

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-40-47>

УДК 631.6.02:504.064:504.054



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕДИМЕНТАЦИИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПОЙМЕННОГО АГРОЛАНДШАФТА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

А.В. Ильинский[✉], К.Н. Евсенкин, А.А. Павлов

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. Целью исследований являлась экологическая оценка влияния паводковой седиментации на пахотную аллювиальную почву затапливаемой поймы в период весеннего половодья р. Ока. Эксперимент по изучению поступления тяжелых металлов и мышьяка вместе с паводковыми седиментами на пахотные земли затапливаемой части поймы р. Ока проводился в 2023 г. на участке площадью 20 га, расположенном в 2 км к северу от границы г. Рязани. Изучение седиментной нагрузки на опытном участке выполнялось с помощью заблаговременно установленных на поверхности почвы седиментационных ловушек, расположенных друг от друга на расстоянии 0,45 км. В ходе проведения эксперимента установлен уровень седиментной нагрузки, изучено содержание поллютантов в паводковых седиментах в сравнении с подстилающей почвой, проведена оценка степени загрязнения седиментов тяжелыми металлами и мышьяком, проанализирована структура поступления в агроландшафт изучаемых химических элементов с паводковыми седиментами. Из рассмотренных поллютантов в паводковых седиментах стационарного участка наблюдений больше всего концентрируется кадмий, со значительным отставанием следуют ртуть, цинк, никель, марганец, свинец, мышьяк, а медь и хром концентрируются менее активно. Поступление валовых форм тяжелых металлов составило: марганец – 8793,4 г/га; цинк – 1435,28 г/га; хром – 539 г/га; никель – 523,6 г/га; медь – 280,28 г/га; свинец – 238,7 г/га; кадмий – 112,42 г/га; мышьяк – 87,93 г/га; ртуть – 0,65 г/га. Выявленная тенденция загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком в процессе седиментогенеза на территории пойменного агроландшафта р. Ока обуславливает необходимость разработки комплексных профилактических и реабилитационных мероприятий, содержащих в себе избирательный выбор культур, не накапливающих в себе тяжелые металлы, а также использование органоминеральных мелиорантов. При этом рекомендуется проведение агроэкологического мониторинга исследуемого агроландшафта на основе изучения циклов миграции тяжелых металлов.

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

Формат цитирования: Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А. Экологическая оценка влияния седиментации на загрязнение мелиорированных земель пойменного агроландшафта тяжелыми металлами // Природообустройство. 2025. № 1. С. 40-47. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-40-47>

Scientific article

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE EFFECT OF SEDIMENTATION ON THE POLLUTION OF RECLAIMED LANDS OF THE FLOODPLAIN AGRICULTURAL LANDSCAPE WITH HEAVY METALS

A.V. Ilyinsky[✉], K.N. Evsenkin, A.A. Pavlov

All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str, 44, building 2, Russia

Abstract. The purpose of the research was an environmental assessment of the impact of flood sedimentation on the arable alluvial soil of the floodplain during the spring flood of the river Oka. An experiment to study the supply of heavy metals and arsenic along with flood sediments to arable lands in the flooded part of the river floodplain Oka was carried out in 2023 on an area of 20 hectares located 2 km north of the border of Ryazan. The study of sediment load on the experimental site was carried out using sediment traps installed in advance on the soil surface, located at a distance of 0.45 km from each other. During the experiment, the level of the sediment load was 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 flow of the studied chemical elements into the agricultural landscape with flood sediments was analyzed. Of the pollutants considered, cadmium is the most concentrated in flood sediments at the stationary observation site, followed by mercury, zinc, nickel, manganese, lead, and arsenic with a significant lag, and copper and chromium are concentrated less actively. The intake of gross forms of heavy metals was: manganese – 8793.4 g/ha; zinc – 1435.28 g/ha; chromium – 539 g/ha; nickel – 523.6 g/ha; copper – 280.28 g/ha; lead – 238.7 g/ha; cadmium – 112.42 g/ha; arsenic – 87.93 g/ha; mercury – 0.65 g/ha. The revealed tendency of contamination with heavy metals and arsenic in the process of sedimentogenesis is on the territory of the floodplain agricultural landscape of the river Oka conditions the need to develop comprehensive preventive and rehabilitation measures that include a selective selection of crops that do not accumulate heavy metals, as well as the use of organomineral ameliorants. At the same time, it is recommended to conduct agroecological monitoring of the studied agricultural landscape based on studying the cycles of migration of heavy metals.

Keywords: flood sediments, floodplain agricultural landscape, sediment load, technogenic pollution, heavy metals, environmental safety

Format of citation: Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. Environmental assessment of the effect of sedimentation on the pollution of reclaimed lands of the floodplain agricultural landscape with heavy metals // Prirodoobustrojstvo. 2025. No. 1. P. 40-47. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-40-47>

Введение. Одним из важнейших аспектов экологической оценки сельскохозяйственных земель является контроль над загрязнением почвы поллютантами, поступающими от антропогенных источников [1-4]. Наибольший вклад в поступление тяжелых металлов на пахотные земли затопляемой поймы вносят паводковые седименты, оседающие на поверхности почвы после схода полых вод [5-7]. Загрязнение пашни тяжелыми металлами влечет за собой потенциальный риск ухудшения качества продукции растениеводства и животноводства [8]. В процессе постоянного загрязнения почв тяжелыми металлами происходит их избыточная транслокация в растительные ткани сельскохозяйственных культур [2, 9, 10]. Распределение паводковых седиментов зависит от целого ряда условий – таких, как интенсивность прохождения половодья, концентрации взвешенных веществ в воде, рельеф местности, шероховатость почвенного покрова [11, 12]. В этой связи исследования по определению седиментной нагрузки, оценка химического состава и анализ структуры поступления тяжелых металлов с паводковыми седиментами на пойменный агроландшафт являются важным элементом экологического мониторинга сельскохозяйственного агроландшафта, результаты которого послужат обоснованием необходимости проведения агромелиоративных мероприятий, направленных на повышение плодородия пахотных почв пойменных агроландшафтов [13-15].

Цель исследований: экологическая оценка влияния паводковой седиментации на пахотные земли агроландшафта поймы р. Ока.

Материалы и методы исследований. Экспериментальные исследования по изучению загрязнения пойменного агроландшафта

поллютантами, поступающими в составе паводковых седиментов на пахотные земли, проводились на опытном участке площадью 20 га, расположенном в 2 км от границы г. Рязани (рис. 1).

На исследуемой территории распространены аллювиальные луговые среднесуглинистые почвы, характеризующиеся: близкой к нейтральной кислотной средой, гидролитической кислотностью – 1,10 ммоль/100 г; высокой степенью насыщенности основаниями – 94,3%; очень высоким содержанием обменного кальция – 25,76 ммоль/100 г; повышенным подвижным фосфором – 109 мг/кг; низким, ближе к среднему, обменным калием – 80 мг/кг [16].

Выбор места расположения опытного участка обоснован в первую очередь тем, что на данном участке поймы расположена пашня, для которой необходимо учитывать влияние седиментной нагрузки. Кроме того, по результатам

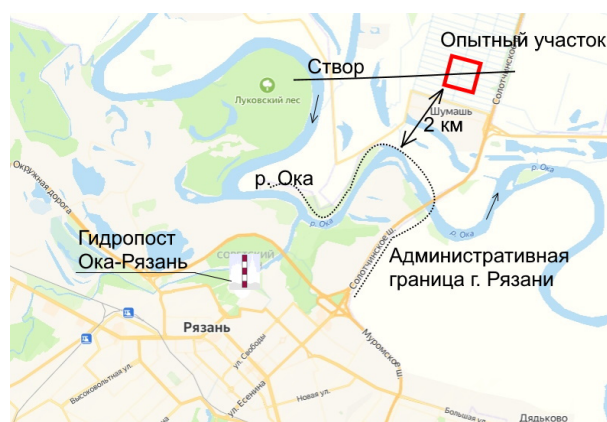


Рис. 1. Схематичное расположение участка проведения исследований

Fig. 1. Schematic location of the research site for the floodplain agricultural landscape of the river Oka

архивных исследований ВНИИГиМ, территория центральной поймы подвержена техногенному воздействию (коммунальное, промышленное и сельскохозяйственное) [7, 11]. Основными источниками антропогенной нагрузки являются промышленные и коммунальные сбросы в р. Ока, выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ энергетическим сектором, транспортом, промышленностью и сельским хозяйством, которые осаждаются на рельеф местности [7].

Министерство природопользования Рязанской области в своих отчетах отмечает, что уровень загрязнения атмосферного воздуха в региональном центре считается высоким, как и степень загрязнения воды р. Ока за пятилетний период, вода очень загрязненная и даже грязная по большому перечню загрязняющих веществ [17, 18]. По данным государственной статистической отчетности [17, 18] и результатам ранее проведенных исследований [7, 11, 21], на данной территории наиболее приоритетными и специфическими поллютантами, получившими наибольшее распространение, являются цинк, свинец, кадмий, никель, хром, ртуть, мышьяк, медь, марганец.

Изучение седиментной нагрузки на исследуемой территории осуществлялось с помощью зафиксированных на рельефе четырех седиментационных ловушек (рис. 2), представляющих собой ворсистые пластиковые маты, расположенных друг от друга на расстоянии 0,45 км. Сразу после схода полых вод ловушки снимались с поверхности почвы, затем транспортировались в лабораторию, высушивались (до воздушно-сухого состояния наилка), после чего проводилось извлечение седиментов (рис. 3) посредством встряхивания матов и их чисткой лопаткой

с последующим определением массы седиментов и направлением на химико-аналитические исследования.

Размещение ловушек на рельефе опытного участка выполнено 23 марта 2023 г., накопление седиментов осуществлялось в течение 42 дней. Отбор почвенных образцов осуществлен методом конверта в интервале 0,0-0,2 м.

Лабораторный анализ отобранных проб паводковых седиментов и подстилающей аллювиальной почвы на содержание поллютантов выполнен по стандартным методикам определения содержания химических показателей: для седиментов – значение водородного показателя (рН) по ПНД Ф 16.2:2.2.3:3.3.33-02; для почвы – значение водородного показателя (рН) по ГОСТ 26483-85; для седиментов и почвы – содержание кислоторастворимых форм меди, цинка, свинца, кадмия, никеля, хрома, ртути, марганца по методике выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии (С.П., 2008); для мышьяка – МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом (МСХ. ЦИНАО, 1993).

По данным гидрологического поста на р. Ока в г. Рязани, полученным за 23 года, высшая точка половодья приходится на 18-19 апреля и составляет 220 см выше нуля поста. Абсолютный максимум – 618 см (28 апреля 2013 г.). Весеннее половодье имеет однопиковый характер. Абсолютного максимума в 2023 г. паводок достиг 6 апреля и составил 590 см, что приравнивается ко второму уровню неблагоприятного явления, при котором русло выходит из берегов, а паводок характеризуется как средний [19].



Рис. 2. Снятие седиментационных ловушек на опытном участке после прохождения весеннего половодья

Fig. 2. Removal of sediment traps at the experimental site after the spring flood



Рис. 3. Внешний вид отобранной пробы паводкового седимента

Fig. 3. Appearance of the collected flood sediment sample

Осенне-зимний период 2022-2023 гг. характеризовался обильными осадками, превышающими климатическую норму, вследствие чего предзимнее увлажнение почвы в бассейне р. Ока было в норме, в некоторых местах переувлажнение почвы отмечалось до 70% выше нормы. Чередование оттепелей и морозов в период с декабря 2022 г. по январь 2023 г. местами на полях образовало ледяную корку. К середине февраля глубина промерзания почвы составила до 87 см, что на 40% выше февральской нормы. Высота снежного покрова и количество влаги в снеге всю зиму были ниже нормы, к концу февраля благодаря обильным снегопадам запас воды в снеге приблизился к норме. Уровень воды в р. Ока в период зимнего паводка 2023 г. был выше, чем за последние годы, на 1,5 м. После прохождения пика зимнего паводка отметка воды к концу февраля 2023 г. снизилась на 3 м.

Прохождение половодья в 2023 г. по скорости повышения уровня воды можно подразделить на 4 периода: с 12 по 14 марта – медленное, стабильное повышение в пределах 8-10 см за сутки; с 14 по 18 марта – средней интенсивности повышение на 22-35 см в сутки; с 18 по 25 марта – период максимального роста на 40-56 см в сутки; с 25 марта по 6 апреля – замедление и достижение пика до 7-20 см в сутки [20].

Результаты и их обсуждение. Исследования показали, что масса седиментов на территории обследованного участка агроландшафта варьирует от 10,8 до 18,6 т/га, что может быть связано с небольшими перепадами рельефа на данной местности. При этом среднее значение седиментной нагрузки на опытный участок пойменного агроландшафта в 2023 г. составило 15,4 т/га (рис. 4).

Анализ результатов содержания валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в паводковых седиментах (табл.) показал, что из изучаемых элементов только концентрация кадмия, относящегося к первому классу опасности веществ, в 3,65 раза превысила значение, установленное гигиеническими нормативами. По остальным элементам были получены следующие значения: Cu – 0,14 ОДК; Zn – 0,42 ОДК; Pb – 0,12 ОДК; Ni – 0,43 ОДК; Hg – 0,02 ПДК; As – 0,57 ОДК; Mn – 0,38 ОДК.

Анализ результатов химико-аналитических исследований показал, что в настоящее время содержание исследуемых элементов в аллювиальной почве соответствует требованиям экологических нормативов, но при этом зафиксировано превышение региональных фоновых концентраций: ртути – в 12,9 раза; цинка – в 2,29 раза;

никеля – в 1,51 раза; марганца – в 1,34 раза; свинца – в 1,31 раза; кадмия – в 1,05 раза. По критерию оценки химического загрязнения почва относится к верхнему пределу допустимой категории (Z_c соответствует 15,6).

При сопоставлении концентрации валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в наилке с подстилающей аллювиальной луговой среднесуглинистой почвой отмечено, что наибольшее превышение их содержания в седиментах характерно для кадмия (в 38,4 раза), мышьяка (в 1,8 раза), цинка (в 1,16 раза), никеля (в 1,12 раза), марганца (в 1,07 раза), хрома (в 1,06 раза). По меди, свинцу и ртути превышение содержания в седиментах над подстилающей почвой зафиксировано не было.

На следующем этапе исследований для каждого из рассмотренных элементов был рассчитан коэффициент концентрации (рис. 5), определяемый как отношение содержания элемента в паводковых седиментах к региональному почвенному фону.

Эмпирический ряд накопления тяжелых металлов и мышьяка в паводковых седиментах, установленный на основе расчетных значений коэффициентов концентрации элементов, имеет следующий вид: $Cd > Hg > Zn > Ni > Mn > Pb > As > Cu > Cr$. По критерию оценки химического загрязнения паводковые седименты относятся к высокоопасной категории (Z_c соответствует 46,2).

Анализ полученных результатов показывает, что из рассмотренных поллютантов в паводковых седиментах стационарного участка наблюдений более активно концентрируется кадмий, со значительным отставанием – ртуть, цинк, никель, марганец, свинец, мышьяк, а медь и хром

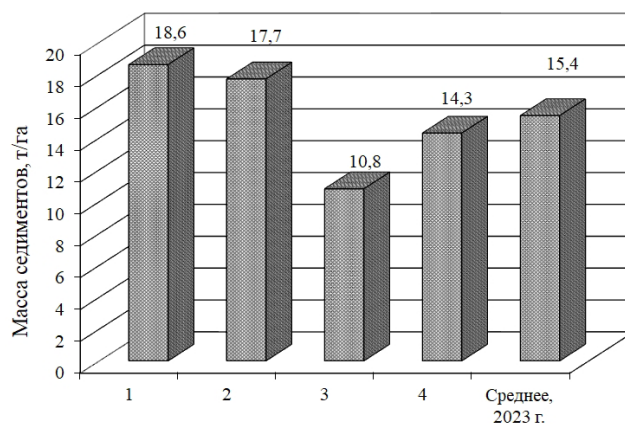


Рис. 4. Результаты расчета уровня седиментной нагрузки на стационарный участок наблюдений
Fig. 4. Results of calculation of sediment load on a stationary observation site

концентрируются менее активно. При этом, в соответствии с ГОСТ Р 17.4.1.02-83, кадмий, цинк, ртуть, свинец и мышьяк относятся к первому классу, никель, медь и хром – ко второму классу, марганец – к третьему классу опасности химических веществ.

Оценка поступления тяжелых металлов и мышьяка с паводковыми седиментами на территорию стационарного участка мониторинговых наблюдений, расположенного в пойме р. Ока, указывает на значительный привнос исследуемых элементов в аллювиальную почву (рис. 6).

Таблица. Результаты определения содержания валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в паводковых седиментах и пахотном слое аллювиальной почвы стационарного участка наблюдений

Table. Results of determining the content of bulk forms of heavy metals and arsenic in flood sediments and the arable layer of alluvial soil at the stationary observation site

Элемент <i>Element</i>	Седимент Почва / <i>Sediment Soil</i>	Отклонение / <i>Deviation</i>		Рег. фон [21-23]	ОДК APC
		мг/кг <i>mg / kg</i>	%		
Медь (Cu) / <i>Copper</i>	$\frac{18,2 \pm 0,2}{22,7 \pm 0,3}$	-4,5	-19,82	27	132
Цинк (Zn) / <i>Zinc</i>	$\frac{93,2 \pm 3,1}{80,1 \pm 1,8}$	13,1	16,35	35	220
Свинец (Pb) / <i>Lead</i>	$\frac{15,5 \pm 0,6}{15,8 \pm 0,4}$	-0,3	-1,9	12	130
Кадмий (Cd) / <i>Cadmium</i>	$\frac{7,3 \pm 0,08}{0,19 \pm 0,02}$	7,11	3742,11	0,18	2,0
Никель (Ni) / <i>Nickel</i>	$\frac{34,0 \pm 1,2}{30,3 \pm 1,1}$	3,7	12,21	20	80
Хром (Cr) / <i>Chrome</i>	$\frac{35,0 \pm 1,4}{33,1 \pm 1,3}$	1,9	5,74	61	—
Ртуть (Hg) / <i>Mercury</i>	$\frac{0,042 \pm 0,002}{0,129 \pm 0,003}$	-0,087	-67,44	0,01*	2,1**
Мышьяк (As) / <i>Arsenic</i>	$\frac{5,71 \pm 0,05}{3,2 \pm 0,08}$	2,51	78,44	5,0*	10
Марганец (Mn) / <i>Manganese</i>	$\frac{571,0 \pm 34}{534,0 \pm 29}$	37	6,93	400	1500

Измерения выполнены в четырех повторностях (среднее $\pm$ доверительный интервал, при $\alpha = 0,95$)
Measured in four repeats (mean $\pm$ confidence interval, $\alpha = 0.95$)

* – по данным Ю.А. Саета и др. [24]; / according to Y.A. Saet et al. [24]

** – ПДК в почве в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 / MPC in the soil in accordance with SanPiN 1.2.3685-21.

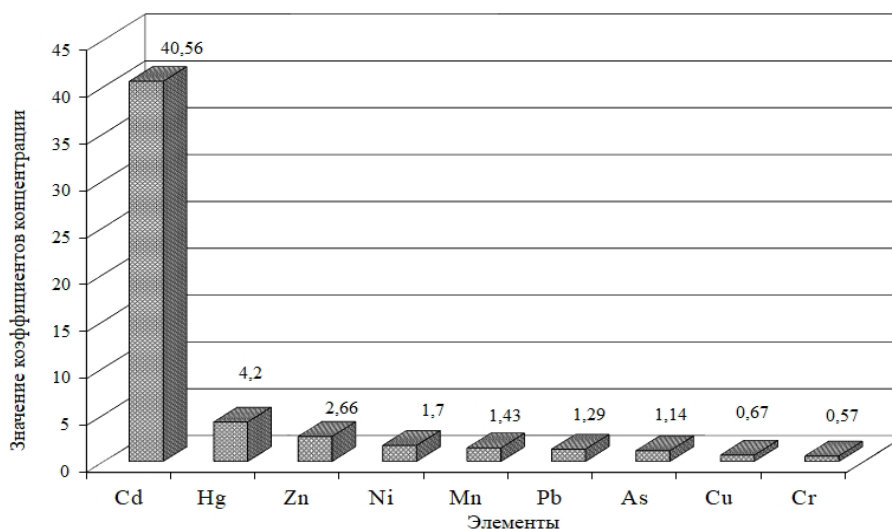


Рис. 5. Количественная оценка коэффициентов концентрации тяжелых металлов и мышьяка в паводковых седиментах

Fig. 5. Quantitative assessment of heavy metal and arsenic concentration coefficients in flood sediments

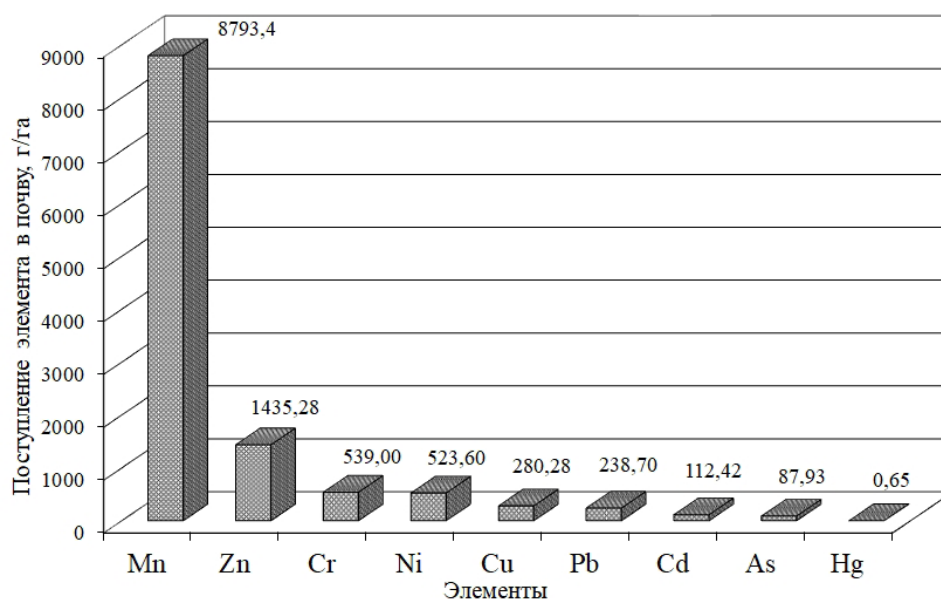


Рис. 6. Поступление тяжелых металлов и мышьяка с паводковыми седиментами в аллювиальную почву стационарного участка наблюдений

Fig. 6. The entry of heavy metals and arsenic with flood sediments into the alluvial soil of the stationary observation site

На основе анализа поступления тяжелых металлов и мышьяка в процессе седиментогенеза на территорию агроландшафта в пойме р. Ока был построен эмпирический ряд их поступления с паводковыми седиментами: $Mn > Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd > As > Hg$. Установлено, что в структуре поступления в почву с седиментами из изучаемых химических элементов на марганец приходится 73,2%, на цинк – 11,9%, на хром – 4,5%, на никель – 4,4%, на медь – 2,3%, на свинец – 2%, на кадмий – 0,9%, на мышьяк – 0,7%, на ртуть – менее 0,01%.

Выводы

Результаты выполненных исследований дают современное представление о степени антропогенного воздействия посредством паводковой седиментации на почвенный покров пахотных земель затопляемой поймы р. Ока Рязанской области на примере стационарного участка наблюдений. Содержание тяжелых металлов в паводковых седиментах значительно выше, чем в подстилающей почве: по Cd – в 38,4 раза; по As, Zn, Ni, Mn, Cr – в 1,06-1,8 раз. При этом представленная характеристика химического состава паводковых седиментов свидетельствует

о большом превышении фоновых значений: по Cd – в 40,6 раза; по Hg, Zn, Ni – в 1,7-4,2 раз; по Mn, Pb, As – в 1,1-1,4 раз.

Выполненный количественный анализ поступления поллютантов с паводковыми седиментами на почвенный покров выявил тенденцию загрязнения пахотных земель, что обуславливает в перспективе потребность в разработке комплексных профилактических и реабилитационных мероприятий, содержащих избирательный выбор культур, не накапливающих в себе тяжелые металлы, а также использование органических мелиорантов. В этой связи возникает необходимость организации и проведения локального агроэкологического мониторинга содержания ТМ и мышьяка в паводковых седиментах и подстилающей почве с целью прогноза загрязнения пойменного агроландшафта на основе изучения циклов миграции тяжелых металлов.

Для оценки динамики экологического состояния пойменного агроландшафта представляется целесообразным изучение циклов миграции тяжелых металлов, учитывающих приходную и расходную части, на примере стационарного участка наблюдений, расположенного в центральной части поймы р. Ока.

Список использованных источников

1. Борисочкина Т.И. Геохимия тяжелых металлов почв урбанизированных ландшафтов зон воздействия металлургических предприятий / Т.И. Борисочкина, К.А. Колчанова // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 10. С. 50-56. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-10-50-56.

References

1. Borisochkina T.I., Kolchanova K.A. Geochemistry of heavy metals in soils of urban landscapes affected by metallurgical enterprises // Ecology and industry of Russia. 2021. No. 10. P. 50-56. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-10-50-56.
2. Ilinskiy A., Vinogradov D., Politaeva N., Badenkov V., Ilin I. Features of the Phytoremediation by Agricultural

2. Ilinskiy A., Vinogradov D., Politaeva N., Badenkov V., Ilin I. Features of the Phytoremediation by Agricultural Crops of Heavy Metal Contaminated Soils // *Agronomy*. 2023. № 13 (1). P. 127. DOI: 10.3390/agronomy13010127.
3. Ilinsky A.V., Selmen V.N., Selmen E.V., Karyakina S., Matyukhin M., Grebennikova V. Environmental substantiation of the use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the landscaping of residential areas // In the collection: XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». Springer. 2023. Pp. 3027-3036.
4. Ilinskiy A.V., Selmen V.N., Selmen E.V. et al. The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. № 2. Pp. 191-197.
5. Силаев А.Л. Распределение микроэлементов в почвах пойменного ландшафта р. Унеча / А.Л.Силаев, Г.В. Чекин, Е.В. Смольский // *Агрохимический вестник*. 2021. № 5. С. 12-17. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-003.
6. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecza (central Poland) // *Open Geosciences*. 2020. V. 12, № 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. Assessment of the heavy metal pollution level of the river sediments in the east Donbass (Rostov region, Russia) // *Water and Ecology*. 2020. № 3 (83). Pp. 32-40. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.32-40.
9. Забашта А.В. Накопление тяжелых металлов в почвах предгорных районов Краснодарского края / А.В. Забашта, Н.Н. Забашта, Е.П. Лисовицкая // *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., Suleimеноva M.Sh. Contamination of soils with heavy metal in the urban area of Almaty // *Почвоведение и агрохимия*. 2022. № 3. Pp. 38-45. DOI: 10.51886/1999-740X_2022_3_38.
11. Новосельцев В.Н. Техногенное загрязнение речных экосистем: Монография / В.Н. Новосельцев, И.Б. Бесфамильный, Б.М. Кизяев, В.Е. Райнин. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
12. Ильинский А.В. Оценка поступления питательных веществ с седиментами на пахотные земли пойменного агроландшафта / А.В. Ильинский, К.Н. Евсенкин, А.А. Павлов // *Экологические системы и приборы*. 2024. № 2. С. 24-31. DOI: 10.25791/esip.2.2024.1430.
13. Кирейчева Л.В. Состояние пахотных земель Черноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв / Л.В. Кирейчева, В.А. Шевченко // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. № 2. С. 12-16. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12021.
14. Михайлушкин П.В. Органическое земледелие – направление перехода к «зеленой» экономике в России / П.В. Михайлушкин, А.Р. Алиева // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. № 2. С. 17-19. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12022.
15. Германова С.Е. Воздействие антропогенных факторов на сельскохозяйственные почвы / Петухов Н.В., Самброс Н.Б., Пивень Е.А., Зинченко А.В. // *Международный Crops of Heavy Metal Contaminated Soils // Agronomy*. 2023. No. 13(1). DOI: 10.3390/agronomy13010127.
3. Ilinsky A.V., Selmen V.N., Selmen E.V., Karyakina S., Matyukhin M., Grebennikova V. Environmental substantiation of the use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the landscaping of residential areas // In the collection: XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». 2023. Springer. 2023. P. 3027-3036.
4. Ilinskiy A.V., Selmen V.N., Selmen E.V. The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 2. P. 191-197.
5. Silaev A.L., Chekin G.V., Smol'sky E.V. Distribution of microelements in soils of the floodplain landscape of the river. Unecha // *Agrochemical Bulletin*. 2021. No. 5. P. 12-17. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-003.
6. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecza (central Poland) // *Open Geosciences*. 2020. No. 1. P. 1036-1051.
7. Pylenok P.I. The influence of sedimentation on the quality of alluvial soil in the floodplain of the Oka River // *Agrophysics*. 2020. No 4. P. 7-13.
8. Zakrutkin V.E. Reshetnyak V.N., Reshetnyak O.S. Assessment of the heavy metal pollution level of the river sediments in the east Donbass (Rostov region, Russia) // *Water and Ecology*. 2020. No. 3(83), P. 32-40. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.32-40.
9. Zabashta A.V., Zabashta N.N., Lisovitskaya E.P. Accumulation of heavy metals in soils of foothill areas of the Krasnodar region // *The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2019. No. 1(52), pp. 22-26. DOI: 10.12737/article_5ccedba6e0c8c9.68580698.
10. Kalimoldina L.M., Sultangazieva G.S., Suleimеноva M.Sh. Contamination of soils with heavy metal in the urban area of Almaty // *Soil Science and Agrochemistry*. 2022. No. 3. P. 38-45. DOI: 10.51886/1999-740X_2022_3_38.
11. Novosel'tsev V. N., Besfamil'nyi I. B., Kizyaev B.M., Rainin V.E. Technogenic pollution of river ecosystems. The monograph. Moscow: Scientific world. 2002. 140 p.
12. Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. Assessment of nutrient intake with sediments on arable lands of the floodplain agricultural landscape // *Ecological systems and devices*. 2024. No. 2. P. 24-31. – DOI 10.25791/esip.2.2024.1430.
13. Kireicheva L.V., Shevchenko V.A. The state of arable lands in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation and the main directions of increasing soil fertility // *International Agricultural Journal*. 2020. No. 2, P. 12-16. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12021.
14. Mikhailushkin P.V., Alieva A.R. Organic farming – direction of transition to a “green” economy in Russia // *International Agricultural Journal*. 2020. No. 2. P. 17-19. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12022.
15. Germanova S.E., Petukhov N.V., Sambros N.B., Piven' E.A., Zinchenko A.V. Impact of anthropogenic factors on agricultural soils // *International Agricultural Journal*. 2023. No. 1. P. 39-42. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_1_39.
16. Ilyinsky A.V., Kolomytsev N.V., Matveev A.V., Evsenkin K.N., Korzhenevsky B.I. New ways to increase the productivity of degraded reclaimed lands using information technologies: monograph. Moscow: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova. 2022. 152 p..

сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1. С. 39-42. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_1_39.

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

17. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Рязанской области в 2020 году / Комитет природных ресурсов по Рязанской области. Рязань, 2020. 148 с.

18. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Рязанской области в 2021 году / Комитет природных ресурсов по Рязанской области. Рязань, 2021. 163 с.

19. Уровень воды в Оке (г. Рязань) сегодня. [Электронный ресурс]. URL: <https://allrivers.info/gauge/oka-ryazan/waterlevel> (дата обращения: 10.07.2023).

20. Информация о сложившихся (к 20 февраля) и ожидаемых гидрометеорологических условиях на территории Рязанской области в преддверии весеннего половодья 2023 года. [Электронный ресурс]. URL: https://meteo62.ru/press-relizy/:polovode-2022_220309 (дата обращения: 04.06.2023).

21. Мажайский Ю.А. Нейтрализация загрязненных почв. Монография. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. 528 с.

22. Мажайский Ю.А. Особенности распределения тяжелых металлов в профилях почв Рязанской области // Агрохимия. 2003. № 8. С. 74-79.

23. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М. Мониторинг тяжелых металлов в экосистеме малой реки Окского бассейна // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 54-59.

24. Сает Ю.А. Геохимия окружающей среды / Ю.А. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с. ISBN 5-247-01127-9

17. Report on the state and environmental protection in Ryazan Oblast in 2020. Committee of Natural Resources of Ryazan Oblast. Ryazan. 2020. 148 p.

18. Report on the state and environmental protection in Ryazan Oblast in 2021. Committee of Natural Resources of Ryazan Oblast. Ryazan. 2021. 163 p.

19. Water level in the Oka (Ryazan) today. [Electronic resource]. URL: <https://allrivers.info/gauge/oka-ryazan/water-level> (Date of application 10/07/2023).

20. Information on the current (by February 20) and expected hydrometeorological conditions in the Ryazan region on the eve of the spring flood of 2023. [Electronic resource]. URL: https://meteo62.ru/press-relizy/:polovode-2022_220309 (Date of application 04/06/2023).

21. Mazhaisky Yu.A. Neutralization of contaminated soils: monograph. Ryazan: Meshchersky branch of GNU VNIIGiM of the Russian Agricultural Academy. 2008. 528 p.

22. Mazhaisky Yu.A. The distribution of heavy metals in the profile of soils of Ryazan oblast // Agrochemistry. 2002. No 8. P. 74-79.

23. Mazhaisky Yu.A. Guseva T.M. Monitoring of heavy metals in the ecosystem of a small river of the Oka basin // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No 2. P. 54-59.

24. Sayet Yu.A., Revich B.A., Yanin E.P., Smirnova R.S., Basharkevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Trefilova N.Ya., Achkasov A.I., Sargsyan S.Sh. Geochemistry of the environment. Moscow: Nedra. 1990. 335 p. ISBN 5-247-01127-9

Об авторах

Андрей Валерьевич Ильинский, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-6843-9170, PIIID AuthorID: 331409; ilinskiy-19@mail.ru

Константин Николаевич Евсенкин, канд. техн., ведущий научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-0194-8552, PIIID AuthorID: 858186; kn.evsenkin@yandex.ru

Артём Андреевич Павлов, канд. биол. наук, научный сотрудник; ORCID: 0000-0001-5932-1624, PIIID AuthorID: 1141178; kupoz@mail.ru

About the authors

Andrey V. Ilyinsky, CSc (Agro), associate professor, leading researcher; ORCID: 0000-0002-6843-9170, RSCI AuthorID: 331409; ilinskiy-19@mail.ru

Konstantin N. Evsenkin, CSc (Eng); ORCID: 0000-0002-0194-8552, RSCI AuthorID: 858186; kn.evsenkin@yandex.ru

Artem A. Pavlov, CSc (Bio), researcher; ORCID: 0000-0001-5932-1624, RSCI AuthorID: 1141178; kupoz@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 11.04.2024

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 21.12.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.12.2024

Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote a manuscript.

Ilyinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.