

Дозовые нагрузки биогенных элементов и тяжелых металлов на дерново-подзолистые почвы в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик

Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Т. М. Кирдун, О. М. Бирюкова, кандидаты с.-х. наук,
Ю. А. Белявская, научный сотрудник
Институт почвоведения и агрохимии

(Дата поступления статьи в редакцию 06.01.2021 г.)

Определено содержание биогенных элементов, натрия, хлоридов и тяжелых металлов в жидком навозе КРС, стоках свиней и птичьим помете, рассчитаны уровни их поступления в почвы в зависимости от химического состава и дозовой нагрузки: ежегодно на 1 га в среднем поступает азота – 180–2407 кг, P_2O_5 – 90–1250 кг, K_2O – 73–1971 кг, CaO – 45–713 кг, MgO – 29–594 кг, органического вещества – 2,1–55,0 тонн. Поступление натрия составляет 7–743 кг/га, хлоридов – 13–668 кг/га, Fe – 4–161 кг/га, Zn – 0,4–20 кг/га, Mn – 0,9–14 кг/га, Cu – 0,2–6,9 кг/га, Ni – 21–737 г/га, Co – 6–138 г/га, Cr – 20–985 г/га, Cd и Pb – не более 38 и 257 г/га соответственно.

Введение

В Республике Беларусь животноводство представляет собой стратегически важную отрасль сельского хозяйства, обеспечивающую продовольственную безопасность населения страны. При существующей структуре и численности животных ежегодно в хозяйствах республики накапливается около 20 млн т бесподстильного навоза и помета, из них более 12 млн т приходится на экскременты, при смывании которых технологической водой, в зависимости от ее количества, образуются жидкий навоз и навозные стоки. Основным и наиболее распространенным способом их использования является применение в качестве органических удобрений, что обусловлено химическим составом (наличием макро- и микроэлементов, органического вещества).

При использовании жидкого навоза КРС, птичьего помета и свиных стоков в качестве удобрения они должны способствовать увеличению урожайности сельскохозяйственных культур без снижения качества урожая, не приводить к загрязнению почв, поверхностных и грунтовых вод, не ухудшать санитарно-гигиеническую обстановку. По данным ряда авторов [1–5], в жидком навозе КРС около 50–60 % азота находится в аммонийной форме, в птичьем помете в процессе его хранения – до 25–40 %, в свином навозе этот показатель может достигать более 70 %. Фосфор и калий в этих удобрениях содержатся в доступной для растений форме, т. е. по доступности элементов питания жидкий навоз и птичий помет равноценны минеральным удобрениям, и потребность растений в элементах питания можно полностью удовлетворить за счет их внесения. Однако при разработке систем удобрения сельскохозяйственных культур в хозяйствах часто не учитывают количества элементов питания, поступивших в почву с жидким навозом КРС, стоками свиней и пометом, что зачастую приводит к необоснованно завышенному внесению доз минеральных удобрений и, соответственно, снижению их экономической эффективности.

The content of biogenic elements, sodium, chlorides and heavy metals in liquid manure of cattle, pig manure effluents and poultry manure was determined, and the levels of their entry into the soil depending on the chemical composition and dose load were calculated: annually on 1 ha, on average, nitrogen is delivered – 180–2407 kg, P_2O_5 – 90–1250 kg, K_2O – 73–1971 kg, CaO – 45–713 kg, MgO – 29–594 kg, organic matter – 2,1–55,0 tons. Sodium admission is 7–743 kg/ha, chlorides – 13–668 kg/ha, Fe – 4–161 kg/ha, Zn – 0,4–20 kg/ha, Mn – 0,9–14 kg/ha, Cu – 0,2–6,9 kg/ha, Ni – 21–737 g/ha, Co – 6–138 g/ha, Cr – 20–985 g/ha, Cd and Pb – no more than 38 and 257 g/ha respectively.

Кроме того, во многих хозяйствах из-за недостаточного количества навозо- и пометохранилищ, а также отсутствия необходимых площадей для утилизации образующихся объемов жидких отходов животноводства и птичьего помета практикуется их бессистемное внесение в очень высоких дозах, в основном, на близлежащие поля. Постоянные нагрузки этих удобрений на одни и те же участки в течение длительного времени могут отрицательно сказаться на плодородии почв, приводя к их зафосфачиванию, очень высокой обеспеченности подвижными формами калия, нитратами и другими соединениями. К числу негативных факторов, ухудшающих свойства почв и снижающих рост продуктивности сельскохозяйственных культур, относится также наличие в составе жидких отходов животноводства и птичьего помета тяжелых металлов, натрия и хлоридов вследствие очистки, мойки и дезинфекции животноводческих помещений. По данным исследований [3, 6–9], содержание натрия в жидких отходах животноводства составляет 140–800 мг/л, хлоридов – 39–1300 мг/л, т. е. применение их в дозе 100 т/га обеспечит поступление в почву Na на уровне 14–80 кг, хлоридов – 3,9–130 кг.

Перевод животноводства и птицеводства на промышленную основу с повсеместным использованием при кормлении концентрированных кормов и различных добавок сказывается на химическом составе навоза и помета, что при их бессистемном внесении может вызвать изменения в биогеохимическом круговороте не только макро-, но и микроэлементов, в т. ч. тяжелых металлов.

В этой связи целью исследований являлось уточнение химического состава жидкого навоза КРС, свиных стоков и бесподстильного птичьего помета и установление дозовых нагрузок биогенных элементов и тяжелых металлов на дерново-подзолистые почвы вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик.

Методика и объекты исследований

При выполнении работы в 2019–2020 гг. проведен отбор проб на трех птицефабриках – в Смолевичском, Пружанском и Дзержинском районах, на двух свинокомплексах (Гродненский и Браславский районы) и комплексе по откорму КРС (Браславский район). Дополнительно проанализированы также жидкие отходы животноводства, ранее отобранные при проведении маршрутных обследований на животноводческих комплексах (жидкий навоз КРС – в Дзержинском, Минском, Миорском, Узденском, Несвижском районах; стоки свиней – в Столбцовском, Брестском и Несвижском районах). В хозяйствах, где жидкий навоз КРС, птичий помет и стоки свиней отбирали неоднократно, принималось среднее значение по их химическому составу.

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – путем высушивания образцов до постоянной массы по ГОСТ 26713-85; органического вещества – по ГОСТ 27980-88; pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 27979-88; общего и аммонийного азота – методом Кьельдаля по ГОСТ 26715-85 и ГОСТ 26716-85; нитратного азота – ионометрическим методом согласно [10]; общего фосфора – фотометрическим методом по ГОСТ 26717-85; общего калия – пламенно-фотометрическим методом по ГОСТ 26718-85, кальция и магния – атомно-абсорбционным методом по ГОСТ 26570-95 и ГОСТ 30502-97 соответственно; содержание натрия определяли в водной вытяжке по ГОСТ 31869-2012, хлора – по ГОСТ 31867-2012. В отобранных пробах органических удобрений содержание тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре ISE3000 Series согласно «Методическим указаниям ...» [11].

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам анализа видно, что химический состав жидкого навоза КРС, навозных стоков свиней и птичьего помета изменяется в широких пределах, что зависит от возраста животных, типа их кормления и состава кормов, технологии навозоудаления, типа

и мощности комплекса, срока отбора проб и ряда других факторов (таблица 1).

Жидкий навоз КРС, поступающий на удобрение полей в исследуемых хозяйствах, имел влажность 92–96 % при содержании в 1 т: азота – 1,2–2,8 кг, P_2O_5 – 0,6–1,8 кг, K_2O – 0,7–2,8 кг, CaO – 0,3–1,4 кг, MgO – 0,2–0,6 кг, органического вещества – 34–70 кг; pH_{KCl} – на уровне 6,11–8,23 ед. С 1 т свиноводческих стоков при влажности 97–99 % и реакции среды 6,39–7,77 ед. в почву поступало 0,8–1,9 кг азота, 0,8–1,7 – P_2O_5 , 0,4–1,0 – K_2O , 0,3–0,6 – кальция, 0,2–0,4 – магния и 8–24 кг органического вещества.

Птичий помет в исследуемых хозяйствах по химическому составу, в отличие от жидких отходов животноводства, различался в меньшей степени: содержание общего азота колебалось в пределах 14,9–16,3 кг/т, P_2O_5 – 7,9–11,2 кг/т, K_2O – 4,3–5,3 кг/т, CaO – 10,7–12,3 кг/т, MgO – 1,7–2,0 кг/т, органического вещества – 211–250 кг/т при влажности 71–72 % и pH_{KCl} – 7,67–8,43 ед.

Согласно источникам [1–6, 12–18], в 1 т жидкого навоза КРС при влажности 92–95 % содержится: N – 1,7–4,5 кг, P_2O_5 – 0,7–2,5 кг, K_2O – 0,5–3,7 кг; в стоках свиней (влажность 97–99 %): N – 0,7–0,9 кг, P_2O_5 – 0,1–0,9 кг, K_2O – 0,2–1,3 кг; в птичьей помете (влажность 70–74 %): N – 11–19 кг, P_2O_5 – 3–20 кг, K_2O – 3–7 кг, что сопоставимо с полученными нами результатами, за исключением содержания азота и фосфора в стоках свиней, количество которых практически во всех отобранных нами пробах было значительно выше, что, по-видимому, обусловлено переводом свиней при кормлении в последние 20 лет полностью на концентрированные корма.

В целом отобранные в хозяйствах республики жидкий навоз КРС, стоки свиней и птичий помет, которые вносят на земли сельскохозяйственного назначения, по агрохимическим показателям соответствовали требованиям ГОСТ 33830-2016. Суммарное содержание NPK в жидком навозе КРС в исследуемых образцах в среднем составило 5,0 кг/т, стоках свиней – 3,4 кг/т, птичьей помете – 30 кг/т. При этом в жидком навозе КРС 48 % азота находилось в виде аммонийных соединений при варьировании в пределах 41–59 %, стоках свиней – 63 % (50–89 %), птичьей помете – 41 % (25–60 %), содержание

Таблица 1 – Химический состав жидкого навоза КРС, стоков свиней и птичьего помета (на естественную влажность)

Показатель	Жидкий навоз КРС	Навозные стоки свиней	Птичий помет
$N_{\text{общ.}}$, кг/т	1,2–2,8	0,8–1,9	14,9–16,3
$N_{\text{ам.}}$, кг/т	0,7–1,5	0,7–1,7	4,0–9,0
$N_{\text{нит.}}$, кг/т	0,005–0,04	0,004–0,005	0,05–0,28
P_2O_5 , кг/т	0,6–1,8	0,8–1,7	7,9–11,2
K_2O , кг/т	0,7–2,8	0,4–1,0	4,3–5,3
CaO , кг/т	0,3–1,4	0,3–0,6	10,7–12,3
MgO , кг/т	0,2–0,6	0,2–0,4	1,7–2,0
Органическое вещество, кг/т	34–70	8–24	211–250
Натрий, кг/т	0,2–0,8	0,06–0,12	0,4–0,7
Хлориды, кг/т	0,3–0,7	0,12–0,16	0,8–1,3
pH_{KCl}	6,11–8,23	6,39–7,77	7,67–8,43
Влажность, %	92–96	97–99	71–72

нитратов было довольно низким и составляло не более 0,3 % от общего азота.

По нашим данным, содержание натрия в 1 т жидкого навоза КРС при естественной влажности было в пределах 0,2–0,8 кг, свиных стоках – 0,06–0,12 кг, птичьим помете – 0,4–0,7 кг. При этом количество хлоридов в исследованных образцах составило 0,3–0,7 кг/т, 0,1–0,2 кг/т и 0,8–1,3 кг/т соответственно.

На основании данных по химическому составу жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета проведены расчеты по определению дозовой нагрузки биогенных элементов, натрия и хлоридов на дерново-подзолистые почвы в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик (таблица 2).

Установлено, что в зависимости от интенсивности внесения жидкого навоза КРС (от 100–200 до 900–1000 т/га) и его химического состава ежегодное поступление азота на 1 гектар почвы достигало 180–2407 кг, фосфора – 90–1170 кг, калия – 225–1971 кг, кальция – 45–713 кг, магния – 30–594 кг, органического вещества – 5,1–55,0 т/га. При нагрузке свиных стоков от 100–200 до 700–800 т/га в год на почвы в зоне влияния свино-комплексов вносится: N – 218–975 кг/га, P₂O₅ – 180–1250 кг/га, K₂O – 94–333 кг/га, CaO – 53–350 кг/га, MgO – 38–220 кг/га, органического вещества – 2,1–14,3 т/га. В хозяйствах с функционирующими птицефабриками при среднегодовой дозе внесения птичьего помета 17–60 т/га поступление азота в почвы составило 254–975 кг/га, фосфора – 134–669 кг/га, калия – 73–318 кг/га, кальция – 182–663 кг/га, магния – 29–105 кг/га и органического вещества на уровне 3,6–15,0 т/га.

Расчеты показали, что в зоне влияния комплексов по откорму КРС на почвы ежегодно поступало 29–743 кг/га натрия и 47–668 кг/га хлоридов. При регулярном внесении свиных стоков эти показатели были на уровне 13–44 и 25–91 кг/га соответственно. Наименьшей дозовой нагрузке по количеству поступившего натрия (7–39 кг/га) и хлоридов (13–79 кг/га) подвергались почвы, расположенные вблизи птицефабрик.

Специфика отходов животноводства и птицефабрик такова, что наряду с макроэлементами в них содержатся

тяжелые металлы. Следует отметить, что понятие «тяжелые металлы» довольно условно, поскольку в эту группу помимо действительно токсичных элементов (кадмия (Cd) и свинца (Pb)), входят эссенциальные, т. е. жизненно необходимые для растений элементы (Co, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe), которые в небольших количествах играют важную роль в протекании биохимических и физиологических процессов. При этом они могут быть токсичны, если присутствуют в значительных концентрациях, хотя их содержание в органических удобрениях не регламентируется (ПДК отсутствует).

В соответствии с требованиями ГОСТ 33830-2016 для удобрений органических на основе отходов животноводства, предельно допустимая концентрация (ПДК) валового содержания Pb – не более 130 мг/кг сухого вещества, Cd – 2 мг/кг. В обследуемых хозяйствах в жидком навозе КРС при естественной влажности кадмий либо не обнаружен, либо его концентрация не превышала 0,04 мг/кг. В стоках свиней данный показатель изменялся в пределах от 0,001 до 0,01 мг/кг. Концентрация Pb в этих удобрениях варьировала от 0,01 до 0,27 мг/кг. Среди исследуемых удобрений максимальные показатели по Cd (0,36–0,50 мг/кг) и Pb (0,95–3,50 мг/кг) отмечены в птичьем помете, тем не менее превышения установленных ПДК по этим элементам не обнаружено.

Химический анализ показал, что из тяжелых металлов во всех исследуемых удобрениях преобладали Fe, Zn, Mn и Cu (таблица 3).

В жидком навозе КРС содержание Fe находилось в пределах 81–221 мг/кг, Cu – 1,00–3,28 мг/кг, Zn – 2,80–37,1 мг/кг, Mn – 6,12–19,5 мг/кг, Ni – 0,14–1,34 мг/кг, Co – 0,04–0,11 мг/кг, Cr – 0,13–1,79 мг/кг. Свиные стоки характеризовались более низким содержанием Ni (0,14–0,32 мг/кг) и Cr (0,14–0,33 мг/кг) по сравнению с жидким навозом КРС и птичьим пометом, при этом содержание Cu (2,35–10,7 мг/кг) было выше, чем в жидком навозе КРС. По элементному составу при естественной влажности самым концентрированным являлся птичий помет: Fe – 185–463 мг/кг, Cu – 17,1–82,4 мг/кг, Zn – 151–162 мг/кг, Mn – 86–165 мг/кг, Ni – 1,88–5,31 мг/кг, Co – 0,70–1,69 мг/кг, Cr – 1,44–5,67 мг/кг.

Таблица 2 – Ежегодное поступление основных элементов питания, органического вещества, натрия и хлоридов в дерново-подзолистые почвы в зависимости от дозовой нагрузки жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета (при естественной влажности)

Вид ОУ	Нагрузка ОУ, т/га в год	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na	Хлориды	ОВ, т/га
		кг/га							
Жидкий навоз КРС	100–200	180–390	90–158	225–420	45–210	30–94	29–117	47–105	5,1–10,4
	200–300	633	263	519	188	156	196	176	14,5
	500–600	990	605	385	275	165	–	–	31,5
	600–700	1820	1170	1430	520	455	–	–	34,6
	900–1000	2407	998	1971	713	594	743	668	55,0
Навозные стоки свиней	100–200	218–259	180–191	94–143	53–75	38–45	13–18	25	2,1–2,3
	200–300	363–475	200–300	225–238	75–125	50–63	30	–	2,1–3,9
	300–400	455–508	420–583	140–333	163–175	82–88	21–42	42	5,4–6,7
	500–600	440–863	638–917	220–313	175–330	128–220	33–44	67–82	7,1–13,1
	700–800	975	1250	300	350	175	44	91	14,3
Птичий помет	≈17–20	254–325	134–223	73–106	182–221	29–35	7–13	13–26	3,6–5,0
	60	975	669	318	663	105	39	79	15,0

Примечание – ОУ – органическое удобрение, ОВ – органическое вещество.

Согласно источникам [13, 15, 19], содержание Zn в жидких органических удобрениях при естественной влажности составляет 5–94 мг/кг, Cu – 1,7–15 мг/кг, Co – 0,09–0,26 мг/кг, Cr – 0,02–0,13 мг/кг, Ni – 0,05–1,3 мг/кг, Cd – 0,002–0,02 мг/кг, Pb – 0,04–0,33 мг/кг, Mn – 17–24 мг/кг. В птичьем помете в расчете на влажность 70–74 % их содержание в 1 кг по Zn может достигать 2,9–192 мг, Cu – 1–25 мг, Co – 0,07–3,9 мг, Cr – 0,08–0,25 мг, Cd – 0,02–0,13 мг, Pb – 0,12–0,36 мг, Mn – 13–137 мг, Fe – 99–2700 мг [13]. Анализ показал, что пробы жидкого навоза КРС и свиных стоков, отобранные при проведении маршрутных обследований, имели более низкие показатели по кобальту и марганцу при повышенном содержании хрома; для птичьего помета характерна более высокая концентрация по Cu, Cr, Cd и Pb.

При агроэкологической оценке поступления тяжелых металлов в составе жидких отходов животноводства и птичьего помета в почвы важным моментом является не только их содержание в органических удобрениях, но и дозы внесения последних, поскольку постоянные сверхвысокие дозы применения на одни и те же поля могут привести к накоплению в почве этих элементов выше установленных ПДК и ОДК. Данные, представленные в таблице 4, показывают, что наиболее низкий уровень поступления в почвы в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик характерен для Cd, Pb, Ni и Co. Установлено, что на 1 гектар почвы ежегодно поступало не более 38 г кадмия, 2,0–257 г свинца, 21–737 г никеля, 6–138 г кобальта. Среднегодовой приход Cr в почвы при утилизации стоков

свиней на близлежащие поля составил 38–245 г/га, жидкого навоза КРС – 20–985 г/га, птичьего помета – 24–116 г/га. Значительно более высокий уровень поступления в почвы под воздействием жидких отходов животноводства и птичьего помета характерен для Fe, Zn, Mn и Cu. Так, применение жидкого навоза КРС в дозах от 100–200 до 900–1000 т/га обеспечивало ежегодное поступление в почвы Fe – 12–161 кг/га, Zn – 0,4–20 кг/га, Mn – 0,9–14 кг/га, Cu – 0,2–2,1 кг/га. В почвах, находящиеся в зоне влияния свинокомплексов, при нагрузке стоков свиней от 100–200 до 700–800 т/га поступало в год Fe на уровне 10–119 кг/га, Zn – 1,6–19 кг/га, Mn – 1,1–8,1 кг/га, Cu – 0,4–6,9 кг/га. На фоне внесения птичьего помета среднегодовой приход Fe находился в пределах 4–11 кг/га, Zn – 2,6–9,5 кг/га, Mn – 1,5–7,7 кг/га, Cu – 0,3–1,7 кг/га.

Проведенные нами исследования показали, что регулярные нагрузки жидкого навоза КРС в дозах от 100–200 до 900–1000 т/га и стоков свиней от 300–400 до 700–800 т/га на протяжении 20–30 лет практически не влияли на содержание Cd, Pb, Ni, Co и Cr в дерново-подзолистых почвах, что, по-видимому, обусловлено довольно низким их содержанием в используемых удобрениях. Концентрация подвижных форм Fe при этом увеличилась на 13–199 %, Cu – на 11–229, Zn – на 21–547, Mn – на 16–175 %. Тем не менее, превышения ПДК подвижных форм тяжелых металлов в почвах в зоне влияния животноводческих комплексов не установлено (полученные показатели были значительно ниже гигиенических нормативов ГН 2.1.7.12-1-2004 [20, 21]. В то

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в жидком навозе КРС, свиных стоках и птичьем помете

Вид ОУ	Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr
	мг/кг (на естественную влажность)						
Жидкий навоз КРС	81–221	1,00–3,28	2,80–37,1	6,12–19,5	0,14–1,34	0,04–0,11	0,13–1,79
Навозные стоки свиней	55–171	2,35–10,7	10,0–39,0	4,41–10,8	0,14–0,32	0,04–0,14	0,14–0,33
Птичий помет	185–463	17,1–82,4	151–162	86–165	1,88–5,31	0,70–1,69	1,44–5,67

Примечание – ОУ – органическое удобрение.

Таблица 4 – Ежегодное поступление тяжелых металлов в дерново-подзолистые почвы в зависимости от дозовой нагрузки жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета

Вид ОУ	Нагрузка ОУ, т/га в год	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
		кг/га					г/га			
Жидкий навоз КРС	100–200	12–25	0,2–0,3	0,4–1,0	0,9–2,2	>0–6	2–41	21–81	6–22	20–113
	200–300	42	0,4	1,6	3,6	10	68	135	36	189
	500–600	122	0,7	20	5,7	>0	88	737	61	985
	600–700	108	2,1	17	13	>0	176	403	104	566
	900–1000	161	1,7	6,1	14	38	257	513	138	717
Навозные стоки свиней	100–200	10–18	0,4–1,6	1,6–5,8	1,3	0,2–2	6–21	32–48	15–21	38–42
	200–300	14–31	0,6–2,0	2,5–2,7	1,1–2,2	0,3	8–10	35–53	10–25	60–63
	300–400	43–55	0,8–3,2	3,7–8,9	3,1–3,8	0,4–4	14–43	74–106	35–50	88–114
	500–600	33–94	4,2–5,3	9,0–19	4,4–5,9	4–6	11–70	121–167	50–79	77–180
	700–800	119	6,9	19	8,1	9	93	228	108	245
Птичий помет	≈17–20	4–8	0,3–1,4	2,6–3,2	1,5–2,8	6–10	16–60	32–90	12–29	24–96
	60	11	1,7	9,5	7,7	29	77	215	85	116

Примечание – ОУ – органическое удобрение.

же время при нагрузках этих удобрений от 500–600 до 900–1000 т/га количество Сu достигало 0,07–0,34 ПДК, Zn – 0,10–0,31, Mn – 0,13–0,44 ПДК против 0,02–0,12; 0,04–0,07 и 0,10–0,19 ПДК соответственно в почвах без нагрузок.

Для оценки возможного совокупного действия тяжелых металлов на дерново-подзолистые почвы, расположенные вблизи животноводческих комплексов, нами был рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c), отражающий общий уровень полиэлементного загрязнения. По суммарному показателю загрязнения тяжелыми металлами исследуемые почвы, независимо от дозовой нагрузки жидких отходов животноводства, характеризовались допустимым уровнем загрязнения ($Z_c < 16$). При этом отмечена четко выраженная тенденция увеличения данного показателя по мере увеличения нагрузки жидкого навоза КРС и стоков свиней на почвы. Так, при ежегодном их внесении в дозах не более 300–400 т/га величина Z_c не превышала 3 ед., 500–600 т/га – 4,1–8,8 ед., максимальные значения (11,2–12,0 ед.) получены при дозе стоков свиней 700–800 т/га и жидкого навоза КРС 900–1000 т/га. Таким образом, наблюдаемый негативный эффект повышения подвижности тяжелых металлов (в частности Zn, Cu, Mn, Fe) 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 данных поллютантов в почвах, увеличивая вероятность загрязнения ими сельскохозяйственной продукции.

Выводы

1. По содержанию биогенных элементов жидкие отходы животноводства и птичий помет обследованных хозяйств Республики Беларусь соответствуют требованиям нормативной документации, превышения установленных нормативов по Cd и Pb не обнаружено.
2. В зависимости от химического состава и дозовой нагрузки жидких органических удобрений на основе отходов производства на 1 га почвы ежегодно поступает, в среднем, азота – 180–2407 кг, P_2O_5 – 90–1250 кг, K_2O – 73–1971 кг, CaO – 45–713 кг, MgO – 29–594 кг, органического вещества – 2,1–55,0 т. Количество внесенного натрия варьирует в пределах 7–743 кг/га, хлоридов – 13–668, Fe – 4–161, Zn – 0,4–20, Mn – 0,9–14, Cu – 0,2–6,9 кг/га, Ni – 21–737 г/га, Co – 6–138, Cr – 20–985, Cd и Pb – не более 38 и 257 г/га соответственно.
3. Агроэкологическое состояние почв по суммарному показателю загрязнения (Z_c – 4,1–12,0 ед.) характеризуется допустимым уровнем загрязнения подвижными формами тяжелых металлов ($Z_c < 16$). Наблюдаемые негативные тенденции увеличения Z_c указывают на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз этих органических удобрений на ограниченной территории.

Литература

1. Дозы и сроки внесения бесподстилочного навоза: метод. рекомендации / ВИУА; сост.: Г. Е. Мерзлая [и др.]. – М.: ВИУА, 1990. – 23 с.
2. Агрономические рекомендации по подготовке и использованию бесподстилочного навоза для удобрения: рекомендации / ВИУА; сост.: Н. С. Авдонин [и др.]. – М.: ВИУА, – 42 с.

3. Тиво, П. Ф. Эффективное использование бесподстилочного навоза / П. Ф. Тиво, С. Г. Дробот. – Минск: Ураджай, 1988. – 166 с.
4. Использование жидкого навоза и навозных стоков животноводческих комплексов при внесении их мобильным транспортом с организацией природоохранных мероприятий: временные указания / сост.: В. А. Тикавый [и др.]. – Минск, 1989. – 31 с.
5. Применение птичьего помета на удобрение: рекомендации / БелНИИЗ, сост.: М. П. Шкель [и др.]. – Жодино, 1982. – 28 с.
6. Саскевич, Л. А. Химический состав животноводческих стоков и их ирригационная оценка / Л. А. Саскевич // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. / БелНИИЗ; отв. ред.: А. П. Лихачевич. – Минск, 2001. – Т. XLVIII. – С. 257–269.
7. Тютюнов, С. И. Использование свиных стоков в качестве органических удобрений / С. И. Тютюнов, В. Д. Соловиченко, Е. В. Навольнева // Междунар. науч.-исслед. журнал. – 2015. – № 10 (41). – Ч. 3. – С. 76–79.
8. Демидов, А. Л. Воздействие навозосодержащих отходов животноводческих объектов Республики Беларусь на почвенный покров / А. Л. Демидов, В. В. Мажинская, И. В. Жигунова // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. по материалам III Междунар. науч. экологич. конф. / КубГАУ; под ред.: И. С. Белюченко. – Краснодар, 2013. – С. 20–25.
9. Степанова, Л. П. Экологическая оценка влияния использования навозных стоков КРС на состояние окружающей среды / Л. П. Степанова, Е. Н. Цыганок, Е. А. Коренькова // Вестник РУДН. – 2012. – № 2. – С. 79–85.
10. Еськова, Л. И. Методы анализа органических удобрений / Л. И. Еськова, С. И. Тарасов. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2003. – 552 с.
11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства: методические указания: изд. 2-е, перераб. и дополненное / А. В. Кузнецов [и др.]; редкол.: А. М. Артюшин [и др.]. – М.: Мин-во сел. хоз-ва РФ, ЦИНАО, 1992. – 61 с.
12. Тиво, П. Ф. Подкормка многолетних трав бесподстилочным навозом / П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич // НТИ и рынок. – 1996. – № 4. – С. 33–35.
13. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстилочного навоза / Г. Е. Мерзлая [и др.]. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2006. – 463 с.
14. Голченко, М. Г. Орошение сточными водами: учеб. пособие / М. Г. Голченко, В. И. Желязко // БГСХА. – Горки: БГСХА, 2008. – 96 с.
15. Использование сточных вод животноводческих комплексов на орошение с учетом охраны окружающей среды: обзорная информация / Ю. И. Ворошилов [и др.] // ВНИИТЭИСХ. – М., 1984. – 60 с.
16. Применение птичьего помета на удобрение в хозяйствах БССР: рекомендации / БелНИИЗ. – Минск, 1984. – 24 с.
17. Рекомендации по применению птичьего помета на удобрение: рекомендации / ВНИПТИОУ; под общ. ред. П. Д. Попова. – Владимир, 1986. – 32 с.
18. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помета / А. И. Иванов [и др.]; под общ. ред. А. И. Иванова, В. В. Лапы. – СПб: АльфаМиг, 2018. – 317 с.
19. Лукин, С. В. Агроэкологическая оценка влияния органических удобрений на микроэлементный состав почв / С. В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 61–65.
20. 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: Минздрав Респ. Беларусь, 2004. – 29 с.
21. 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.
22. Гигиеническая оценка почвы населенных мест: Инструкция 2.1.7.11–12–5–2004: сб. нормативных документов по гигиенической оценке почв населенных мест. – Минск: Минздрав Респ. Беларусь, 2004. – С. 3–38.