

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ СВИНОВОДЧЕСКИМИ СТОКАМИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ МЕДЬЮ, ЦИНКОМ, СВИНЦОМ И КАДМИЕМ

*Л. В. Кирейчева*¹, доктор технических наук

*Т. Н. Ткачёва*², старший преподаватель

¹ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова», г. Москва, Россия

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

Аннотация

Приведены результаты исследования влияния длительного орошения свиноводческими стоками на загрязнение почв тяжелыми металлами (медь, цинк, кадмий, свинец) на базе селекционно-гибридного центра «Заднепровский» Оршанского р-на Витебской обл. На основании исследований на опытных делянках (2002–2004 гг. и 2017 г.) составлен баланс приоритетных загрязнителей, характерных для Республики Беларусь. В процессе длительного орошения стоками свиноводческого комплекса в объеме 300 кг/га (по азоту) на опытном участке наблюдалось снижение значений подвижных форм указанных тяжелых металлов в дерново-подзолистой суглинистой почве, что подтверждает правомерность обоснования удобрительно-увлажнительного режима орошения.

Ключевые слова: тяжелые металлы, микроэлементы, источники загрязнения, свиноводческие стоки, почва, баланс.

Abstract

L. V. Kireicheva, T. N. Tkacheva

INFLUENCE OF LONG-TERM IRRIGATION WITH PIG WASTEWATER ON SOIL CONTAMINATION WITH COPPER, ZINC, LEAD AND CADMIUM

The article presents the results of the study of the impact of long-term irrigation with pig wastewater on soil pollution by heavy metals (Copper, Zinc, Cadmium, Lead) of the breeding and hybrid center «Zadneprovsky» of Orsha district of Vitebsk region. On their basis of studies were conducted on experimental plots in the period 2002–2004 and in 2017; the balance of priority pollutants characteristic of the Republic of Belarus was drawn up. In the process of long-term irrigation with effluents of the pig-breeding complex in the amount of 300 kg/ha (on Nitrogen) of the experimental plot has been observed a decrease in the values of mobile forms of the considered heavy metals in sod-podzolic loamy soil, which confirms the validity of the justification of fertilizer-wetting irrigation regime.

Keywords: heavy metals, trace elements, sources of pollution, pig wastewater, soil, balance.

Введение

Тяжелые металлы – лидеры по степени опасности для существования человечества, они занимают более высокие позиции среди других химических загрязнителей. Наибольшую угрозу из них представляют медь, цинк, свинец и кадмий, так как наблюдается их быстрое распространение в окружающей среде.

В современной специальной и научной литературе нет четко сформулированного понятия «тяжелые металлы» (далее – ТМ). Ими считаются те химических элементы, атомная масса которых больше 50 [1], однако некоторые из них являются биофильными элементами, выполняющими биологические функции и при оптимальных концентрациях способствующими росту и развитию растений. При повышенном содержании в почве они выступают

как загрязнители, поскольку нарушают биологические процессы, сдерживают развитие и рост растений [2]. К таким металлам относятся медь и цинк.

Протокол по тяжелым металлам, составленный Европейской экономической комиссией ООН, выделяет такие наиболее опасные для жизнедеятельности металлы, как свинец (Pb), ртуть (Hg), кадмий (Cd), цинк (Zn), относящиеся к I-му классу опасности, и медь (Cu) – ко II-му классу опасности. Поэтому очень важно разработать превентивные меры по снижению их поступления в почву, а также мероприятия, блокирующие их действия.

В разных странах мира предельно допустимые концентрации ТМ в почве различны [3, 4]. В России и Беларуси ПДК в почвах по меди, цин-

ку, свинцу и кадмию гораздо строже, чем стандарты ряда зарубежных стран [5], – в силу более высоких требований к качеству сельскохозяйственной продукции. Кроме того, для Республики Беларусь большую опасность представляет взаимодействие ТМ с радионуклидами.

Источники поступления тяжелых металлов в почву хорошо известны: газоздушные выбросы промышленных и горнодобывающих предприятий, аварийные выбросы, свалки и полигоны твердых бытовых отходов, а также различные сточные воды, диффузный сток с сельскохозяйственных полей, промышленных и селитебных территорий, минеральные и ор-

Объект и методы исследований

Выбор объекта обусловлен широким развитием свиноводческих комплексов в Беларуси, стоки из которых утилизируются для орошения кормовых культур. Исследования проводились на оросительной системе крупного свиноводческого комплекса селекционно-гибридного центра «Заднепровский» (Оршанский р-н Витебской обл.).

Орошаемые почвы относятся к дерново-подзолисто-му типу среднесуглинистого состава. Орошение стоками свиноводческого комплекса началось в 1985 г. После 17 лет орошения, в 2002–2004 гг., начались исследования по влиянию стоков на окружающую среду (в том числе на почвы) на опытных делянках, на которых выращивалась горохо-овсяная смесь в качестве кормовой культуры

ганические удобрения, средства защиты растений [6, 7] и проч.

Для Беларуси характерны медь, цинк, свинец и кадмий как приоритетные загрязнители почв сельскохозяйственных угодий, поэтому внимание исследователей направлено на изучение источников загрязнения указанными химическими элементами.

Цель данной статьи – выявить и оценить воздействие длительного орошения свиноводческими стоками на накопление приоритетных загрязнителей в дерново-подзолистой суглинистой почве при выращивании горохо-овсяной смеси в качестве кормов.

размером 60 кв. м в четырехкратной повторности. В 2017 г. исследования продолжились на тех же опытных делянках. В период исследований почвы поливалась стоками свиноводческого комплекса из расчета внесения 200, 300 и 400 кг азота на гектар за вегетационный период по вариантам опыта, а при недостатке увлажнения дефицит восполнялся природной водой.

Исходное содержание изучаемых тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd) в почве опытного участка представлено в табл. 1. Содержание химических элементов в почве, растениях и животноводческих стоках определялось атомно-абсорбционным методом в химико-экологической лаборатории Белорусской сельхозакадемии.

Таблица 1. Исходное содержание подвижных форм химических элементов по профилю почвы опытного участка (2002 г.), мг/кг

| Глубина отбора, см | Медь | Цинк | Свинец | Кадмий |
|--------------------|------|-------|--------|--------|
| 0–20 | 4,57 | 14,33 | 5,53 | 0,183 |
| 20–40 | 2,46 | 6,78 | 6,35 | 0,187 |
| 40–60 | 1,12 | 5,22 | 5,62 | 0,193 |
| 60–80 | 1,14 | 4,06 | 3,99 | 0,124 |
| 80–100 | 1,38 | 3,08 | 2,87 | 0,144 |
| ПДК почвы [8] | 3,00 | 23,00 | 6,00 | – |

Содержание изучаемых химических загрязнителей в свиноводческих стоках, подготовленных для орошения, приведено в табл. 2 по годам исследований. Согласно полученным данным, значения меди и цинка не превышали допустимых норм за исследуемый период. Что касается кадмия, то его показатели в 2002–2004 гг. были в 8–9 раз выше допустимых значений. Содержание свинца в 2002 г. было больше ПДК на 63 %, в 2003-м – на 33 %, а в 2004 г. достигло максимума – 80 % (по сравнению с нормативными значениями), однако

уже в 2017 г. концентрация содержания подвижных форм свинца незначительно превышала норматив, составив 23 %.

Помимо стоков, в почву вносились и минеральные удобрения: карбамидно-аммиачная смесь в количестве 150 кг/га (32 % действующего вещества), суперфосфат перед посевом – 120 кг/га (33 % д. в.) и хлористый калий нормой 200 кг/га (60 % д. в.). Содержание исследуемых химических элементов в минеральных удобрениях представлено в табл. 3.

Таблица 2. Содержание химических элементов в свиноводческих стоках по годам исследования (по данным химико-экологической лаборатории БГСХА)

| Годы | Cu | Zn | Cd | Pb |
|--|--------------------------------|------|--------|------|
| | Содержание, мг/дм ³ | | | |
| 2002 | 0,04 | 0,09 | 0,008 | 0,05 |
| 2003 | 0,03 | 0,10 | 0,009 | 0,04 |
| 2004 | 0,05 | 0,07 | 0,009 | 0,05 |
| 2017 | 0,25 | 0,80 | 0,0006 | 0,04 |
| Допустимые максимальные концентрации для поливной воды, мг/дм ³ [9] | 1,00 | 1,00 | 0,001 | 0,03 |

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в минеральных удобрениях, применяемых на опытном участке, мг/кг

| Удобрения | Cd | Pb | Cu | Zn |
|----------------------------|-----|-----|------|------|
| Карбамидно-аммиачная смесь | – | 0,8 | 1,8 | 9,3 |
| Суперфосфат | 0,2 | 4,5 | 20,4 | 27,5 |
| Хлористый калий | 0,2 | 2,1 | 7,6 | 14,6 |

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам исследований 2002–2004 гг. и 2017 г. составлен баланс подвижных форм меди, цинка, свинца и кадмия в пахотном слое 0–20 см. Приходные статьи: содержание металлов в почве, их поступление с минеральными удобрениями и животноводческими стоками; расходные – остаток в почве, вынос растениями и за пределы опытного участка.

Поступление химических загрязнителей с минеральными удобрениями и стоками опре-

делялось по объему их внесения в почву. Объем стоков при проведении поливов как по вариантам опытов, так и по годам исследований приведен в табл. 4.

Вынос за пределы пахотного слоя определялся как разница между приходными и расходными статьями баланса и подтверждается результатами накопления ТМ в слое 0–100 см (рис. 1).

Таблица 4. Объемы внесения стоков при реализации режимов орошения горохо-овсяной смеси по годам исследований

| Годы исследований | Варианты опытов внесения азота, кг/га | Объем стоков, м ³ /га |
|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 2002 | 200 | 500 |
| | 300 | 750 |
| | 400 | 990 |
| 2003 | 200 | 500 |
| | 300 | 760 |
| | 400 | 1010 |
| 2004 | 200 | 490 |
| | 300 | 730 |
| | 400 | 980 |
| 2017 | 200 | 340 |
| | 300 | 500 |
| | 400 | 670 |

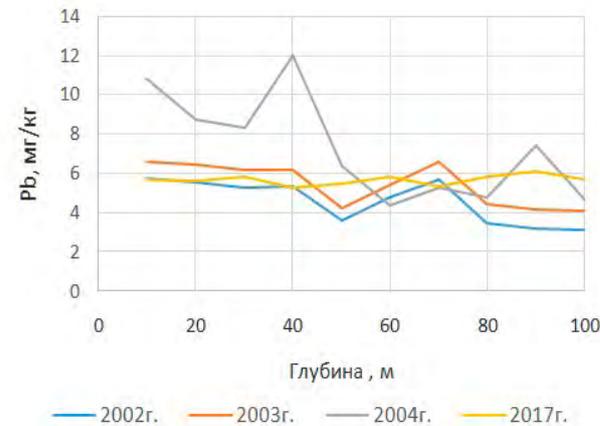
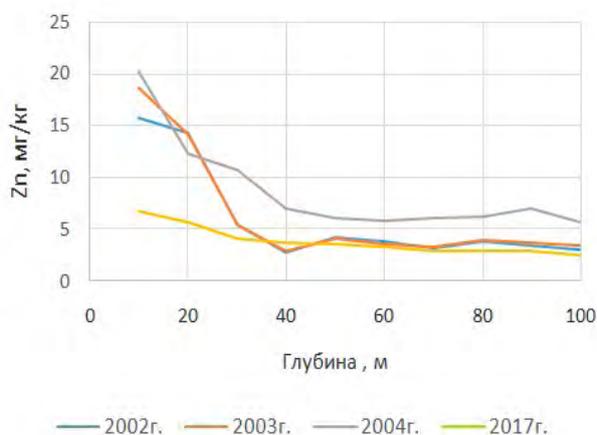
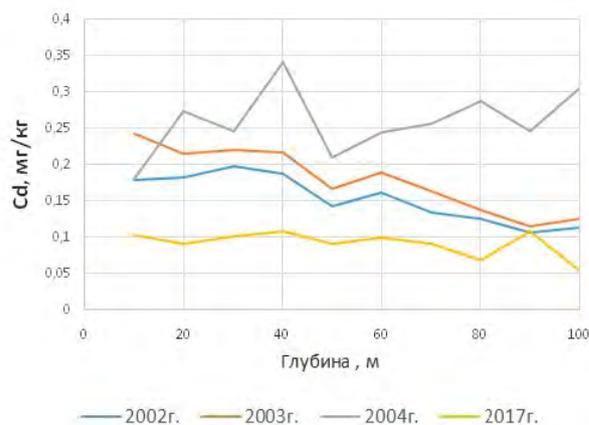
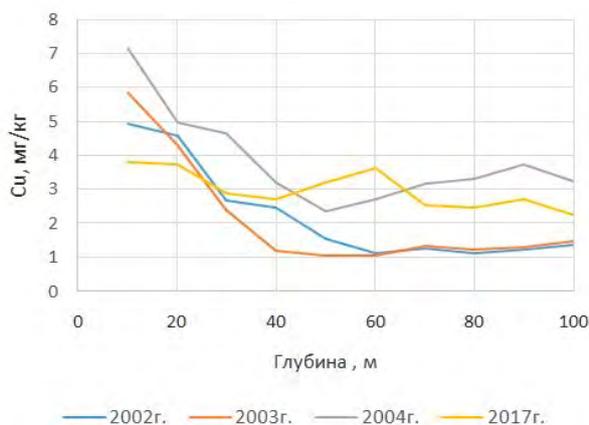


Рис. 1. Динамика содержания химических элементов в почве опытного участка в метровом слое

С целью определения содержания рассматриваемых тяжелых металлов в горохо-овсяной смеси проведены специальные исследования на вегетационных сосудах.

Сосуды емкостью 5 л набивались почвой с опытного участка массой 7 кг до получения объемной массы, близкой к естественному сложению. Далее загрязнялись от 1 до 4 ОДК (ориентировочно допустимая концентрация) солями ТМ: свинец – $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$; медь – $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; цинк – $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, кадмий – $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ и засеивались горохо-овсяной смесью. На всех вариантах поддерживался оптимальный водно-воздушный режим путем поливов животноводческими стоками и поливной водой, что соответствовало режиму орошения на опытных делянках.

В опытах изучалось влияние уровня загрязнения на накопление тяжелых металлов в растительной продукции (рис. 2).

В табл. 5 приведен баланс тяжелых металлов по вариантам опытов за рассматриваемый период.

Составленный многолетний баланс ТМ позволил выявить некоторые закономерности. Так, основная доля тяжелых металлов поступает с минеральными удобрениями, особенно с суперфосфатом, который вносится непосредственно перед посевом и определяет исходное содержание ТМ в пахотном слое. При орошении сточными водами и принятой агротехнике во всех вариантах опытов тяжелые металлы как накапливаются в растениях, так и выносятся за пределы почвенного слоя. В течение вегетационного периода наблюдается снижение остаточного запаса ТМ в почве, что можно объяснить их выносом за пределы пахотного слоя инфильтрационными водами в нижележащие слои среднесуглинистой почвы. Увеличение объема сточных вод приводит к увеличению всех составляющих баланса.

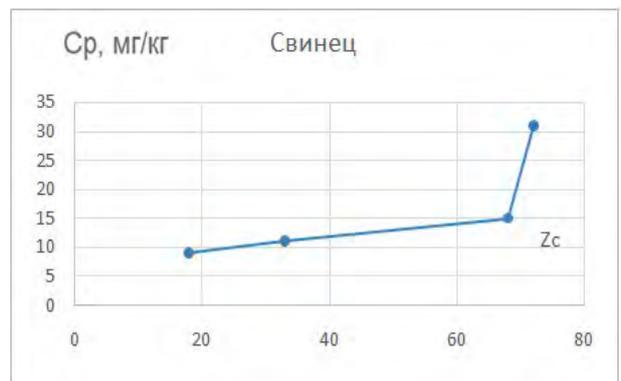
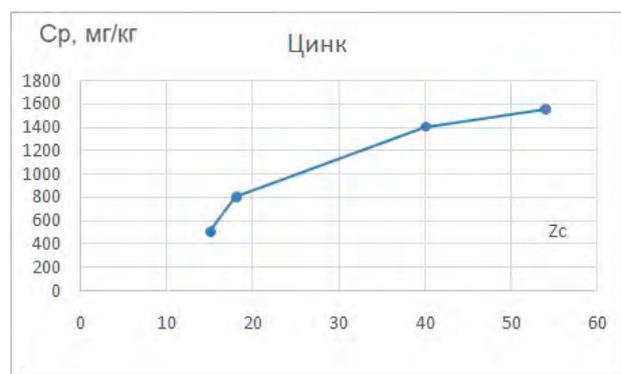
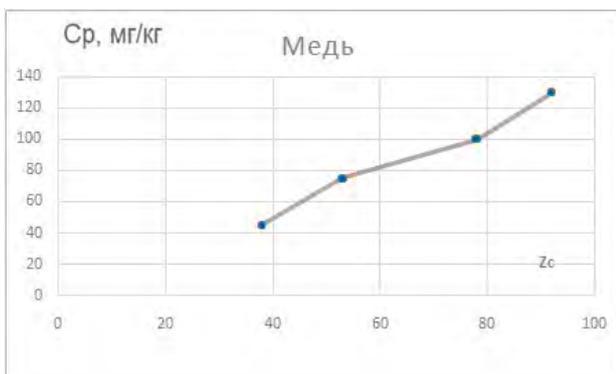


Рис. 2. Накопления меди, цинка, кадмия и свинца в растениях горохо-овсяной смеси в зависимости от суммарного индекса загрязнения почвы тяжелыми металлами

Таблица 5. Баланс тяжелых металлов по вариантам опытов (по данным химико-экологической лаборатории)

| Годы | Содержание тяжелых металлов, мг/кг | Варианты орошения | | | | | | | | | | | |
|------|------------------------------------|-------------------|-------|-------|------|-----------------|-------|------|------|-----------------|-------|-------|------|
| | | 200 кг/га азота | | | | 300 кг/га азота | | | | 400 кг/га азота | | | |
| | | Cu | Zn | Cd | Pb | Cu | Zn | Cd | Pb | Cu | Zn | Cd | Pb |
| 2002 | Сточные воды | 1,30 | 2,90 | 0,28 | 0,99 | 1,95 | 4,35 | 0,42 | 1,49 | 2,60 | 5,80 | 0,56 | 1,98 |
| | Минеральные удобрения | 27,60 | 36,60 | 0,27 | 5,10 | 27,6 | 36,60 | 0,27 | 5,10 | 27,60 | 36,60 | 0,27 | 5,10 |
| | Почва | 4,95 | 15,78 | 0,18 | 5,74 | 4,95 | 15,78 | 0,18 | 5,74 | 4,95 | 15,78 | 0,18 | 5,74 |
| | Вынос растениями | 11,80 | 34,92 | 0,46 | 3,14 | 7,80 | 29,60 | 0,33 | 2,04 | 8,15 | 42,60 | 0,42 | 2,12 |
| | Остаток в почве | 3,94 | 9,11 | 0,147 | 5,74 | 3,49 | 8,21 | 0,17 | 5,04 | 4,05 | 9,30 | 0,144 | 5,42 |
| 2003 | Вынос за пределы | 18,11 | 11,25 | 0,12 | 2,95 | 23,21 | 18,92 | 0,37 | 5,25 | 22,95 | 6,28 | 0,446 | 5,28 |
| | Сточные воды | 1,00 | 3,37 | 0,30 | 1,33 | 1,50 | 5,10 | 0,45 | 2,00 | 2,00 | 6,73 | 0,60 | 2,70 |
| | Минеральные удобрения | 28,70 | 51,40 | 0,43 | 7,40 | 28,70 | 51,40 | 0,43 | 7,40 | 28,70 | 51,40 | 0,43 | 7,40 |
| | Почва | 4,29 | 14,16 | 0,22 | 6,46 | 4,29 | 14,16 | 0,22 | 6,46 | 4,29 | 14,16 | 0,215 | 6,46 |
| | Вынос растениями | 12,20 | 46,80 | 0,69 | 6,00 | 7,70 | 39,70 | 0,38 | 2,40 | 6,40 | 55,40 | 0,53 | 2,00 |
| 2004 | Остаток в почве | 2,75 | 7,11 | 0,226 | 6,17 | 4,08 | 10,76 | 0,21 | 6,34 | 4,58 | 15,82 | 0,216 | 6,42 |
| | Вынос за пределы | 19,04 | 15,02 | 0,03 | 3,02 | 22,71 | 20,20 | 0,51 | 7,12 | 24,01 | 1,07 | 0,499 | 8,14 |
| | Сточные воды | 1,67 | 2,40 | 0,30 | 0,77 | 2,50 | 3,60 | 0,45 | 1,15 | 3,33 | 4,80 | 0,60 | 1,50 |
| | Минеральные удобрения | 28,75 | 32,35 | 0,27 | 6,40 | 28,75 | 32,35 | 0,27 | 6,40 | 28,75 | 32,35 | 0,27 | 6,40 |
| | Почва | 4,97 | 12,33 | 0,27 | 8,73 | 4,97 | 12,33 | 0,27 | 8,73 | 4,97 | 12,33 | 0,273 | 8,73 |
| 2017 | Вынос растениями | 13,80 | 18,2 | 0,17 | 2,01 | 7,80 | 20,30 | 0,35 | 4,20 | 5,60 | 18,8 | 0,19 | 1,73 |
| | Остаток в почве | 5,18 | 13,19 | 0,32 | 7,63 | 4,78 | 10,44 | 0,28 | 6,85 | 3,47 | 7,74 | 0,267 | 6,27 |
| | Вынос за пределы | 16,41 | 15,69 | 0,36 | 6,26 | 23,64 | 17,54 | 0,36 | 5,23 | 27,98 | 22,94 | 0,686 | 8,63 |
| | Сточные воды | 8,30 | 26,90 | 0,02 | 1,23 | 12,45 | 40,35 | 0,03 | 1,85 | 16,60 | 53,79 | 0,034 | 2,47 |
| | Минеральные удобрения | 29,74 | 30,22 | 0,29 | 5,60 | 29,74 | 30,22 | 0,29 | 5,60 | 29,74 | 30,22 | 0,29 | 5,60 |
| 2017 | Почва | 3,73 | 5,64 | 0,09 | 5,64 | 3,73 | 5,64 | 0,09 | 5,64 | 3,73 | 5,64 | 0,092 | 5,64 |
| | Вынос растениями | 3,93 | 27,20 | 0,00 | 0,00 | 5,10 | 32,80 | 0,14 | 0,19 | 4,80 | 31,30 | 0,00 | 0,00 |
| | Остаток в почве | 3,94 | 6,16 | 0,07 | 5,42 | 3,72 | 5,18 | 0,06 | 5,69 | 4,52 | 6,72 | 0,11 | 5,05 |
| | Вынос за пределы | 33,90 | 29,40 | 0,33 | 7,05 | 37,10 | 38,23 | 0,21 | 7,21 | 40,75 | 51,63 | 0,306 | 8,66 |

Рассмотрим более подробно период 2002–2004 гг. В 2002 г., до посева горохо-овсяной смеси на всех трех вариантах, в почве находилось одинаковое количество тяжелых металлов: Cu – 4,95 мг/кг; Zn – 15,78 мг/кг; Cd – 0,18 мг/кг; Pb – 5,74 мг/кг. С минеральными удобрениями поступило: Cu – 27,6 мг/кг; Zn – 36,6 мг/кг; Cd – 0,27 мг/кг; Pb – 5,1 мг/кг. В первом варианте при внесении азота 200 кг/га со сточными водами поступило: Cu – 1,3 мг/кг; Zn – 2,9 мг/кг; Cd – 0,28 мг/кг; Pb – 0,99 мг/кг. По окончании вегетационного периода растения вынесли: Cu – 11,8 мг/кг; Zn – 34,92 мг/кг; Cd – 0,46 мг/кг; Pb – 3,14 мг/кг. В почве осталось: Cu – 3,94 мг/кг; Zn – 9,11 мг/кг; Cd – 0,147 мг/кг; Pb – 5,74 мг/кг, а остальная часть мигрировала за пределы пахотного слоя (Cu – 18,11 мг/кг, Zn – 11,25 мг/кг, Cd – 0,12 мг/кг, Pb – 2,95 мг/кг).

Проанализируем динамику наиболее опасного элемента – кадмия. При орошении 200 кг/га азота его остаток в почве составил незначительную часть: 0,147 мг/кг – это 20,5 % от общего количества его поступления; вынос за пределы пахотного слоя – 16,44 %; поглощение растениями горохо-овсяной смеси – 63 %. При внесении азота 300 кг/га поступление с минеральными удобрениями было одинаковое, как и в первом варианте, – 0,27 мг/кг; в почве находилось такое же количество металла – 0,18 мг/кг; со стоками поступило 0,42 мг/кг. В итоге в почве осталось 0,166 мг/кг, за пределы пахотного слоя вынесено 0,374 мг/кг, растения накопили 0,33 мг/кг (соответственно 19,1 %, 43 и 37,9 %).

В 2002 г., в варианте с внесением азота 400 кг/га, динамика кадмия в почве и поступление его с минеральными удобрениями были такими же, как и в предыдущих вариантах (соответственно 0,18 и 0,27 мг/кг), содержание в почве – 0,18 мг/кг. Со сточными водами поступило 0,56 мг/кг. В результате остаток в почве составил 0,144 мг/кг, растения вынесли 0,42 мг/кг, а за пределы почвы мигрировало 0,446 мг/кг. В 2002 г. наименьший вынос растениями был в варианте с орошением 300 кг/га азота, а наименьший остаток в почве – при орошении 400 кг/га.

Что касается 2003 г., то до посева горохо-овсяной смеси на всех трех вариантах в почве находилось 0,215 мг/кг кадмия, с минеральными удобрениями его было внесено 0,43 мг/кг,

со сточными водами поступило 0,3 мг/кг, 0,45 и 0,6 мг/кг согласно вариантам. Наименьший вынос растениями и остаток в почве зафиксированы в варианте с орошением 300 кг/га азота.

В 2004 г. наименьшее поглощение кадмия горохо-овсяной смесью установлено на варианте внесения в почву 200 кг/га азота – 0,17 мг/кг, а минимальный остаток в почве отмечен при орошении 400 кг/га и составил 0,267 мг/кг.

Рассмотрим второй по опасности тяжелый металл – свинец. В 2002 г. исходное содержание свинца составляло 5,74 мг/кг, что, вероятно, связано с влиянием крупной автомобильной магистрали, проходящей на расстоянии 300 м от опытных участков. В указанном году с минеральными удобрениями внесено 5,1 мг/кг, со сточными водами – 0,99 мг/кг, 49 и 1,98 мг/кг свинца по вариантам опыта соответственно. Наибольший вынос за пределы пахотного слоя наблюдался в варианте 400 кг/га азота; наименьший остаток в почве – 5,04 мг/кг при орошении 300 кг/га азота; минимальный вынос растениями зафиксирован также на этом варианте – 2,04 мг/кг.

В 2003 г. перед посевом горохо-овсяной смеси в почве находилось 6,46 мг/кг свинца, с минеральными удобрениями внесено 7,4 мг/кг, со сточными водами – согласно вариантам орошения – поступило 1,33 мг/кг, 2,0 и 2,7 мг/кг этого элемента. Минимальный вынос растениями отмечен при орошении 400 мг/кг и составил 2,0 мг/кг, а вынос за пределы пахотного слоя – 8,14 мг/га.

В 2004 г. на всех трех вариантах находилось 8,73 мг/кг свинца. С минеральными удобрениями внесено 6,4 мг/кг, со сточными водами, согласно вариантам орошения, поступило 0,77 мг/кг, 1,15 и 1,5 мг/кг этого элемента. Минимальный вынос растениями составил 1,73 мг/кг при орошении 400 мг/кг, при этом за пределы пахотного слоя вынесено 8,63 мг/кг. Таким образом, с увеличением объема подачи сточных вод на орошение пропорционально увеличивается и вынос за пределы пахотного слоя, а это свидетельствует о возможном загрязнении почвы и нижележащих грунтов, что отражено на рис. 1.

В 2017 г., после 15 лет орошения сточными водами горохо-овсяной смеси в слое 0–20 см, при орошении сточными водами из расчета

300 кг/га по азоту, содержание меди и свинца увеличилось незначительно – на 6,6 и 12,9 %, что указывает на постоянный источник загрязнения и низкую миграционную способность свинца (табл. 6). Значительное снижение про-

изошло по цинку и кадмию – 36,9 и 62 % соответственно, что подтверждает правомерность верификации удобрительно-увлажнительного режима орошения научно обоснованной нормой 300 кг/га.

Таблица 6. **Содержание подвижных форм ТМ в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве**

| Годы исследований | Содержание в почве, мг/кг | | | |
|-------------------|---------------------------|------|--------|--------|
| | Медь | Цинк | Кадмий | Свинец |
| 2002 г. | 3,49 | 8,21 | 0,17 | 5,04 |
| 2017 г. | 3,72 | 5,18 | 0,06 | 5,69 |

Заключение

Анализ научной литературы показал, что в настоящее время активизируются процессы накопления в почве тяжелых металлов. Наряду с промышленными источниками загрязнения почв в Беларуси, существенная роль в накоплении тяжелых металлов на сельскохозяйственных землях принадлежит побочным продуктам животноводства, включающим сточные воды и компосты. В республике приоритетными загрязнителями сельскохозяйственных земель являются медь, цинк, свинец и кадмий, повышенное содержание которых в почве оказывает негативное влияние на урожайность и качество кормов и опосредованно – на продукцию животноводства. Наиболее опасными считаются стоки свиноводческих комплексов при бесподстильном содержании животных.

Результаты исследования влияния орошения свиноводческими стоками на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах и составленный на их основе баланс тяжелых металлов свидетельствуют о следующем:

- значительная доля загрязнителей поступает в почву с минеральными удобрениями, особенно с суперфосфатом, который вносится непосредственно перед посевом и определяет исходное содержание ТМ в пахотном слое;

- поступление ТМ со сточными водами, подготовленными для орошения, пропорционально объему сточных вод: с увеличением их объема металлы накапливаются в почве и растениях и выносятся за пределы пахотного слоя;

- в течение вегетационного периода наблюдается снижение остаточного запаса ТМ в почве;

- наиболее благоприятный баланс складывается при орошении стоками 300 кг/га, что подтверждается урожайностью горохо-овсяной смеси и качеством продукции;

- применение режима орошения с внесением со стоками 300 кг/га азота в течение 15 лет показало существенное снижение тяжелых металлов в орошаемой почве: цинка на 36,9 %, кадмия на 62 %.

Для улучшения экологической ситуации рекомендуется использовать более экологически чистые минеральные удобрения. С целью предупреждения загрязнения нижележащих слоев почвы, грунтовых вод тяжелыми металлами рекомендуется вносить в почву сорбционные вещества (например, сапропель) для их депонирования или включать в состав севооборота культуры-ремедианты.

Библиографический список

1. Тиво, П. Ф. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, содержащимися в животноводческих стоках / П. Ф. Тиво // Мелиорация. – 2019. – № 1 (87). – С. 63–72.
2. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов / В. И. Желязко ; Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки : [б. и.], 2003. – 168 с.

3. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity / A. Leip [at al.] // Environmental Research Letters. – 2015. – Vol. 10, № 11. – P. 115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>

4. Singh, R. K. Impact of livestock farming on the environment & strategies to mitigate the threats // R. K. Singh, J. Jharkhand // Pashudhan praharee. – 2020. – June 4. – Mode of access: <https://www.pashudhanpraharee.com/impact-of-livestock-farming-on-the-environment-strategies-to-mitigate-the-threats/>. – Data of access: 25.08.2023.

5. Cao, S. T. Impacts of effluent from different livestock farm types (pig, cow, and poultry) on surrounding water quality: a comprehensive assessment using individual parameter evaluation method and water quality indices // Environmental science and pollution research international. – 2021. – Vol. 28 (36). – P. 50302–50315. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14284-9>

6. Водяницкий, Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, Д. В. Ладонин, А. Т. Савичев. – Москва : Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева РАСХН, 2012. – 304 с.

7. Позняк, С. С. Экологическое состояние сельскохозяйственных земель в зоне действия крупных промышленных центров : монография / С. С. Позняк. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2010. – 211 с.

8. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] : СанПиН 1.2.3685–21, утв. постановлением № 2 Гл. гос. санитар. врача РФ от 29.01.2021. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. – Дата доступа: 25.08.22.

9. Утилизация сточных вод и животноводческих стоков / В. И. Желязко [и др.]. – Москва : Изд-во ООО «Эдель-М», 2001. – 183 с.

Поступила 5 января 2024 г