий по улучшению ее буферных свойств.

Ключевые слова: аллювиальная почва, паводковые седименты, пойменный агроландшафт, поступление поллютантов, седиментная нагрузка, техногенное загрязнение, тяжелые металлы, экологическая безопасность

Original article

ASSESSMENT OF THE INPUT OF HEAVY METALS AND ARSENIC WITH SEDIMENTS TO ARMABLE LAND OF THE FLOODLAND AGROLANDSCAPE OF THE OKA RIVER

A.V. Ilyinsky, K.N. Evsenkin, A.A. Pavlov

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

Abstract. The purpose of the research is an environmental assessment of the impact of flood sedimentation on arable lands of the agricultural landscape of the river floodplain Oka. Research to study the supply of pollutants as part of flood sediments to arable lands of a floodplain agricultural landscape was carried out in 2022 at a stationary observation site with an area of 16 hectares, located 2 km from the north-eastern administrative border of the city of Ryazan, Ryazan region (the left bank of the central part of the floodplain of the river Oka near the village of Shumash). The study of sediment load was carried out by sampling sediments using fleecy plastic mats installed in advance (before the onset of the spring flood), simulating the soil cover on top (mat area 0.14 m²). The magnitude of the sediment load was experimentally established, the content of pollutants in flood sediments was studied in comparison with the underlying soil, the degree of contamination of sediments with heavy metals and arsenic was assessed, and the structure of the entry of the studied chemical elements into the agricultural landscape with flood sediments was analyzed. Analysis of the calculated element concentration coefficients showed that, of the pollutants considered, cadmium is more actively concentrated in flood sediments at the stationary observation site, followed by zinc, mercury, arsenic, nickel and lead with a significant lag, and copper and chromium accumulate less actively. The intake of gross forms of heavy metals was: copper — 238.58 g/ha; zinc — 1501.0 g/ha; lead — 271.76 g/ha; cadmium — 103.65 g/ha; nickel — 472.4 g/ha; chromium — 477.16 g/kg; mercury — 0.46 g/ha; arsenic — 143.9 g/ha. The entry of pollutants in the process of sedimentogenesis into the agricultural landscape in the floodplain of the river Oka demonstrates the need to organize and conduct environmental monitoring of the content of heavy metals and arsenic in flood sediments and underlying soil, as well as preventive measures to improve its buffer properties.

Keywords: alluvial soil, flood sediments, floodplain agricultural landscape, input of pollutants, sediment load, technogenic pollution, heavy metals, environmental safety

Введение. Значительная часть тяжелых металлов (ТМ) поступает в окружающую среду за счет деятельности промышленных предприятий, сельскохозяйственных комплексов, развитой автотранспортной сети [1-4]. В периоды весеннего половодья паводковые седименты, накапливаясь на поверхности затопляемой части речной долины, играют ключевую роль в поступлении загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов, на территорию пойменных агроландшафтов [5-7]. Загрязнение пойменных агроландшафтов ТМ напрямую связано с потенциальным риском для здоровья населения [8]. В процессе постоянного загрязнения почв ТМ происходит их концентрирование

в растительных тканях выращиваемых культур [2, 9-10]. При высоких уровнях загрязнения почв концентрации металлов в растениях возрастают в десятки раз и становятся токсичными для растений и живых организмов; в растениях происходит нарушение баланса компонентов питания, синтеза, функции ферментов, витаминов и гормонов, что приводит к ухудшению основных показателей качества растениеводческой продукции [11-14]. В пойме р. Ока распределению седиментов свойственна неравномерность: наименьшая седиментная нагрузка приходится на естественные сенокосы, на пашне она выше за счет привнесения в пойму дополнительных материалов с пахотных земель,

при этом толщина слоя седиментов зависит от концентрации взвешенных веществ, скорости потока, мощности половодья и его продолжительности [15]. В этой связи определение седиментной нагрузки, оценка химического состава и анализ структуры поступления поллютантов с паводковыми седиментами на пойменный агроландшафт является важным элементом системы агроэкологического мониторинга земель, и данная информация должна учитываться при разработке экологически сбалансированных агроландшафтов, что и послужило целью проведенных нами исследований [16-18].

Методология проведения исследований.

Исследования по изучению поступления поллютантов в составе паводковых седиментов на пахотные земли пойменного агроландшафта проводились на стационарном участке наблюдений площадью 16 га (рис. 1), который расположен в 2-х км от северо-восточной административной границы г. Рязани Рязанской области (левый берег центральной части поймы р. Ока близ с. Шумашь).

Покров опытного участка представлен аллювиальной луговой среднесуглинистой почвой, с нейтральной кислотной средой, гидrolитической кислотностью — 1,10 ммоль/100 г; повышенной суммой поглощенных оснований — 18,2 ммоль/100 г; высокой степенью насыщенности основаниями — 94,3%; очень высоким содержанием обменного кальция — 25,76 ммоль/100 г; повышенным подвижным фосфором — 123 мг/кг; низким обменным калием — 56 мг/кг [19].

Выбор района расположения стационарного участка наблюдений обусловлен результатами ранее проведенных исследований сотрудниками ВНИИГиМ [7, 15], которые показали, что земли обозначенной территории пойменного агроландшафта находятся в условиях техногенной нагрузки, к основным источникам которой

относятся: областной центр Рязанского региона с развитой нефтеперерабатывающей, энергетической и металлургической промышленностью. Также, по данным Министерства природопользования Рязанской области, уровень загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и тяжелыми металлами в г. Рязани в 2021 г. классифицируется как «высокий»; степень загрязнения поверхностной воды по удельному комбинаторному индексу загрязнения в р. Ока в пунктах наблюдения, расположенных выше и ниже г. Рязани, за 5 лет характеризуется как «очень загрязненная» и «грязная» по широкому спектру поллютантов.

Изучение седиментной нагрузки на пахотные земли пойменного агроландшафта осуществлялось посредством пробоотбора седиментов с помощью заблаговременно установленных (до начала весеннего половодья) ворсистых пластиковых матов, имитирующих сверху почвенный покров, (площадь мата 0,14 м²), установленных по диагонали опытного участка с интервалом 100 м, фиксация которых на рельефе осуществлялась металлическими скобами длиной 250 мм. После схода полей вод пластиковые маты снимались с поверхности почвы, затем высушивались (до воздушно-сухого состояния наилка), после чего проводилось извлечение

седиментов посредством встряхивания матов и их чисткой пластиковым скребком с последующим определением массы седиментов и их направлением в специализированную лабораторию для проведения химико-аналитических исследований. Установка пластиковых матов на опытном участке выполнена 15 апреля 2022 г., период экспозиции 35 суток (рис. 2). Одновременно со съемом пластиковых матов в местах их размещения из пахотного слоя подстилающей почвы методом конверта проводился отбор почвенных образцов.

Химико-аналитический анализ проб паводковых седиментов и подстилающей аллювиальной почвы на содержание поллютантов выполнен по стандартным методикам определения содержания химических показателей: значение водородного показателя (рН) — по ПНД Ф 16.2.2:2.3.3.33-02 (для седиментов); значение водородного показателя (рН) — по ГОСТ 26483-85 (для почвы); содержание меди, цинка, свинца, кадмия, никеля, хрома, ртути — по Методике выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии (С.П., 2008); мышьяка — МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом (МСХ, ЦИНАО, 1993) (для седиментов и почвы).

По данным гидрологического поста в г. Рязани (гидрологические параметры приняты по ближайшему репрезентативному гидрологическому посту в г. Рязани, расположенному в однородных физико-географических условиях с участком исследований), за 22-летний период пик половодья обычно приходится на 18-19 апреля и составляет 212 см выше нулевой отметки поста. Абсолютный максимум при этом отмечен 618 см (наблюдался 28.04.2013), такой уровень на 32 см ниже отметки, при которой начинается подтопление жилых помещений. Режим уровней воды в период весеннего паводка 2022 г. имеет выраженный однопиковый характер. Абсолютный максимум относительно нуля поста паводок достиг 23 апреля и составил 510 см, что соответствует второму уровню неблагоприятного явления, при котором русло выходит из берегов, а сам паводок характеризуется как средний.

Дефицит влаги в почве на начало снежного периода осенью 2021 г. достигал 60%, а промерзание почвы водосборной площади ранней



Рисунок 1. Схема расположения стационарного участка наблюдений на пахотных землях пойменного агроландшафта р. Ока
Figure 1. Layout of the stationary observation site on arable lands of the floodplain agricultural landscape of the river Oka



Рисунок 2. Размещение ворсистых пластиковых матов на стационарном участке наблюдений перед началом весеннего половодья
Figure 2. Placement of fleecy plastic mats at a stationary observation site before the onset of spring floods

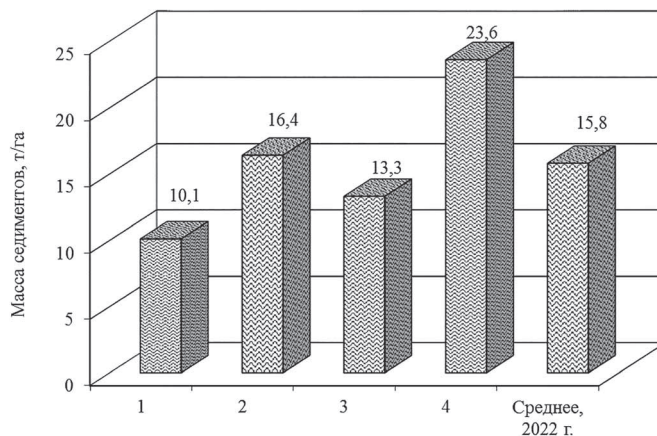


Рисунок 3. Сравнительная оценка седиментной нагрузки на аллювиальную почву стационарного участка наблюдений
Figure 3. Comparative assessment of sediment load on alluvial soil at a stationary observation site

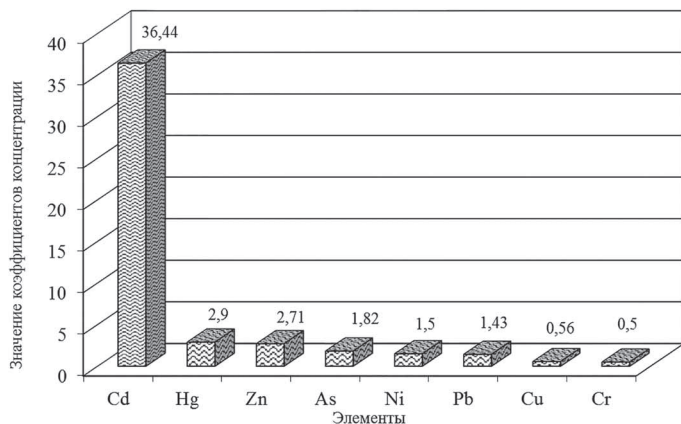


Рисунок 4. Сравнительная оценка коэффициентов концентрации тяжелых металлов и мышьяка в паводковых седиментах
Figure 4. Comparative assessment of the concentration coefficients of heavy metals and arsenic in flood sediments

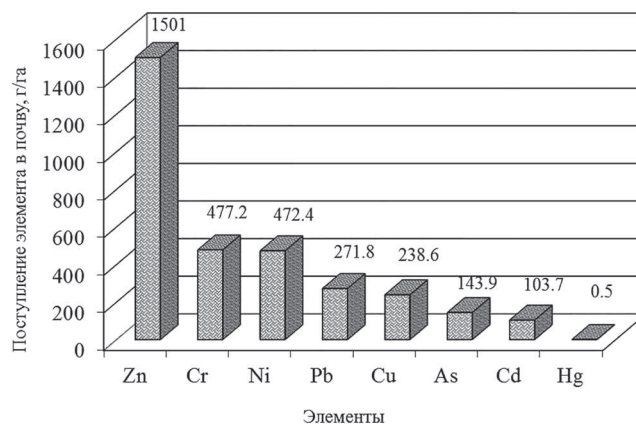


Рисунок 5. Поступление тяжелых металлов и мышьяка с паводковыми седиментами на территорию агроландшафта в пойме р. Ока
Figure 5. The entry of heavy metals and arsenic with flood sediments into the agricultural landscape in the floodplain of the river Oka

весной 2022 г. на водосборе характеризуется как слабое. Оба фактора создали условия для сильной впитывающей способности водосбора в период начала снеготаяния весной 2022 г. По данным справочно-информационного портала «Погода и климат», благодаря снежной зиме, в январе выпало более двух норм месячных осадков, и повышенному запасу воды в снеге, превышающему климатическую норму на 65%, обильным осадкам в апреле 2022 г. равным 74 мм, составляющими 180% от нормы, достигнутый максимальный уровень воды более чем на 1 метр превысил предполагаемую отметку гидропрогноза Рязанского ЦГМС. Прохождение половодья в 2022 г. по скорости повышения уровня воды можно разделить на 3 периода: с 7 по 10 апреля — медленное, стабильное повышение в приделах 10 см за сутки; с 10 по 20 апреля — интенсивное повышение в среднем на 44 см в сутки; с 20 по 23 апреля — замедление и достижения пика до 9 см в сутки.

Результаты и обсуждение. Определение седиментной нагрузки показало, что масса седиментов обследованного стационарного участка наблюдений агроландшафта варьирует от 10,1 до 23,6 т/га, что, по всей видимости, связано с небольшими неровностями рельефа, характерными для данной территории, при этом среднее значение седиментной нагрузки на стационарном участке наблюдений пойменного агроландшафта в 2022 г. составило 15,8 т/га (рис. 3).

Результаты определения валовых форм тяжелых металлов в паводковых седиментах (табл.) показали, что из изучаемых элементов только концентрация кадмия, относящегося к первому классу опасности веществ, в 3,28 раза превысила значение, установленное санитарно-гигиеническими нормативами. Концентрация мышьяка, также относящегося к первому классу опасности веществ, вплотную приблизилась к гигиеническому нормативу — 0,91 ОДК. По остальным металлам были получены следующие значения: Cu — 0,11 ОДК; Zn — 0,43 ОДК; Pb — 0,13 ОДК; Ni — 0,37 ОДК; Hg — 0,01 ПДК.

Анализ результатов химико-аналитических исследований по ряду некоторых тяжелых металлов показал, что в настоящее время содержание валовых форм тяжелых металлов в аллювиальной почве не превышает значения санитарно-гигиенических нормативов, однако наблюдается превышение региональных фоновых концентраций следующим образом: цинка — в 1,95 раза; свинца — в 1,63 раза,

кадмия — в 1,89 раза, никеля — в 1,53 раза, ртути — в 3 раза. По критерию оценки химического загрязнения почва относится к допустимой категории (Zс соответствует 6).

При сопоставлении концентрации тяжелых металлов и мышьяка в наилке с подстилающей почвой отмечено, что наибольшее превышение их содержания в седиментах характерно для кадмия — в 19,3 раза, мышьяка — в 2 раза; хрома — в 1,7 раза, цинка — в 1,4 раза. По меди, свинцу, никелю и ртути превышения содержания в седиментах над подстилающей почвой не зафиксировано.

Для каждого из рассмотренных элементов рассчитан коэффициент концентрации (рис. 4), определяемый как отношение содержания элемента в паводковых седиментах к региональному почвенному фону.

Эмпирический ряд накопления поллютантов в паводковом седименте построен на основании анализа коэффициентов концентрации элементов и имеет следующий вид: Cd>Hg>Zn>As>Ni>Pb>Cu>Cr. По критерию оценки химического загрязнения паводковые седименты относятся к высокоопасной категории (Zс соответствует 41,8). Из рассмотренных поллютантов в паводковых седиментах стационарного участка наблюдений более активно концентрируется кадмий, со значительным отставанием следуют ртуть, цинк, мышьяк, никель и свинец, а медь и хром накапливаются менее активно. При этом, в соответствии с ГОСТ Р 17.4.1.02-83, кадмий, ртуть, цинк, свинец и мышьяк относятся к первому классу опасности химических веществ, а никель, медь и хром — ко второму классу опасности химических веществ.

Анализ поступления тяжелых металлов и мышьяка с паводковыми седиментами на территорию агроландшафта в пойме р. Ока свидетельствует о значимом притоке исследуемых элементов в аллювиальную почву (рис. 5).

На основе анализа поступления тяжелых металлов и мышьяка в процессе седиментогенеза на территорию агроландшафта в пойме р. Ока был построен эмпирический ряд поступления элементов с паводковыми седиментами: Zn>Cr>Ni>Pb>Cu>As>Cd>Hg. Установлено, что в структуре поступления в почву изучаемых химических элементов с седиментами на цинк приходится 46,77%, на хром — 14,88%, на никель — 14,72%, на свинец — 8,47%, на медь — 7,44%, на мышьяк — 4,48%, на кадмий — 3,23%, на ртуть — 0,01%.

Таблица. Сравнительная оценка содержания валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в паводковых седиментах и пахотном слое подстилающей аллювиальной почвы

Table. Comparative assessment of the content of bulk forms of heavy metals and arsenic in flood sediments and the arable layer of underlying alluvial soil

Элемент	Седимент Почва	Отклонение		Региональный фон [20]	ОДК
		мг/кг	%		
Медь (Cu)	15,1±0,1 14,9±0,1	0,2	1,34	27	132
Цинк (Zn)	95,0±2,1 68,1±0,4	26,9	39,5	35	220
Свинец (Pb)	17,2±0,1 19,5±0,1	-2,3	-11,8	12	130
Кадмий (Cd)	6,56±0,04 0,34±0,02	6,22	1829,41	0,18	2,0
Никель (Ni)	29,9±0,2 30,6±0,3	-0,7	2,29	20	80
Хром (Cr)	30,2±0,2 17,8±0,1	12,4	69,66	61	—
Ртуть (Hg)	0,029±0,002 0,030±0,001	0,001	3,33	0,01*	2,1**
Мышьяк (As)	9,11±0,07 4,67±0,02	4,44	95,08	5,0*	10

Измерения выполнены в четырех повторностях (среднее ± доверительный интервал, при α = 0,95)
Примечание: * — по данным Ю.А. Саета и др. [21]; ** — ПДК в почве в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

Заключение. Представленная оценка поступления ТМ и мышьяка с седиментами на пахотные земли пойменного агроландшафта р. Ока показала, что они являются мощным фактором загрязнения аллювиальных почв поллютантами. Исследования показали, что в содержании поллютантов в паводковых седиментах и подстилающей аллювиальной почвы имеются большие различия: Cu, Zn, Cr, As в седиментах больше в 1,01-2,0 раза, а по Cd разница в 19,3 раза, похожая взаимосвязь отмечается в результатах исследований других авторов [7, 15]. Полученный суммарный показатель загрязнения седиментов значительно выше, чем у почвы, что свидетельствует о достаточно сильном техногенном воздействии на почвенный покров. В существующих экологических условиях, несмотря на то что исследованная аллювиальная почва поймы р. Ока по контролируемому поллютантам относится к допустимой категории загрязнения, уже сейчас необходимы организация и проведение



локального агроэкологического мониторинга содержания ТМ и мышьяка в паводковых седиментах и подстилающей почве с целью прогноза загрязнения пойменного агроландшафта. В качестве профилактических мероприятий рекомендуется использование приемов, направленных на снижение транслокации тяжелых металлов в растительную продукцию и миграцию в грунтовые воды (повышение буферности почвы за счет внесения мелиорантов и подбор фиторемедиантов).

Для оценки динамики экологической обстановки земель пойменного агроландшафта по загрязнению почвы токсичными элементами в дальнейшем также представляется целесообразным изучение баланса поллютантов, учитывающего максимально подробно приходную и расходную его части, на примере стационарного участка наблюдений, расположенного в центральной части поймы р. Ока.

Список источников

1. Борисочкина Т.И., Колчанова К.А. Геохимия тяжелых металлов почв урбанизированных ландшафтов зон воздействия металлургических предприятий // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 10. С. 50-56. doi: 10.18412/1816-0395-2021-10-50-56
2. Ilinskiy, A., Vinogradov, D., Politava, N., Badenko, V., Ilin, I. (2023). Features of the Phytoremediation by Agricultural Crops of Heavy Metal Contaminated Soils. *Agronomy*, no. 13 (1), p. 127. doi: 10.3390/agronomy13010127
3. Ilinsky, A.V., Selmen, V.N., Selmen, E.V., Karyakina, S., Matyukhin, M., Grebennikova, V. (2023). Environmental substantiation of the use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the landscaping of residential areas. In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022"*. Springer, pp. 3027-3036.
4. Ilinskiy, A.V., Selmen, V.N., Selmen, E.V. (2022). The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas. *Theoretical and Applied Ecology*, no. 2, pp. 191-197.
5. Силаев А.Л., Чекин Г.В., Смольский Е.В. Распределение микроэлементов в почвах пойменного ландшафта р. Унеча // Агрохимический вестник. 2021. № 5. С. 12-17. doi: 10.24412/1029-2551-2021-5-003
6. Kalmykow-Piwińska, A., Falkowska, E. (2020). Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland). *Open Geosciences*, no. 1, pp. 1036-1051.
7. Пыленок П.И. Влияние седиментации на качество аллювиальной почвы в пойме реки Ока // Агрофизика. 2020. № 4. С. 7-13.
8. Zakrutkin, V.E. Reshetnyak, V. N., Reshetnyak, O.S. (2020). Assessment of the heavy metal pollution level of the river sediments in the east Donbass (Rostov region, Russia). *Water and Ecology*, no. 3 (83), pp. 32-40. doi: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.32-40
9. Забашта А.В., Забашта Н.Н., Лисовицкая Е.П. Накопление тяжелых металлов в почвах предгорных районов Краснодарского края // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 22-26. doi: 10.12737/article_5ccedba6e0c8c9.68580698
10. Kalimoldina L.M., Sultangazieva G.S., Suleimeno-va M.Sh. Contamination of soils with heavy metal in the urban area of Almaty // Почвоведение и агрохимия. 2022. No. 3. P. 38-45. doi: 10.51886/1999-740X_2022_3_38
11. Loseva L.P., Krupskaya T.K., Anuchin S.N., Anu- frick S.S. Comprehensive evaluation of the phytoremedial ability of a number of agricultural crops for the restoration of polluted soils with heavy metals // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2020. № 1. С. 23-31.

Информация об авторах:

Ильинский Андрей Валерьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-9170>, ilinskiy-19@mail.ru

Евсенкин Константин Николаевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0194-8552>, kn.evsenkin@yandex.ru

Павлов Артем Андреевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5932-1624>, kupoz@mail.ru

Information about the authors:

Andrey V. Ilyinsky, candidate of agricultural sciences, associate professor, leading researcher, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-9170>, ilinskiy-19@mail.ru

Konstantin N. Evsenkin, candidate of technical sciences, leading researcher, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0194-8552>, kn.evsenkin@yandex.ru

Artyom A. Pavlov, candidate of biological sciences, researcher, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5932-1624>, kupoz@mail.ru

12. Шамшиев А.Б. Негативные последствия загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и их влияние на живую организм // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2021. № 1. С. 49-54. doi: 10.26104/NNTIK.2019.45.557

13. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Эко- токсикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. М.: Агроконсалт, 1999. 175 с.

14. Кулаков Д.В., Верещагина Е.А., Макушенко М.Е. Влияние Белоярской АЭС на зоопланктон водоема-охладителя // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 8. С. 38-43. doi: 10.18412/1816-0395-2017-8-38-43

15. Новосельцев В.Н., Бесфамильный И.Б., Кизяев Б.М., Райнин В.Е. и др. Техногенное загрязнение речных экосистем. М.: Научный мир, 2002. 140 с.

16. Кирейчева Л.В., Шевченко В.А. Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 2. С. 12-16.

17. Михайлушкин П.В., Алиева А.Р. Органическое земледелие — направление перехода к «зеленой» экономике в России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 2. С. 17-19.

18. Германова С.Е., Петухов Н.В., Самброс Н.Б., Пивень Е.А., Зинченко А.В. Воздействие антропогенных факторов на сельскохозяйственные почвы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1. С. 39-42.

19. Ильинский А.В., Коломийцев Н.В., Матвеев А.В., Евсенкин К.Н., Корженевский Б.И. Новые способы повышения продуктивности деградированных мелиорированных земель с применением информационных технологий: монография. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. 152 с.

20. Нейтрализация загрязненных почв: монография / под ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. 528 с.

21. Саэт Ю.А., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

References

1. Borisochkina, T.I., Kolchanova, K.A. (2021). Geokhimiya tyazhelykh metallov pochv urbanizirovannykh landshaftov zon vozdeistviya metallurgicheskikh predpriyatii [Geochemistry of heavy metals in soils of urban landscapes affected by metallurgical enterprises]. *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], vol. 25, no. 10, pp. 50-56. doi: 10.18412/1816-0395-2021-10-50-56
2. Ilinskiy, A., Vinogradov, D., Politava, N., Badenko, V., Ilin, I. (2023). Features of the Phytoremediation by Agricultural Crops of Heavy Metal Contaminated Soils. *Agronomy*, no. 13 (1), p. 127. doi: 10.3390/agronomy13010127
3. Ilinsky, A.V., Selmen, V.N., Selmen, E.V., Karyakina, S., Matyukhin, M., Grebennikova, V. (2023). Environmental substantiation of the use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the landscaping of residential areas. In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022"*. Springer, pp. 3027-3036.
4. Ilinskiy, A.V., Selmen, V.N., Selmen, E.V. (2022). The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas. *Theoretical and Applied Ecology*, no. 2, pp. 191-197.
5. Silaev, A.L., Chekin, G.V., Smol'skii, E.V. (2021). Raspre- delenie mikroelementov v pochvakh poimennogo land- shafta r. Unecha [Distribution of microelements in soils of the floodplain landscape of the river. Unecha]. *Agrokhi- micheskiy vestnik* [Agrochemical herald], no. 5, pp. 12-17. doi: 10.24412/1029-2551-2021-5-003
6. Kalmykow-Piwińska, A., Falkowska, E. (2020). Mor- phodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland). *Open Geosciences*, no. 1, pp. 1036-1051.
7. Pylenok, P.I. (2020). Vliyaniye sedimentatsii na kachest- vo allyuvial'noi pochvy v poime reki Oka [The influence of sedimentation on the quality of alluvial soil in the floodplain of the Oka River]. *Agrophysica*, no. 4, pp. 7-13.

8. Zakrutkin, V.E. Reshetnyak, V. N., Reshetnyak, O.S. (2020). Assessment of the heavy metal pollution level of the river sediments in the east Donbass (Rostov region, Russia). *Water and Ecology*, no. 3 (83), pp. 32-40. doi: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.32-40

9. Zabashta, A.V., Zabashta, N.N., Lisovitskaya, E.P. (2019). Nakoplenie tyazhelykh metallov v pochvakh predgornykh raionov Krasnodarskogo kraia [Accumulation of heavy metals in soils of foothill areas of the Krasnodar region]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vest- niki of Kazan State Agraria University], vol. 14, no. 1 (52), pp. 22-26. doi: 10.12737/article_5ccedba6e0c8c9.68580698

10. Kalimoldina, L.M., Sultangazieva, G.S., Suleimeno- va, M.Sh. (2022). Contamination of soils with heavy metal in the urban area of Almaty. *Pochvovedenie i agrokhi- miya* [Soil science and agrochemistry], no. 3, pp. 38-45. doi: 10.51886/1999-740X_2022_3_38

11. Loseva, L.P., Krupskaya, T.K., Anuchin, S.N., Anu- frick, S.S. (2020). Comprehensive evaluation of the phytoremedial ability of a number of agricultural crops for the restora- tion of polluted soils with heavy metals. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ehkologiya* [Journal of the Belarussian State University. Ecology], no. 1, pp. 23-31.

12. Shamshiev, A.B. (2021). Negativnye posledstviya zagryazneniya okruzhayushchei srede tyazhelymi metallami i ikh vliyaniye na zhivoye organizm [Negative consequences of environmental pollution with heavy metals and their impact on living organisms]. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana* [Science, new technologies and innovations in Kyrgyzstan], no. 1, pp. 49-54. doi: 10.26104/NNTIK.2019.45.557

13. Chernykh, N.A., Milashchenko, N.Z., Ladonin, V.F. (1999). *Ehkotoksikologicheskie aspekty zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami* [Ecotoxicological aspects of soil pollu- tion with heavy metals]. Moscow, Agrokonsalt Publ., 175 p.

14. Kulakov, D.V., Vereshchagina, E.A., Makushenko, M.E. (2017). Vliyaniye Beloyarskoi AEHS na zooplankton vodoema-okhladitel'ya [The influence of the Beloyarsk NPP on the zoo- plankton of the cooling pond]. *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], vol. 21, no. 8, pp. 38-43. doi: 10.18412/1816-0395-2017-8-38-43

15. Novosel'tsev, V.N., Besfaminy, I.B., Kizyaev, B.M., Rainin, V.E. i dr. (2002). *Tekhnogennoe zagryaznenie rechnykh ehkotsistem* [Technogenic pollution of river ecosystems]. Mos- cow, Nauchnyi mir Publ., 140 p.

16. Kireicheva, L.V., Shevchenko, V.A. (2020). Sostoyaniye pakhotnykh zemel' Nечерноземной zony Rossiiskoi Federatsii i osnovnye napravleniya povysheniya plodородiya pochvy [The state of arable lands in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation and the main directions of increasing soil fertility]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 2, pp. 12-16.

17. Mikhailushkin, P.V., Alieva, A.R. (2020). Organicheskoe zemledelie — napravlenie perekhoda k «zelenoi» ehkonomie v Rossii [Organic farming — direction of transition to a "green" economy in Russia]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 2, pp. 17-19.

18. Germanova, S.E., Petukhov, N.V., Sambros, N.B., Piven', E.A., Zinchenko, A.V. (2023). Vozdeistvie antropogen- nykh faktorov na sel'skokhozyaistvennye pochvy [Impact of anthropogenic factors on agricultural soils]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 1, pp. 39-42.

19. Ilinskiy, A.V., Kolomiitsev, N.V., Matveev, A.V., Evsen- kin, K.N., Korzhenevskii, B.I. (2022). *Novye sposoby povysheniya produktivnosti degradirovannykh meliorirovannykh zemel' s primeneniem informatsionnykh tekhnologii: monografiya* [New ways to increase productivity of degraded reclaimed lands using information technologies: monograph]. Mos- cow, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 152 p.

20. Mazhaiskii, Yu.A. (ed.) (2008). *Neitralizatsiya zagry- aznennykh pochv: monografiya* [Neutralization of polluted soils: monograph]. Rязань, Meshchersk branch of the GNU VNIIGiM of the Russian Agricultural Academy, 528 p.

21. Saet, Yu.A., Revich, B.A., Yanin, E.P. i dr. (1990). *Geokhi- miya okruzhayushchei srede* [Geochemistry of the environ- ment]. Moscow, Nedra Publ., 335 p.