

and at 35–40 centners/ha 43–50 per cent. With a profitability of grain production of 24,0 % against  $P_{60}K_{120}$ , presowing application of nitrogen fertilizers at a dose of 60 kg/ha provides a profitability of ,5 % and a profit of 263,88 rubles/ha (133,0 \$/ha). The fractional introduction of  $N_{90}$  and  $N_{120}$  contributes to a significant increase in profits, respectively, 310,63 and 318,26 rubles per 1 ha (156,6 and 160,4 us dollars per 1 ha) with profitability levels of 42,3 and 43 %. The most effective for spring wheat is the use of  $N_{120}P_{60}K_{120}$  in conjunction with copper-containing fertilizer ( $Cu_{200}$ ) and plant growth regulators, providing a profit of 383,46 rubles per 1 ha (193,3 \$/ha) and a profitability of grain production of 49,6 %.

*Поступила 22.03.18*

УДК 631.862:632.15:631.445.2

## **АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАГРУЗОК ЖИДКОГО НАВОЗА КРС И СВИНЫХ НАВОЗНЫХ СТОКОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

**Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, А.В. Юхновец, Т.М. Кирдун, М.М. Торчило**

*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Почва, обладая многофункциональными свойствами, является наиболее важным и уникальным компонентом агробиоценоза, определяющим его продуктивность и устойчивое развитие в условиях научно обоснованной системы ведения сельскохозяйственного производства. Учитывая тот фактор, что почва играет огромную роль в регулировании экологических функций, обуславливающих устойчивость агроценозов и биосферы в целом, проблема нарастающего риска функционирования системы «почва – растение – человек» порождает необходимость учитывать экологический аспект любой хозяйственной деятельности, а также объясняет его приоритет в научных разработках. Важным моментом в этом направлении является предотвращение антропогенного загрязнения земель сельскохозяйственного назначения и получение экологически чистой растениеводческой продукции.

При современных тенденциях развития сельскохозяйственного производства строительство животноводческих комплексов с высокой концентрацией поголовья на ограниченных площадях выдвигает необходимость утилизации отходов животноводства, которые накапливаются в больших объемах. На сегодняшний день в Республике Беларусь функционирует 198 животноводческих комплексов, в том числе 78 комплексов по откорму КРС и 120 свинокомплексов. Общая численность

поголовья КРС на выращивании и откорме в сельскохозяйственных организациях составляет 4188,1 тыс., свиней – 2734,5 тыс. голов [1]. При существующем поголовье скота ежегодно в организациях агропромышленного комплекса накапливается более 12 млн тонн экскрементов, при смывании которых технологической водой, в зависимости от ее количества, образуется жидкий навоз и навозные стоки. Во всем мире отходы предприятий животноводства используют в качестве органических удобрений, поскольку они являются источником макро- и микроэлементов и, при правильном использовании, оказывают благоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур [2–8]. Однако в условиях реального производства в силу экономических причин, отсутствия необходимых объемов навозохранилищ, недостаточной оснащенности технического парка, а также ограниченности имеющихся в хозяйствах земель эти удобрения в основном вносят в радиусе 5–6 км от животноводческих комплексов. В результате нагрузка жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на 1 га пахотных земель в отдельных сельскохозяйственных организациях может составлять 600 тонн и более. Поступление в почву тяжелых металлов (ТМ) с рекомендуемыми дозами органических удобрений под сельскохозяйственные культуры заметно не меняет природных уровней их содержания в почвах и не представляет опасности с точки зрения загрязнения [9–11]. Более напряженный баланс тяжелых металлов складывается в почвах при их интенсивном внесении [12–14]. При поступлении в почву ТМ включаются в биохимический круговорот, в ходе которого активно трансформируются и претерпевают ряд изменений, что может привести к деградации и уменьшению устойчивости агроценозов, нанося ущерб сельскохозяйственным угодьям. Из почвы они способны также поступать в растения, снижая в отдельных случаях урожай и, что самое главное, его качество, поскольку эти элементы в агробиоценозе играют двойную роль. С одной стороны, ТМ являются неотъемлемым компонентом нормальных физиологических процессов, с другой – они токсичны при повышенных концентрациях, приводящих к нарушению метаболизма и функционирования растений на любой стадии онтогенеза.

В республике в последние годы исследований по изучению воздействия жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах в зависимости от интенсивности их внесения практически не проводилось. Важным моментом выполненной работы является оценка влияния дозовых нагрузок этих органических удобрений на накопление ТМ в дерново-подзолистых почвах, на долю которых в Республике Беларусь приходится основная часть сельскохозяйственных земель, и которые довольно чувствительны к агрогенному воздействию.

Цель исследований – оценить влияние интенсивных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Объектом исследований были дерново-подзолистые почвы, подвергающиеся регулярному воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков. Почвенные образцы отобраны на сельскохозяйственных землях в ОАО «Гастелловское»

Минского района (поголовье КРС 1,5 тыс. голов), ГП «Путчино» Дзержинского района (поголовье КРС 2,8 тыс. голов), СПК «Лань-Несвиж» Несвижского района (поголовье свиней 20,9 тыс. голов), ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовского района (поголовье свиней 19,5 тыс. голов), ОАО «АгроВидзы» (поголовье КРС 5,1 тыс. голов) и СПК «Маяк Браславский» (поголовье свиней 21,2 тыс. голов) Браславского района.

Почвенные образцы отбирали весной при проведении маршрутных обследований до посева яровых культур при помощи агрохимического бура на глубину 0–25 см в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними. На луговых и пахотных землях, где были посеяны озимые культуры, отбор проб был произведен в начале ранневесенней вегетации растений. На всех сельскохозяйственных землях почвенные образцы без нагрузки жидких органических удобрений и при их внесении отбирали на участках, расположенных в сходных условиях рельефа и в пределах той же почвенной разности.

Содержание тяжелых металлов в жидком навозе КРС и свиных навозных стоках, отобранных в хозяйствах в период проведения маршрутного обследования, представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Содержание тяжелых металлов в жидком навозе КРС и свиных навозных стоках, мг/кг (на естественную влажность)**

Элемент	Жидкий навоз КРС	Свиные навозные стоки
Железо	167–221	150–220
Медь	1,31–3,38	1,93–7,64
Цинк	6,67–37,1	13,0–22,5
Марганец	10,4–13,8	5,57–11,0
Кадмий	Не обнаружено – 0,01	0,003–0,01
Свинец	0,16–0,27	0,02–0,03
Никель	0,62–1,34	0,18–0,33
Кобальт	0,11–0,16	0,08–0,13
Хром	0,87–2,18	0,05–0,20
Влажность, %	92,5–93	97,0–97,8

Для экстракции подвижных соединений тяжелых металлов, которые считают доступными для растений, применяют различные экстрагенты, идентичные по принципу своего действия на почвенные частицы воздействию природных вод и корневых выделений растений. В Республике Беларусь и странах СНГ наибольшее распространение получили ацетатно-аммонийный буфер (ААБ, рН 4,8) и разбавленные растворы кислот (1М HCl, 1М HNO<sub>3</sub>). По мнению В. Б. Ильина [15] и В.Г. Минеева с соавторами [16], солянокислая вытяжка извлекает из почвы «пул» тяжелых металлов, который предположительно характеризует потенциальный запас их подвижных соединений, так называемый «ближний резерв». Экстрагируемые ацетатно-аммонийным буферным раствором соединения металлов, часто называемые обменными, характеризуют, как правило, актуальный запас подвижных форм металлов в почве. В настоящей работе для экстракции подвижных форм ТМ из дерново-подзолистых почв использовали ААБ (рН 4,8). Выбор данного экстрагента обусловлен тем, что он позволяет оценить не толь-

ко количество доступных для растений тяжелых металлов, но и экологическое состояние почв, поскольку в Республике Беларусь на его основе регламентируется допустимый уровень ПДК [17, 18]. В почвенных образцах содержание валовых (после разложения смесью азотной, фтористоводородной и хлорной кислот) и подвижных (ААБ, рН 4,8) форм тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3000 Series [19]. В отобранных пробах органических удобрений содержание тяжелых металлов определяли в зольном остатке после сухой минерализации при температуре 525–530 °С.

При классификации дерново-подзолистых почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером, использовали шкалу, которая предложена авторами работ [20, 21] (табл. 2).

Для количественной характеристики степени загрязнения почв ТМ использовали коэффициент опасности ( $K_o$ ) и коэффициент техногенной концентрации элемента ( $K_c$ ) [2]. Коэффициент опасности показывает, во сколько раз реальное содержание элемента в почве ( $C_i$ ) превышает установленное ПДК (ОДК) –  $K_o = C_i/\text{ПДК (ОДК)}$ .

Таблица 2

**Классификация почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов (ААБ, рН 4,8), мг/кг [20, 21]**

Градации	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
<i>Содержание</i>					
Очень низкое	< 0,2	< 1	< 0,2	< 0,2	< 0,1
Низкое	0,2–0,5	1–2	0,2–0,5	0,2–0,5	0,1–0,2
Среднее	0,5–2,0	2–5	0,5–1,5	0,5–1,5	0,2–0,5
Высокое	2,0–5,0	5–20	1,5–5,0	1,5–5,0	0,5–3
<i>Загрязнение</i>					
Слабое	5–10	20–50	5–10	5–10	3–5
Среднее	10–50	50–100	10–50	10–50	5–25
Сильное	50–100	100–200	50–100	50–100	25–50

Коэффициент техногенной концентрации элемента характеризует, во сколько раз содержание ТМ в дерново-подзолистых почвах, подвергающихся воздействию жидких органических удобрений, превышает его содержание в почвах без нагрузок –  $K_c = C_i/C_f$ . Дополнительно произведен расчет суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ), который равен сумме коэффициентов техногенных концентраций элементов и выражен следующей формулой (где  $n$  – число суммируемых элементов при  $K_c > 1$ ):

$$Z_c = \sum_{j=1}^n K_c - (n-1).$$

Оценку загрязнения дерново-подзолистых почв, расположенных в зоне влияния животноводческих комплексов, тяжелыми металлами осуществляли согласно градации, представленной в Инструкции 2.1.7.11–12–5–2004 [22]:  $Z_c < 16$  – допустимое загрязнение;  $Z_c = 16–32$  – умеренно опасное;  $Z_c = 32–128$  – опасное загрязнение.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным маршрутного обследования валовое содержание меди в дерново-подзолистых почвах без нагрузок составляло 2,1–7,4 мг/кг, цинка – 11,5–30,0 мг/кг, свинца – 7,5–11,6 мг/кг, никеля – 2,3–9,0 мг/кг, кобальта – 1,7–4,4 мг/кг, хрома – 12,2–22,5 мг/кг, что значительно ниже и только в некоторых случаях приближается к уровню региональных кларков [23] (табл. 3). По оценкам А.П. Виноградова [24] кларк Fe составляет 38000 мг/кг, в исследуемых почвах без нагрузок его содержание варьировало в пределах 2770–13078 мг/кг. Кларк Mn в почвах республики составляет 247 мг/кг. Содержание этого элемента в образцах, отобранных на дерново-подзолистых почвах без нагрузок, находилось на уровне 128–380 мг/кг, превышая региональный кларк на 10–54 % в хозяйствах ОАО «Гастелловское», ОАО «Лань-Несвиж» и ОАО «АгроВидзы».

Результаты исследований показали, что во всех хозяйствах в дерново-подзолистых почвах, подвергающихся воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, содержание валовых и, как следствие, подвижных форм кадмия находилось ниже предела обнаружения. Валовое содержание железа составило 2815–9200 мг/кг, что было практически на уровне его содержания в почвах без нагрузки (дополнительный прирост не более 7 %).

Не выявлено изменений в показателях по валовому содержанию всех изучаемых ТМ в ОАО «Лань-Несвиж», где на луговые земли в течение 5 лет регулярно вносили свиные навозные стоки в дозе 300–400 т/га, а дозовая нагрузка на почвы пахотных земель на протяжении 5–10 лет составила 200–300 т/га. Аналогично в ОАО «Гастелловское» ежегодное внесение жидкого навоза КРС в дозе 600–700 т/га в течение 3-х лет не влияло на их общее количество в суглинистой почве.

По истечении 22–25 лет в ОАО «АгроВидзы» и ОАО «Маяк Брагславский», содержание валовых форм ТМ в почвах при постоянно вносимых дозах жидкого навоза КРС 100–200 т/га и навозных стоков свиней 300–400 т/га, несмотря на довольно длительный период воздействия, также не претерпевало изменений по сравнению с почвами без внесения (исключение составили только луговые земли, в которых содержание Zn увеличилось на 15 %).

В хозяйствах ГП «Путчино», ОАО «АгроВидзы», ОАО «Маяк Брагславский» и ОАО «Вишневецкий-Агро» под влиянием интенсивных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет не установлено различий лишь в валовом содержании Pb, Ni, Co и Cr. При этом только в этих хозяйствах из всех изучаемых тяжелых металлов наблюдалось увеличение валового содержания цинка и меди: для Zn данный показатель варьировал в пределах 22,4–43,1 мг/кг, Cu – 3,8–9,8 мг/кг против 11,5–25,5 мг/кг и 2,1–4,7 мг/кг в удобренных почвах. Количество Mn увеличилось в среднем на 13 % только в ГП «Путчино» и ОАО «АгроВидзы».

Концентрация подвижных соединений Co в дерново-подзолистых почвах без нагрузок варьировала в пределах 0,13–0,31 мг/кг, Pb – 0,20–1,12 мг/кг, что характеризовало уровень их обеспеченности этими элементами согласно градации, представленной в табл. 2, от низкого до среднего (табл. 4). В почвенных образцах, отобранных в ГП «Путчино», ОАО «Гастелловское» и ОАО «Вишневецкий-Агро», содержание подвижных форм Co ниже чувствительности прибора. Подвижных соединений Ni в удобренных почвах содержалось 0,11–0,60 мг/кг, что позволило их отнести к категориям от очень низкообеспеченных до средних. Количество подвижных форм Cr было на уровне 0,12–1,01 мг/кг.

Таблица 3

**Влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг почвы**

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ <sup>1</sup> , т/га	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму крс (ГП «Путчино» Дзержинский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8849	4,2	25,5	220	7,5	9,0	2,6	14,7
	30	500–600	9200	5,2	43,1	249	7,7	10,1	2,8	16,6
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8375	4,9	19,8	380	8,4	9,0	4,3	22,5
	3	600–700	8464	5,1	20,6	405	8,5	8,9	4,1	22,5
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму крс (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	4550	2,1	11,5	128	7,6	3,9	2,5	14,1
	25	900–1000	4883	4,3	22,4	170	7,4	4,0	2,6	15,0
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	6550	4,6	14,4	203	8,6	3,8	2,5	22,2
	20	500–600	6560	7,1	24,3	207	8,8	3,7	2,5	23,2
		700–800	6946	9,8	38,6	226	8,8	4,0	2,4	22,0
	–	Без нагрузки	4178	3,7	16,0	179	9,7	3,1	2,1	19,4
	22	500–600	4315	5,3	23,3	190	9,7	3,3	2,0	19,6
Луговые	–	Без нагрузки	13078	7,4	23,4	252	8,8	8,9	4,4	18,7
	22	300–400	13575	8,1	26,8	263	9,0	8,7	4,6	18,9
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	7717	4,7	22,8	242	10,9	6,4	3,7	22,1
	5	200–300	7660	4,7	23,1	242	10,9	6,6	3,5	21,4
			7718	4,9	24,3	245	10,8	6,6	3,8	22,2
Луговые	–	Без нагрузки	7648	4,5	21,9	304	11,6	6,0	4,2	21,9
	5	300–400	7528	4,6	23,3	298	11,3	6,4	4,1	21,9
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму крс (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8736	6,3	30,0	271	11,4	6,8	3,0	16,1
	25	100–200	8785	6,0	32,3	280	11,6	7,1	3,0	16,9
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	2770	4,7	16,6	130	7,6	2,3	1,7	12,2
	22	700–800	2815	8,7	39,8	143	7,9	2,2	1,8	12,6
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро» Мтолбовский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	6378	3,2	20,3	236	8,1	5,7	3,8	20,3
	25	500–600	6684	4,0	23,5	245	8,1	6,1	4,0	20,1
			6314	3,8	24,3	229	7,5	5,6	3,8	20,8
			Региональный кларк [24]	38000 <sup>3</sup>	13	35	247	12	20	6
Пдк, одк <sup>2</sup>			1	33–132	55–220	1500 <sup>4</sup>	32	20–80	20	100

Примечание. <sup>1</sup>ОУ – органические удобрения; <sup>2</sup>ОДК – утверждены для почв с учетом уровня реакции среды и гранулометрического состава; <sup>3</sup>кларк Fe – по А. П. Виноградову [24]; <sup>4</sup>ПДК Mn – согласно [22].

**Влияние регулярных дозовых нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг**

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8,09	0,37	1,07	18,6	0,20	0,38	н/о <sup>1</sup>	0,16
	30	500–600	11,9	0,73	2,97	44,3	0,18	0,40	н/о	0,22
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	3,51	0,25	1,01	16,0	0,74	0,11	н/о	0,14
	3	600–700	3,65	0,27	1,08	20,3	0,70	0,11	н/о	0,15
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	3,58	0,07	1,03	11,6	0,57	0,22	0,15	0,28
	25	900–1000	10,7	0,22	4,90	31,9	0,59	0,26	0,18	0,33
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	9,69	0,30	1,45	13,4	0,87	0,35	0,20	0,67
	20	500–600	19,9	0,81	4,45	23,5	0,84	0,35	0,20	0,68
		700–800	46,1	1,35	13,9	56,1	1,04	0,53	0,31	1,01
	22	Без нагрузки	12,9	0,27	1,68	12,2	0,89	0,28	0,16	0,60
Луговые	–	Без нагрузки	14,2	0,52	1,62	17,4	0,76	0,60	0,42	0,70
	22	300–400	22,5	0,85	2,22	20,2	0,79	0,60	0,38	0,73
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	12,7	0,51	0,96	21,1	0,70	0,40	0,27	0,43
	5	200–300	28,5	1,00	2,22	32,1	0,87	0,53	0,34	0,69
	10		14,1	0,57	1,07	22,1	0,69	0,43	0,27	0,45
Луговые	–	Без нагрузки	12,1	0,39	1,53	23,9	0,60	0,52	0,32	0,57
	5	300–400	13,4	0,44	1,74	24,1	0,55	0,51	0,31	0,60
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	6,41	0,18	1,37	22,5	1,12	0,14	0,13	0,33
	25	100–200	7,24	0,20	1,66	31,0	1,18	0,14	0,13	0,34
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	8,87	0,31	0,97	10,9	0,87	0,21	0,17	0,51
	22	700–800	22,8	1,02	6,28	25,7	0,79	0,24	0,18	0,54
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	4,12	0,15	0,91	10,1	0,30	0,11	н/о	0,12
	25	500–600	6,39	0,28	2,59	15,4	0,30	0,12	н/о	0,13
			5,60	0,27	2,34	13,3	0,25	0,12	н/о	0,12
ПДК			–	3	23	60–100 <sup>2</sup>	6	4	5	6

*Примечание.* <sup>1</sup>н/о – ниже предела обнаружения; <sup>2</sup>ПДК Mn – утверждены для дерново-подзолистых почв с учетом уровня реакции среды.

Систематическое внесение жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дозах от 100–200 до 500–600 т/га независимо от времени воздействия практически не оказало влияния на содержание подвижных соединений Pb, Ni, Cr и Co по сравнению с почвами без нагрузок. Наблюдаемые различия не превышали 9 %, что, по-видимому, обусловлено невысоким их содержанием в применяемых органических удобрениях.

Анализ органических удобрений, отобранных в период проведения исследований, показал, что в зависимости от их вида и дозы внесения ежегодно на 1 га почв в среднем поступало всего 8–200 г свинца, 45–737 г никеля, 19–124 г кобальта, 35–960 г хрома.

Дополнительный прирост по никелю, кобальту и хрому (на 14–55 %) обеспечила лишь ежегодная нагрузка свиных навозных стоков и жидкого навоза КРС из расчета 700–800 т/га и 900–1000 т/га соответственно в течение 20–25 лет на пахотные земли в ОАО «Маяк Браславский» и ОАО «АгроВидзы», а также в ГП «Путчино» только по хрому (на 38 %) после регулярного 30-летнего внесения жидкого навоза КРС в дозе 500–600 т/га. При этом наиболее высокая подвижность этих элементов наблюдалась на суглинистой почве в ОАО «Маяк Браславский», что, скорее всего, вызвано не только интенсивной нагрузкой свиных навозных стоков, но и среднекислой реакцией почвенной среды ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,9), поскольку при возрастании кислотности почвы подвижность многих тяжелых металлов увеличивается [25, 26]. Данное предположение можно сделать исходя из того, что при нагрузке навозных стоков свиней 500–600 т/га на близлежащее поле ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,7) в этом хозяйстве уровень содержания подвижных соединений Ni, Co и Cr составил всего 65–66 % от количеств, полученных при их внесении из расчета 700–800 т/га, и не превышал аналогичные показатели почвы, где эти удобрения не вносили. В ОАО «Лань-Несвиж» на суглинистой почве пахотных земель, где в течение 5 лет вносили свиные навозные стоки в дозе 200–300 т/га, выход подвижных соединений Ni, Co и Cr при экстракции ацетатно-аммонийным буфером составил 0,53 мг/кг, 0,34 и 0,69 мг/кг, что на 23–53 % выше, чем при такой же дозовой нагрузке в течение 10 лет. Причина таких различий обусловлена, по-видимому, как и в ОАО «Маяк Браславский», более низким показателем  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , который был на уровне 4,6 против 6,1 в почве, где удобрение вносили не менее 10 лет. Содержание остальных тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb) в суглинистых почвах с показателем  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,6–4,9 также характеризовалось более высокими значениями относительно сравниваемых почв.

Не установлено изменений в содержании подвижных форм железа, меди и цинка в суглинистой почве, расположенной в ОАО «Гастелловское» в зоне влияния животноводческого комплекса по откорму КРС, при ежегодном внесении жидкого навоза в дозе 600–700 т/га не более 3-х лет, за исключением марганца, подвижность которого увеличилась на 27 % по сравнению с неудобренной почвой. Регулярное применение в ОАО «Лань-Несвиж» свиных навозных стоков в дозе 200–300 т/га в течение 10 лет на почвы пахотных земель и в дозе 300–400 т/га в течение 5 лет на лугопастбищные угодья не оказало влияния на подвижность марганца, способствуя увеличению содержания подвижных форм Fe, Cu и Zn, всего на 11–14 %.

Во всех остальных случаях (ГП «Путчино, ОАО «АгроВидзы», ОАО «Маяк Браславский», ОАО «Вишневецкий-Агро») на фоне интенсивных дозовых нагруз-

зок жидких органических удобрений в течение более длительного времени (20–30 лет) наблюдался прирост в содержании подвижных соединений Fe, Cu, Zn и Mn в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственного назначения по сравнению с неудобренной почвой. В ОАО «АгроВидзы» при дозе внесения жидкого навоза КРС 100–200 т/га количество подвижных соединений железа в супесчаной почве увеличилось на 13 %, марганца – на 38 %, меди – на 11 %, цинка – на 21 %; в ОАО «Маяк Браславский» при нагрузке свиных навозных стоков 300–400 т/га на суглинистую почву – на 58 %, 16, 63 и 37 % соответственно.

При дозовой нагрузке жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на дерново-подзолистые почвы от 500–600 до 900–1000 т/га (без учета суглинистой почвы с  $pH_{KCl}$  4,9 в ОАО «Маяк Браславский») в обследуемых хозяйствах прирост в содержании подвижных форм Fe составил 1,48–16,2 мг/кг (36–199 %), Mn – 2,2–25,7 мг/кг (32–175 %), Cu – 0,12–0,71 мг/кг (80–229 %). Наибольшая прибавка в содержании подвижных форм из всех изучаемых тяжелых металлов отмечена для Zn (157–547 %) при максимальном показателе в супесчаной почве на фоне ежегодных нагрузок свиных навозных стоков 700–800 т/га в течение 22 лет. Различия в накоплении подвижных форм тяжелых металлов в исследуемых почвах, возможно, связаны не только с их физико-химическими свойствами, условиями увлажнения и другими особенностями, но обусловлены также разным содержанием элементов в используемых удобрениях. Более высокий уровень накопления подвижного цинка в этой почве, по-видимому, обусловлен разным его содержанием в применяемых удобрениях. Так, согласно нашим расчетам, ежегодно на 1 гектар почвы со свиными навозными стоками при дозе внесения 700–800 т/га поступало около 17 кг цинка, в то время как с жидким навозом КРС при дозе 900–1000 т/га – всего 6 кг.

Согласно классификации почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером, дерново-подзолистые почвы без нагрузок очень низко- и низкообеспечены медью и цинком. По истечении 20–30 лет при регулярных дозовых нагрузках жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га обеспеченность почв Cu оценивалась от низкой до средней, Zn – от средней до высокой.

В целом, исходя из предлагаемой в табл. 2 градации, дерново-подзолистые почвы, находящиеся в зоне влияния животноводческих комплексов, по содержанию подвижных форм изучаемых тяжелых металлов пока не загрязнены ими. Тем не менее, например, после 22 лет дозовой нагрузки свиных навозных стоков 700–800 т/га в ОАО «Маяк Браславский» супесчаная почва из разряда очень низкой по обеспеченности цинком перешла в разряд высокой, что свидетельствует о возможных негативных последствиях при более длительном воздействии сверхвысоких доз этих удобрений, в частности, избыточном накоплении Zn в пахотном слое.

По мнению А. Р. Сибиркиной [27], определение доли подвижных форм металлов в их валовом содержании позволяет выявить экологически неблагоприятные компоненты ландшафта, способные служить источником химического загрязнения сопряженно произрастающей растительности. Анализ показал, что в обследуемых дерново-подзолистых почвах без нагрузок доля подвижных соединений тяжелых металлов в их валовом содержании невелика и не превышает в основном 11 % при минимальном показателе для Fe (0,04–0,3 %) (табл. 5). При этом сопостав-

ление данных по доле подвижных форм Pb, Ni, Cr и Co в их валовом содержании показало, что между дерново-подзолистыми почвами без нагрузок и подвергающихся воздействию жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, независимо от периода использования и дозы внесения, различий в их долевом участии практически не наблюдалось (за исключением почв в ОАО «Маяк Браславский» и ОАО «Лань-Несвиж» с  $pH_{КС}$  4,6–4,9).

Таблица 5

**Доля подвижных форм тяжелых металлов по отношению к их валовому содержанию в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов, %**

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,09	8,8	4,2	8,5	2,7	4,2	–	1,1
	30	500–600	0,13	14,0	6,9	17,8	2,3	4,0	–	1,3
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,04	5,1	5,1	4,2	8,8	1,2	–	0,6
	3	600–700	0,04	5,3	5,2	5,0	8,2	1,2	–	0,7
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,1	3,3	9,0	9,1	7,5	5,6	6,0	2,0
	25	900–1000	0,2	5,1	21,9	18,8	8,0	6,5	6,9	2,2
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,1	6,5	10,1	6,6	10,1	9,2	8,0	3,0
	20	500–600	0,3	11,4	18,3	11,4	9,5	9,6	8,0	2,9
		700–800	0,7	13,8	36,0	24,8	11,8	13,3	12,9	4,6
	–	Без нагрузки	0,3	7,3	10,5	6,8	9,2	9,0	7,6	3,1
	22	500–600	0,7	16,0	31,0	12,4	9,6	8,8	8,5	3,1
Луговые	–	Без нагрузки	0,1	7,0	6,9	6,9	8,6	6,7	9,5	3,7
	22	300–400	0,2	10,5	8,3	7,7	8,8	6,9	8,3	3,9
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,2	10,9	4,2	8,7	6,4	6,3	7,3	1,9
	5	200–300	0,4	21,3	9,6	13,3	8,0	8,0	9,7	3,2
			10	0,2	11,6	4,4	9,0	6,4	6,5	7,1
Луговые	–	Без нагрузки	0,2	8,7	7,0	7,9	5,2	8,7	7,6	2,6
	5	300–400	0,2	9,6	7,5	8,1	4,9	8,0	7,6	2,7
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,07	2,9	4,6	8,3	9,8	2,1	4,3	2,0
	25	100–200	0,08	3,3	5,1	11,1	10,2	2,0	4,3	2,0
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,3	6,6	5,8	8,4	11,4	9,1	10,0	4,2
	22	700–800	0,8	11,7	15,8	18,0	10,0	10,9	10,0	4,3
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>										
Пахотные	–	Без нагрузки	0,06	4,7	4,5	4,3	3,7	1,9	–	0,6
	25	500–600	0,10	7,0	11,0	6,3	3,7	2,0	–	0,6
			0,09	7,1	9,6	5,8	3,3	2,1	–	0,6

Результаты расчетов показали также отсутствие изменений в долевом участии Fe, Cu, Zn и Mn в ОАО «Гастелловское» (за исключением марганца, доля подвижных форм у которого возросла на 19 %) и в ОАО «Лань-Несвиж» (исключение суглинистая почва с  $pH_{KCl}$  4,6, где превышение по этим элементам составило 1,5–2,3 раза), независимо от условий землепользования при сроке внесения органических удобрений не более 10 лет.

При воздействии жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на дерново-подзолистые почвы в течение более длительного времени установлено повышение подвижности Fe, Cu, Zn и Mn, что проявилось в увеличении долевого участия их подвижных форм в валовом содержании. При этом наибольшей изменчивостью характеризовались Zn и Fe при нагрузках органических удобрений от 500–600 до 900–1000 т/га: доля их подвижных форм в почвах (без учета суглинистой почвы с  $pH_{KCl}$  4,9) составила 6,9–31,0 % и 0,09–0,8 %, что выше по сравнению с неудобренными почвами в 1,6–3,0 и 1,4–2,8 раза. На втором месте находятся Cu и Mn, доля подвижных форм которых была на уровне 5,1–16,0 % и 5,8–18,8 % от валового содержания, что превышало показатели почв без нагрузок в 1,5–2,2 и 1,4–2,1 раза соответственно. Более низкие показатели по изменению долевого участия этих элементов в их валовом содержании получены для дерново-подзолистых почв с дозовой нагрузкой свиных навозных стоков 100–200 и 300–400 т/га: увеличение составило всего 1,1–1,2 раза по сравнению с почвами без нагрузок.

На основании выполненной работы определено, что содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов, значительно ниже установленных нормативов ПДК и ОДК [17, 18].

При этом по мнению некоторых исследователей [15, 28, 29], использование для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами только показателя ПДК не всегда позволяет реально оценить уровень их загрязнения. Одним из основных показателей, характеризующих опасность загрязнения почв химическими элементами, является коэффициент опасности ( $K_o$ ), в соответствии с которым опасность загрязнения почвы тем выше, чем больше его значение превышает единицу. В проведенных исследованиях рассчитанные  $K_o$  были ниже единицы, что свидетельствует об отсутствии на данном этапе опасности накопления в дерново-подзолистых почвах вблизи животноводческих комплексов валовых и подвижных соединений тяжелых металлов выше уровня ПДК (ОДК), несмотря на внесение в некоторых хозяйствах довольно высоких доз жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в течение длительного периода. Так, определено: при нагрузках этих удобрений от 500–600 до 900–1000 т/га содержание подвижных соединений Ni и Co в почвах составляло не более 0,10 ПДК, Cr – 0,11 ПДК, Pb – 0,16 ПДК, что было на уровне почв, где удобрения не вносили. В то же время, количество Cu достигло 0,07–0,27 ПДК, Zn – 0,10–0,31 ПДК, Mn – 0,13–0,44 ПДК против 0,02–0,12 ПДК, 0,04–0,07 ПДК и 0,10–0,19 ПДК соответственно в почвах без нагрузок, что указывает на потенциальную опасность загрязнения почв сельскохозяйственного назначения, находящихся в зоне влияния животноводческих комплексов, этими элементами.

Для более полной количественной характеристики уровня загрязнения дерново-подзолистых почв, подвергающихся воздействию интенсивных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, а также оценки полиэлементного загрязнения изучаемых территорий в качестве индикаторов неблагоприятного

воздействия использовали коэффициент техногенной концентрации элемента ( $K_c$ ) и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ).

Рассчитанные значения  $K_c$  валовых форм свидетельствуют о достаточно слабом влиянии регулярных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков, независимо от доз их внесения и времени воздействия, на накопление валовых форм Fe, Pb, Ni, Co, Cr и Mn ( $K_c$  не превышал 1,1 ед.), за исключением суглинистой почвы в ОАО «АгроВидзы» при внесении жидкого навоза КРС из расчета 900–1000 т/га, где  $K_c$  Mn составил 1,3 ед. В то же время при их ежегодной нагрузке от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет  $K_c$  цинка и меди были на уровне 1,2–2,7 и 1,2–2,1 соответственно. При этих дозовых нагрузках суммарный показатель загрязнения тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв достиг 1,4–4,1 ед. (1,0–1,4 ед. во всех остальных изучаемых почвах), что, тем не менее, не превышало допустимой категории загрязнения ( $Z_c < 16$ ) (табл. 6).

Более реально оценить степень загрязнения тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв, расположенных в зоне влияния животноводческих комплексов, позволяют данные показатели, рассчитанные через их подвижные формы. В обследуемых почвах практически не наблюдалось накопления подвижных форм Pb, Ni, Co и Cr, на что указывают коэффициенты техногенной концентрации этих элементов. Только при нагрузке свиных навозных стоков в хозяйствах ОАО «Маяк Браславский» 700–800 т/га и ОАО «Лань-Несвиж» 200–300 т/га на суглинистые почвы  $K_c$  по этим элементам достигали значений 1,2–1,6.

По истечении 5–10 лет не выявлено также загрязнения суглинистых почв разного сельскохозяйственного использования в ОАО «Лань-Несвиж» подвижными соединениями меди, цинка, железа и марганца при дозовой нагрузке свиных навозных стоков от 200–300 до 300–400 т/га ( $K_c \leq 1,1$  ед.). Аналогичная закономерность отмечена в ОАО «Гастелловское» при дозе внесения жидкого навоза КРС 600–700 т/га в течение 3-х лет. В результате суммарный показатель загрязнения составил только 1,4–1,5 ед. (исключение почва с  $pH_{KCl}$  4,6, где коэффициенты техногенной концентрации подвижных форм Fe, Cu, Zn, и Mn достигли 1,5–2,3 ед.,  $Z_c = 6,2$  ед.).

При длительном применении жидкого навоза КРС в рекомендуемых дозах 100–200 т/га в ОАО «Агро-Видзы»  $K_c$  Fe и Cu были на уровне 1,1 при несколько более высоких показателях по Zn и Mn, однако в целом величина  $Z_c$  составила всего 1,9 ед. Наибольшая степень загрязнения тяжелыми металлами характерна для дерново-подзолистых почв, подвергающихся воздействию жидких органических удобрений в дозах от 500–600 до 900–1000 т/га на протяжении 20–30 лет: коэффициент техногенной концентрации подвижных форм Cu достиг уровня 1,8–3,3 ед., Zn – 2,6–6,5 ед., Mn – 1,3–2,8 ед., Fe – 1,4–3,0 ед. при суммарном показателе загрязнения 4,1–12,0 ед. Максимальной величиной  $Z_c$  на уровне 21,8 ед. характеризовалась суглинистая почва в ОАО «Маяк Браславский», что, по-видимому, обусловлено двумя причинами: высокой дозой внесения свиных навозных стоков (700–800 т/га) и среднекислой реакцией почвенного раствора ( $pH_{KCl}$  4,9).

В соответствии с рассчитанными коэффициентами техногенного загрязнения при воздействии жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в течение 20–30 лет основными загрязнителями дерново-подзолистых почв сельскохозяйственного назначения в зоне влияния животноводческих комплексов являются цинк, который занимает доминирующее положение, а далее по значимости следуют медь, железо и марганец:

$$Zn_{1,2-6,5} > Cu_{1,1-3,3} > Fe_{1,1-3,0} > Mn_{1,2-2,8} > Cr_{1,0-1,4} \approx Ni_{1,0-1,2} \approx Co_{0,9-1,2} \approx Pb_{0,8-1,2}$$

**Количественная оценка степени загрязнения дерново-подзолистых почв  
тяжелыми металлами при регулярных нагрузках жидкого навоза КРС  
и свиных навозных стоков**

Вид земель	Период внесе- ния, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Коэффициент техногенной концентрации элемента, K <sub>c</sub>								Z <sub>c</sub>
			Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr	
<b>Валовые формы тяжелых металлов</b>											
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>											
Пахотные	30	500–600	1,0	1,2	1,7	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	2,5
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>											
Пахотные	3	600–700	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
Пахотные	25	900–1000	1,1	2,0	1,9	1,3	1,0	1,0	1,0	1,1	3,5
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
Пахотные	20	500–600	1,0	1,5	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,3
		700–800	1,1	2,1	2,7	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	4,1
Луговые	22	500–600	1,0	1,4	1,5	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	2,1
		300–400	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,4
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>											
Пахотные	5	200–300	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0
	10		1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
Луговые	5	300–400	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
Пахотные	25	100–200	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
Пахотные	22	700–800	1,0	1,9	2,4	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	3,5
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>											
Пахотные	25	500–600	1,0	1,3	1,2	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,6
			1,0	1,2	1,2	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,4
<b>Подвижные формы тяжелых металлов</b>											
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ГП «Путчино», Дзержинский район)</i>											
Пахотные	30	500–600	1,5	2,0	2,8	2,4	0,9	1,1	н/о	1,4	6,0
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «Гастелловское», Минский район)</i>											
Пахотные	3	600–700	1,0	1,1	1,1	1,3	0,9	1,0	н/о	1,1	1,5
<i>Суглинистая почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>											
Пахотные	25	900–1000	3,0	3,1	4,8	2,8	1,0	1,2	1,2	1,2	11,2
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>											
Пахотные	20	500–600	2,1	2,7	3,1	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	6,6
		700–800	4,8	4,5	9,6	4,2	1,2	1,5	1,6	1,5	21,8
Луговые	22	500–600	2,3	3,1	4,3	1,9	1,0	1,0	1,1	1,0	8,8
		300–400	1,6	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	1,0	2,7

Вид земель	Период внесения, лет	Ежегодная нагрузка ОУ, т/га	Коэффициент техногенной концентрации элемента, $K_c$									$Z_c$
			Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni	Co	Cr		
<i>Суглинистая почва, свинокомплекс (ОАО «Лань-Несвиж», Несвижский район)</i>												
Пахотные	5	200–300	2,2	2,0	2,3	1,5	1,2	1,3	1,3	1,6	6,2	
	10		1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,5	
Луговые	5	300–400	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,4	
<i>Супесчаная почва, комплекс по откорму КРС (ОАО «АгроВидзы», Браславский район)</i>												
Пахотные	25	100–200	1,1	1,1	1,2	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,9	
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Маяк Браславский», Браславский район)</i>												
Пахотные	22	700–800	2,6	3,3	6,5	2,4	0,9	1,1	1,1	1,1	12,0	
<i>Супесчаная почва, свинокомплекс (ОАО «Вишневецкий-Агро», Столбцовский район)</i>												
Пахотные	25	500–600	1,6	1,9	2,8	1,5	1,0	1,1	н/о	1,1	5,0	
			1,4	1,8	2,6	1,3	0,8	1,1	н/о	1,0	4,1	

Согласно экологической оценке по  $Z_c$  дерново-подзолистые почвы в обследуемых хозяйствах характеризуются допустимым уровнем загрязнения подвижными формами тяжелых металлов ( $Z_c < 16$ ). При этом наблюдаемые негативные тенденции увеличения данного показателя по мере повышения нагрузки жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дальнейшем при постоянно высоких дозах их внесения могут привести к более значимым изменениям в агроэкосистемах.

## ВЫВОДЫ

1. При ежегодной утилизации жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков в дозах от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет наиболее интенсивно в дерново-подзолистых почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов, накапливались цинк и медь: содержание валовых форм Zn увеличилось на 16–140 %, Cu – на 19–105 %. Систематические нагрузки этих удобрений не более 300–400 т/га, независимо от длительности внесения, практически не влияли на валовое содержание тяжелых металлов в почвах.

2. Регулярные нагрузки жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 100–200 до 900–1000 т/га, практически не оказав влияния на содержание Cd, Pb, Ni, Co и Cr, увеличили концентрацию подвижных форм Fe в дерново-подзолистых почвах на 13–199 %, Cu – на 11–229 %, Zn – на 21–547 %, Mn – на 32–175 % при повышении их долевого участия в валовом содержании в 1,1–3,0 раза.

3. Оценка агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв сельскохозяйственного назначения в зоне влияния животноводческих комплексов свидетельствует об отсутствии их загрязнения тяжелыми металлами: превышения установленных нормативов ПДК и ОДК валовых и подвижных форм тяжелых металлов не обнаружено, коэффициенты опасности ( $K_c$ ) ниже единицы. Согласно коэффициентам техногенной концентрации основными поллютантами почв при нагрузках жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков от 500–600 до 900–1000 т/га в течение 20–30 лет являются Zn ( $K_c$  2,6–6,5 ед.), Cu ( $K_c$  1,8–3,3 ед.),

Fe ( $K_c$  1,4–3,0 ед.) и Mn ( $K_c$  1,3–2,8 ед.) при слабом накоплении Pb, Ni, Co и Cr. По суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$  4,1–12,0 ед.) почвы являются условно чистыми ( $Z_c < 16$ ) с максимальными значениями (11,2–12,0 ед.) при дозах 700–800 и 900–1000 т/га. Однако наблюдаемый негативный эффект по увеличению  $K_c$  и  $Z_c$  указывает на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз этих органических удобрений на ограниченной территории, что в дальнейшем может привести к более значимому повышению содержания тяжелых металлов в почвах, увеличивая вероятность загрязнения ими сельскохозяйственной продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2017 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И.В. Медведева [и др.]. – Минск, 2017. – 506 с.
2. *Серая, Т.М.* Удобрение жидким навозом / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Наше сельское хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 52–56.
3. *Барановский, И.* Эффективность жидкого навоза на дерново-подзолистых почвах / И. Барановский, А. Павлоцкий // Главный агроном. – 2010. – № 10. – С. 7–9.
4. *Бабенко, М.В.* Влияние отдельных фракций свиного навоза на продуктивность зернотравяного звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / М.В. Бабенко; РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2016. – 21 с.
5. *Сидорцов, В.В.* Влияние возрастающих доз свиного навоза и его сочетаний с минеральными удобрениями, соломой и сидератом на урожайность, качество картофеля и переход радионуклидов в продукцию: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. В. Сидорцов; НИИСХ ЦРНЗ. – М., 2000. – 20 с.
6. Сравнительная эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 70–77.
7. *Самыкин, В.Н.* Использование животноводческих стоков в качестве органических удобрений / В.Н. Самыкин, В.Д. Соловиченко, А.А. Потрясаев // Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. / ВНИИПТИОУ; ред. кол.: А.И. Еськов, С.М. Лукин, И.В. Русакова. – Владимир, 2009. – С. 229–234.
8. *Семененко, С.Я.* Влияние орошения животноводческими стоками на урожай зеленой массы кукурузы / С.Я. Семененко, О.М. Агеенко // Плодородие. – 2017. – № 1. – С. 46–48.
9. *Лукин, С.В.* Агроэкологическая оценка влияния органических удобрений на микроэлементный состав почв / С.В. Лукин, С.В. Селюкова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 61–65.
10. *Новиков, М.Н.* Агроэкологическая оценка различных видов и форм органических удобрений в полевом опыте / М.Н. Новиков, А.В. Кузнецов // Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов: материалы Междунар. симпозиума, Владимир, 16–19 сент.

2004 г. / РАСХН, ВНИПТИОУ; под ред.: А. И. Еськова, М.Н. Новикова. – Владимир, 2004. – С. 43–52.

11. *Варламова, Л.Д.* Эколого-агрохимическая оценка и оптимизация применения в качестве удобрений органосодержащих отходов производства: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Л.Д. Варламова; Морд. гос. ун-т. – Саранск, 2007. – 42 с.

12. *Гейгер, Е.Ю.* Действие жидкого свиного навоза на продуктивность агрофитоценоза и состояние экосистемы в зоне влияния крупного свиного комплекса: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16, 06.01.04 / Е.Ю. Гейгер; Нижегородская ГСХА. – Нижний Новгород, 2003. – 212 с.

13. *Веротченко, М.А.* Агроэкологическая оценка сельскохозяйственных угодий различных территорий Российской Федерации / М.А. Веротченко // Развитие и внедрение современных технологий и систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 3–5 июля 2013 г.: в 3 т. / РАСХН, Пермский НИИ сел. хоз-ва: редкол.: К.Н. Корляков [и др.]. – Пермь, 2013. – Т. 1. – Ч. 1. – С. 106–114.

14. *Дабахова, Е.В.* оценка воздействия длительной утилизации отходов промышленного свиноводства в агроэкосистеме на примере свиного комплекса ОАО «Ильинское» / Е.В. Дабахова, В.И. Титова // Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / РАСХН, ВНИПТИОУ; ред. кол.: А.И. Еськов, С.М. Лукин, С.И. Тарасов. – Владимир, 2006. – С. 125–134.

15. *Ильин, В.Б.* Оценка существующих экологических нормативов содержания тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. – 2000. – № 9. – С. 74–79.

16. *Минеев В.Г.* Последствие различных систем удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой почвы при загрязнении тяжелыми металлами / В.Г. Минеев, Л.А. Лебедева, А.В. Армазова // Агрохимия. – 2008. – № 10. – С. 48–54.

17. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ: ГН 2.1.7.12–1–2004. – Введ. 25.02.2004 г. – Минск: Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2004. – 29 с.

18. Об утверждении ГН «Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения»: Постановление Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 06 нояб. 2008 г., № 187 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – 8/25624.

19. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства: метод. указания / А.В. Кузнецов [и др.]; редкол. А.М. Артюшин [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Мин-во сел. хоз-ва РФ, ЦИНАО, 1992. – 61 с.

20. *Обухов, А.И.* Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами / А.И. Обухов, Л.А. Ефремова // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: материалы 2-й Всесоюзной конференции. – М., 1988. – Т. 1. – С. 23–25.

21. Методы исследования городских почв: уч. пособие / Р.Ф. Байбеков [и др.]. – М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. Тимирязева, 2007. – 202 с.

22. Гигиеническая оценка почвы населенных мест: Инструкция 2.1.7.11–12–5–2004: сб. нормативных документов по гигиенической оценке почв населенных мест. – Минск: Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2004. – С. 3–38.

23. *Петухова, Н.Н.* Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Природные ресурсы. – 1999. – № 4. – С. 40–49.

24. *Виноградов, А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 235 с.

25. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.

26. *Лукин, С.В.* Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи центрально-черноземной области / С.В. Лукин, Р.М. Хижняк // Агрохимия. – 2015. – № 8. – С. 64–72.

27. *Сибиркина, А.Р.* Биогеохимическая оценка содержания тяжелых металлов в сосновых борах Семипалатинского Прииртышья: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08 / А.Р. Сибиркина; Челябинский гос. ун-т. – Омск, 2014. – 496 с.

28. Нормирование содержания тяжелых металлов в почве при внесении осадков сточных вод / М.В. Тютюнькова [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 4. – С. 20–24.

29. *Водяницкий, Ю.Н.* Экотоксикологическая оценка опасности тяжелых металлов и металлоидов в почве / Ю.Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2012. – № 2. – С. 75–84.

## **AGROECOLOGICAL ESTIMATION OF LOADS OF LIQUID MANURE OF CATTLE AND PIG MANURE RUNOFF ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOD-PODZOLIC SOILS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF LIVESTOCK COMPLEXES**

**E.N. Bogatyrova, T.M. Seraya, A.V. Yukhnovets,  
T.M. Kirdun, M.M. Torchilo**

### **Summary**

The data on the effect of prolonged exposure of liquid manure of cattle and pig manure runoff on the content of heavy metals in sod-podzolic soils, identified priority pollutants (Zn, Cu, Mn, Fe). The annual application of these fertilizers in doses of 100–200 to 900–1000 t/ha increased the concentration of mobile forms of Fe in soils at 13–199 %, Cu – 11–229 %, Zn – 21–547 %, Mn – 32–175 %. Annual application of these fertilizers in doses from 100–200 to 900–1000 t/ha increased the concentration of mobile forms of Fe in soils by 13–199 %, Cu – by 11–229 %, Zn – by 21–547 %, Mn – by 32–175 %. Exceeding the established standards of maximum permissible concentrations (MPCs) and provisional permissible concentrations (PPCs) of gross and mobile forms of heavy metals was not found, the hazard ratios are below one. Agroecological condition of soils on  $Z_c$  (4,1–12,0 units) is characterized by the admissible level of pollution mobile forms of heavy metals ( $Z_c < 16$ ). The observed negative trends in the increase of  $K_c$  and  $Z_c$  indicate environmental risks with the constant utilization of high doses of these organic fertilizers in a limited area.

*Поступила 18.04.18*