

EFFICIENCY OF PEA CULTIVATION AT DIFFERENT LEVELS OF MAGNESIUM SUPPLY OF LUVISOL LOAMY SOIL

I. S. Stanilevich, I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin

Summary

The evaluation of the efficiency of mineral fertilizers at the cultivation of pea on sod-podzolic loamy soil with different content of exchangeable magnesium in the soil was carried out. It was found on control plots without fertilizers the yield was increased on 26 % in the range of Mg content 46–147 mg/kg of soil. Further increase of Mg content in soil up to 198 mg/kg was excessive; it followed by reduction of grain yield on 3,5 %. The crude protein content in the pea grain was positively influenced by fertilizers as well as by the increasing levels of soil magnesium supply. Maximal yield response 1,88–1,94 t/ha to basic NPK treatment and response to foliar spray of Mg fertilizer with 60 kg S was noted on low content of exchangeable Mg 46–50 mg/kg in soil with total net return of 157,2–162,6 USD/ha with a profitability of 101,5–101,9 %. Efficiency of NPK and Mg fertilizer treatments were strongly reduced on the plots with high level of Mg soil supply.

Поступила 22.04.19

УДК 631.416.8:631.445.24

МИГРАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ПРОФИЛЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ РЕГУЛЯРНЫХ НАГРУЗОК ЖИДКИХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Ю. А. Белявская, Т. М. Кирдун,
М. М. Торчило

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

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение в сельское хозяйство индустриальных методов сельскохозяйственного производства позволило в полной мере обеспечить потребность современного общества в мясо-молочной продукции. Однако перевод животноводства на промышленную основу привел к возникновению ряда проблем, что обусловлено размещением большого поголовья на небольших площадях и, как следствие, образованием значительных объемов жидких органических отходов. Основной способ их утилизации – внесение на земли сельскохозяйственного назначения под различные сельскохозяйственные культуры. Целесообразность использования жидких отходов животноводства в качестве органических удобрений в рекоменду-

емых дозах не вызывает сомнения, поскольку они, являясь источником макро- и микроэлементов, оказывают благоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур [1–8]. В тоже время животноводческие комплексы нередко имеют ограниченную земельную площадь, а невыгодность перевозок жидких отходов животноводства на дальние расстояния приводит их к бессистемному внесению в очень высоких дозах на близлежащие поля. В результате нагрузка этих отходов на 1 га пахотных земель в отдельных сельскохозяйственных организациях составляет 600 т и более. Одним из следствий применения их в необоснованно высоких дозах на ограниченной территории может быть не только избыточное накопление макроэлементов в пахотном слое почвы, но и увеличение содержания тяжелых металлов (ТМ) [9–18].

Большая часть тяжелых металлов, поступивших в почву, закрепляется в верхнем, наиболее гумусированном слое. При этом они, включаясь в существующие миграционные циклы, связываются гумусовыми веществами с образованием как нерастворимых органоминеральных соединений, так и подвижных соединений, которые, мигрируя по почвенному профилю, могут создавать техногенные геохимические аномалии. Кроме того, повышается риск загрязнения тяжелыми металлами грунтовых и поверхностных вод, что может привести к ухудшению экологической ситуации в зоне их воздействия.

К настоящему времени опубликовано большое количество научных работ, освещающих закономерности распределения тяжелых металлов по профилю основных типов почв, а также особенности их миграции под действием различной степени антропогенной нагрузки [19–31]. Проведены научные исследования в нашей стране и за рубежом по изучению влияния жидких отходов животноводства на содержание ТМ в водных объектах при их утилизации на земли сельскохозяйственного назначения [15, 17, 32]. Что касается внутрипрофильного распределения этих элементов в почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов, то в последние годы исследования в нашей республике в этом направлении не проводились.

На сегодняшний день в Республике Беларусь функционирует 198 животноводческих комплексов, в том числе 78 комплексов по откорму крупного рогатого скота и 120 свинокомплексов. Общая численность поголовья крупного рогатого скота на выращивании и откорме в сельскохозяйственных организациях составляет 4188,1 тыс., свиней – 2734,5 тыс. голов [33]. При существующем поголовье скота ежегодно в организациях агропромышленного комплекса накапливается более 12 млн т экскрементов, при смывании которых технологической водой, в зависимости от ее количества, образуется жидкий навоз и навозные стоки. Отсутствие данных по изменению содержания ТМ в генетических горизонтах дерново-подзолистых почв, на которые в течение длительного времени вносили жидкие отходы животноводства, актуализировало проведение наших исследований.

Цель исследований – установить влияние систематических нагрузок жидкого навоза крупного рогатого скота и свиных навозных стоков на миграцию подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для установления миграции подвижных форм тяжелых металлов по профилю дерново-подзолистых почв заложены разрезы на пахотных землях в ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовского района Минской области на супесчаной почве и в ОАО «АгроВидзы» Браславского района Витебской области на песчаной и суглинистой почвах:

Почва	Горизонт	Описание профиля
Разрез 1, почва: дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связных водно-ледниковых песках, сменяемых с глубины около 0,4 м рыхлыми гравийно-хрящеватыми песками (без нагрузки – контроль к разрезу 2)	$A_{\text{пах}}$ 0–18	– пахотный горизонт, песок связный, светло-серого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, слабо уплотненный, свежий, корни растений, переход заметный;
	A_1 18–37	– гумусово-аккумулятивный горизонт, песок связный, буровато-серого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, уплотненный, свежий, корни растений, переход заметный;
	A_2B_1 37–63	– элювиально-иллювиальный горизонт, песок рыхлый, грязно-желтого цвета, бесструктурный, свежий, редко корни растений, переход постепенный;
	B_1 63–80	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый, желтовато-бурого цвета, бесструктурный, свежий, переход постепенный;
	B_2 80–107	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый гравийно-хрящеватый, бурого цвета, бесструктурный, включения валунов.
Разрез 2, почва: дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связных мореных песках, сменяемых с глубины около 0,4 м рыхлыми гравийно-хрящеватыми песками (жидкий навоз крупного рогатого скота 100–200 т/га в год)	$A_{\text{пах}}$ 0–23	– пахотный горизонт, песок связный гравийно-хрящеватый, серовато-бурого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, сухой, корни растений, переход постепенный;
	A_1 23–38	– гумусово-аккумулятивный горизонт, песок связный, грязно-бурого цвета, непрочной мелкокомковато-зернистой структуры, свежий, корни растений, переход заметный;
	A_2B_1 38–58	– элювиально-иллювиальный горизонт, песок рыхлый, желтовато-бурого цвета, бесструктурный, свежий, редко корни растений, переход постепенный;

	B_2 58–98	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый гра- вийно-хрящеватый, бурого цвета, бесструк- турный, включения валунов.
Разрез 3, почва: дерново-подзолистая слабоглееватая сугли- нистая, развивающаяся на легком пылевато-пес- чанистом суглинке, сме- няемом с глубины 0,6 м песком (без нагрузки – контроль к разрезу 4)	$A_{\text{пах}}$ 0–21	– пахотный горизонт, суглинок легкий, мел- кокомковатой структуры, свежий, густо про- низан корнями растений, переход постепен- ный;
	A_1 21–38	– гумусово-аккумулятивный горизонт, суглинок легкий, мелкокомковатой структуры, свежий, корни растений, переход ясный;
	A_{2g} 38–60	– элювиальный горизонт, супесь связная, бес- структурный, свежий, редко корни растений, переход неровный с затеками;
	A_2B_{1g} 60–84	– элювиально-иллювиальный горизонт, песок рыхлый, бесструктурный, влажный, железис- тые новообразования, переход постепенный;
	B_{2g} 84–102	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый, бес- структурный, влажный, железистые новообра- зования и сизые пятна оглеения;
Разрез 4, почва: дерново-подзолистая слабоглееватая сугли- нистая, развивающаяся на легком пылевато-пес- чанистом суглинке, сме- няемом с глубины 0,6 м песком (жидкий навоз крупного рогатого скота 900–1000 т/га в год)	$A_{\text{пах}}$ 0–24	– пахотный горизонт, суглинок легкий, мел- кокомковатой структуры, свежий, густо про- низан корнями растений, переход постепен- ный;
	A_1 24–43	– гумусово-аккумулятивный горизонт, суглинок легкий, мелкокомковатой структуры, свежий, корни растений, переход неровный;
	A_{2g} 43–63	– элювиальный горизонт, супесь связная, бес- структурный, свежий, редко корни растений, переход неровный с затеками;
	A_2B_{1g} 63–79	– элювиально-иллювиальный горизонт, пе- сок рыхлый, бесструктурный, влажный, же- лезистые новообразования, переход посте- пенный;
	B_{2g} 79–105	– иллювиальный горизонт, песок рыхлый, бес- структурный, влажный, железистые новообра- зования и сизые пятна оглеения.

Разрез 5, почва: дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной песчанисто-пылеватой супеси, сменяемой с глубины 0,8 м песком (без нагрузки – контроль к разрезу 6)



$\frac{A_{\text{пах}}}{0-18}$	– пахотный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, свежий, пронизан корнями растений, переход постепенный;
$\frac{A_1}{18-35}$	– гумусово-аккумулятивный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, свежий, корни растений, переход ясный;
$\frac{A_2}{35-55}$	– элювиальный горизонт, супесь рыхлая, желтовато-серого цвета, бесструктурный, свежий, переход заметный;
$\frac{B_1}{55-81}$	– иллювиальный горизонт, супесь рыхлая, буроватого цвета, бесструктурный, влажный, переход постепенный;
$\frac{B_2C}{81-100}$	– переходный к почвообразующей породе горизонт, песок связный, бесструктурный, влажный.

Разрез 6, почва: дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на связной песчанисто-пылеватой супеси, подстилаемой легким моренным суглинком с прослойкой песка на контакте (свиные навозные стоки 500–600 т/га в год)



$\frac{A_{\text{пах}}}{0-21}$	– пахотный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, свежий, пронизан корнями растений, переход постепенный;
$\frac{A_1}{21-39}$	– гумусово-аккумулятивный горизонт, супесь связная, песчанисто-пылеватая, мелкокомковатой структуры, корни растений, свежий, переход резкий;
$\frac{A_2}{39-60}$	– элювиальный горизонт, супесь рыхлая, желтовато-серого цвета, бесструктурный, свежий, переход постепенный;
$\frac{B_1}{60-85}$	– иллювиальный горизонт, песок связный, бесструктурный, влажный, переход ясный с затеками;
$\frac{B_2}{85-110}$	– иллювиальный горизонт, легкий размытый моренный суглинок, влажный.

Почвенные образцы отбирали по генетическим горизонтам в 5 точках по стенке разреза. В ОАО «АгроВидзы» на дерново-подзолистой песчаной почве применяли севообороты с большим удельным весом зерновых культур, на суглинистой – в течение длительного времени возделывали кукурузу в монокультуре. В ОАО «Вишневецкий-Агро» в последние годы использовали севообороты с преобладанием пропашных культур (сахарная свекла, кукуруза).

На всех сельскохозяйственных землях для отбора почвенных образцов без нагрузки жидких отходов животноводства и при их внесении выбирали участки, расположенные, по возможности, недалеко друг от друга, в сходных условиях рельефа и в пределах той же почвенной видности.

В отобранных почвенных пробах содержание подвижных форм ТМ определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре ICE 3000 Series (согласно [34]) из вытяжки ацетатно-аммонийного буфера (ААБ, рН 4,8).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных показал, что в дерново-подзолистой песчаной почве без нагрузок внутрипрофильное распределение подвижных форм ТМ характеризуется неоднородностью. Максимальное их количество сосредоточено в горизонте $A_{\text{пах}}$: Cu – 0,13 мг/кг, Zn – 1,22 мг/кг, Mn – 10,92 мг/кг (табл., рис. 1). При этом биогенная аккумуляция подвижных форм Cu в этой почве слабо выражена, вглубь по профилю распределение их по горизонтам относительно равномерное (0,10–0,12 мг/кг) при незначительном увеличении содержания в нижней части профиля.

Таблица

Содержание подвижных форм тяжелых металлов (ААБ, рН 4,8) в генетических горизонтах дерново-подзолистых почв под влиянием 26-летнего применения жидких отходов животноводства

Дерново-подзолистая почва	Горизонт	Cu	Zn	Mn
		мг/кг		
ОАО «АгроВидзы» Браславского района				
Разрез 1: песчаная (без на- грузки – контроль к разрезу 2)	A _{пах}	0,13	1,22	10,92
	A ₁	0,11	0,93	5,02
	A ₂ B ₁	0,10	0,68	4,85
	B ₁	0,11	0,52	3,54
	B ₂	0,12	0,50	3,50
Разрез 2: песчаная (жидкий навоз крупного рогатого скота 100–200 т/га в год)	A _{пах}	0,15	1,58	15,30
	A ₁	0,14	1,39	6,51
	A ₂ B ₁	0,11	0,76	5,14
	B ₂	0,13	0,72	3,89
		0,14	0,62	4,13

Окончание таблицы

Дерново-подзолистая почва	Горизонт	Cu	Zn	Mn
		мг/кг		
ОАО «Вишневецкий-Агро» Столбцовского района				
Разрез 5: супесчаная (без нагрузки – контроль к разрезу 6)	A _{пах}	0,18	1,02	10,27
	A ₁	0,12	0,83	5,62
	A ₂	0,10	0,58	2,60
	B ₁	0,12	0,74	2,94
	B ₂ C	0,13	0,87	1,88
Разрез 6: супесчаная (свиные навозные стоки 500–600 т/га в год)	A _{пах}	0,36	3,05	16,41
	A ₁	0,21	2,65	7,83
	A ₂	0,13	0,81	3,25
	B ₁	0,16	1,08	3,72
	B ₂	0,21	1,72	3,48
ОАО «АгроВидзы» Браславского района				
Разрез 3: суглинистая (без нагрузки – контроль к разрезу 4)	A _{пах}	0,16	1,32	12,70
	A ₁	0,09	1,02	6,83
	A _{2g}	0,08	0,53	4,28
	A ₂ B _{1g}	0,11	0,70	4,17
	B _{2g}	0,13	0,70	4,98
Разрез 4: суглинистая (жидкий навоз крупного рогатого скота 900–1000 т/га в год)	A _{пах}	0,48	5,95	33,24
	A ₁	0,25	5,24	11,32
	A _{2g}	0,12	0,95	5,78
	A ₂ B _{1g}	0,17	1,54	5,70
	B _{2g}	0,23	2,36	7,13

Для подвижных соединений Zn отличительным признаком является постепенно убывающий характер накопления вглубь по профилю почвы (от 0,93 мг/кг в горизонте A₁ до 0,50 мг/кг в горизонте B₂). В отличие от Cu и Zn для подвижных форм Mn отмечен ярко выраженный максимум в горизонте A_{пах} и резкое снижение при переходе к горизонту A₁; разница между ними составила более чем 2 раза (10,92 мг/кг против 5,02 мг/кг). С глубины около 40 см содержание подвижных форм Mn последовательно уменьшалось в профиле песчаной почвы до 3,50 мг/кг в горизонте B₂.

Ежегодное внесение жидкого навоза КРС в дозе 100–200 т/га в течение 26 лет на дерново-подзолистую песчаную почву привело к увеличению содержания подвижных форм изучаемых ТМ по всему профилю при сохранении распределения по генетическим горизонтам по аналогии с почвой без нагрузки.

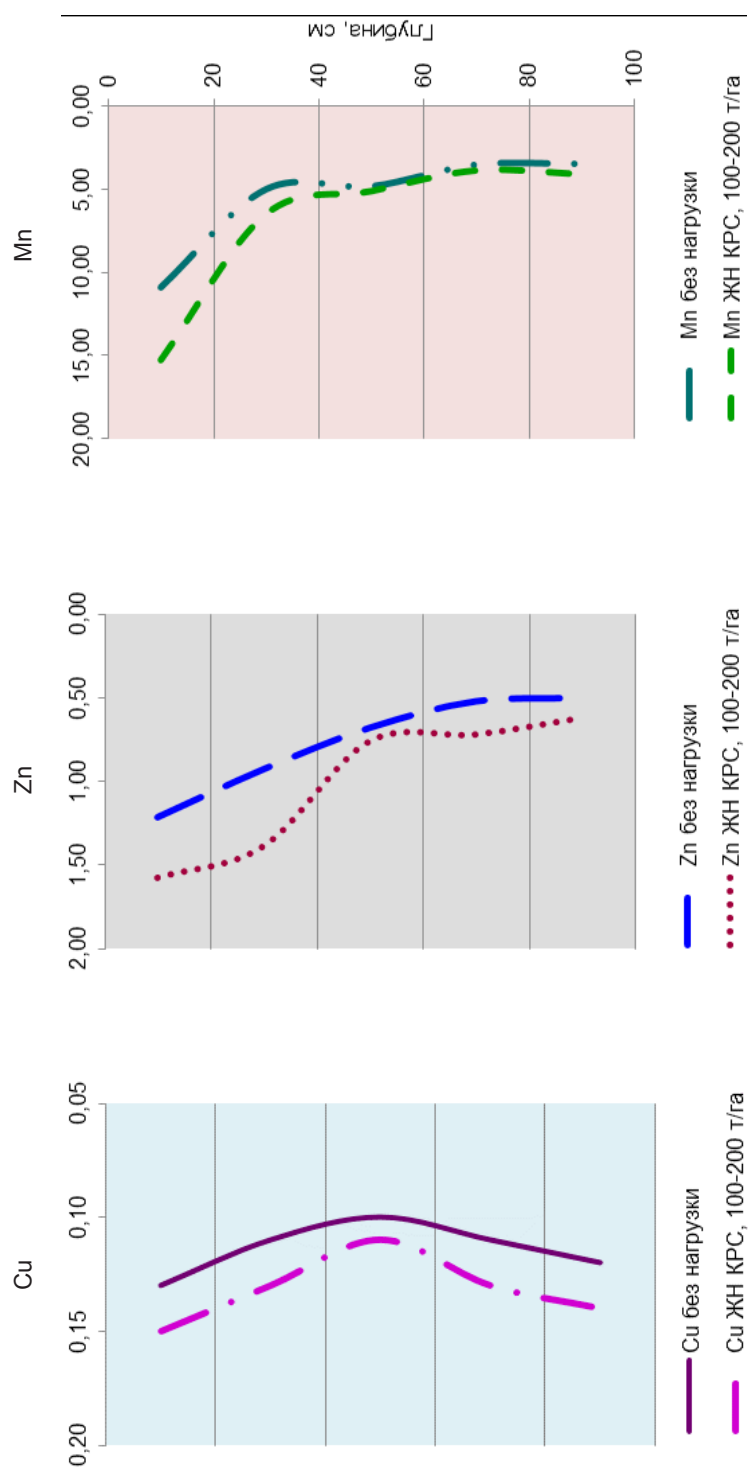


Рис. 1. Распределение подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой песчаной почвы при нагрузке жидкого навоза крупного рогатого скота 100–200 т/га (ОАО «АгроВидзы»), мг/кг почвы

Наиболее высокий уровень аккумуляции ТМ (Cu – 0,15 мг/кг, Zn – 1,58 мг/кг, Mn – 15,30 мг/кг) приурочен к горизонту $A_{\text{пах}}$; прирост для Cu составил 15 %, Zn – 30 %, Mn – 40 % (рис. 2).

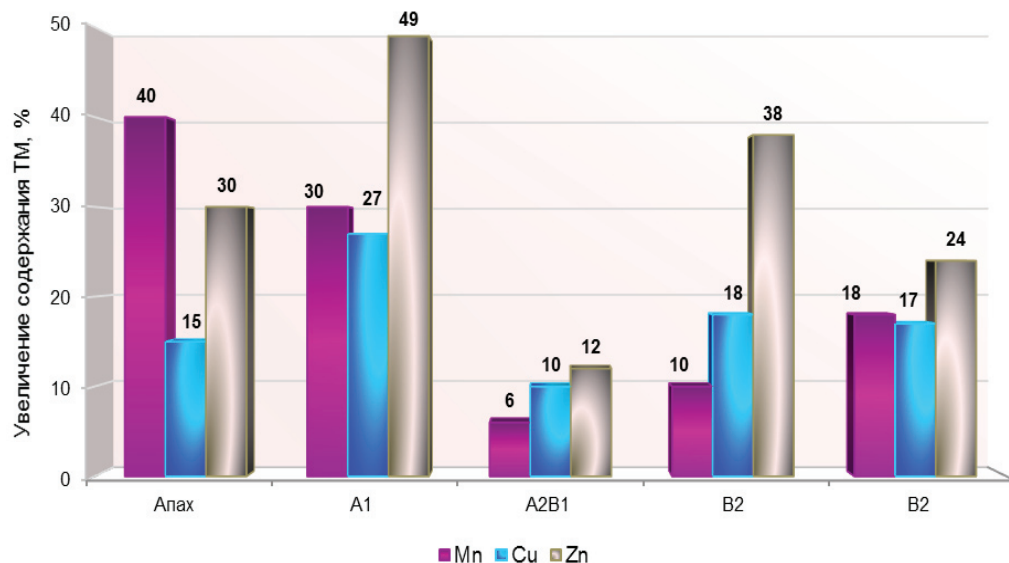


Рис. 2. Прирост содержания подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой песчаной почвы под влиянием нагрузки жидкого навоза крупного рогатого скота 100–200 т/га на протяжении 26 лет, %

Отмечено заметное увеличение количества подвижных форм изучаемых ТМ в гумусово-аккумулятивном горизонте A_1 , в котором превышение по Cu относительно почвы, где жидкий навоз не вносили, составило 27 %, Zn – 49 %, Mn – 30 %. Несмотря на то что распределение их подвижных форм по горизонтам песчаной почвы характеризовалось своими особенностями, под воздействием жидкого навоза КРС из расчета 100–200 т/га минимум накопления (+6–12 %) получен в элювиально-иллювиальном горизонте A_2B_1 при более высоких показателях прироста в горизонте B_2 (Cu – 17–18 %, Zn – 24–38 %, Mn – 10–18 %), что свидетельствовало о достаточно интенсивной миграции в нижележащие горизонты.

В распределении подвижных соединений ТМ по генетическим горизонтам супесчаной и суглинистой почв без нагрузок в сравнении с таковыми в песчаной почве наряду с общими признаками имеются некоторые отличия: прослеживается более четкая аккумуляция в горизонте $A_{\text{пах}}$, обедненность элювиальных горизонтов и некоторое обогащение иллювиальных, т.е. для них характерно наличие двух максимумов накопления. Первый максимум приходится на горизонт $A_{\text{пах}}$, в котором Cu (0,16–0,18 мг/кг), Zn (1,02–1,32 мг/кг) и Mn (10,27–12,70 мг/кг) аккумулировались в наибольшей степени (табл. 1, рис. 3, 4).

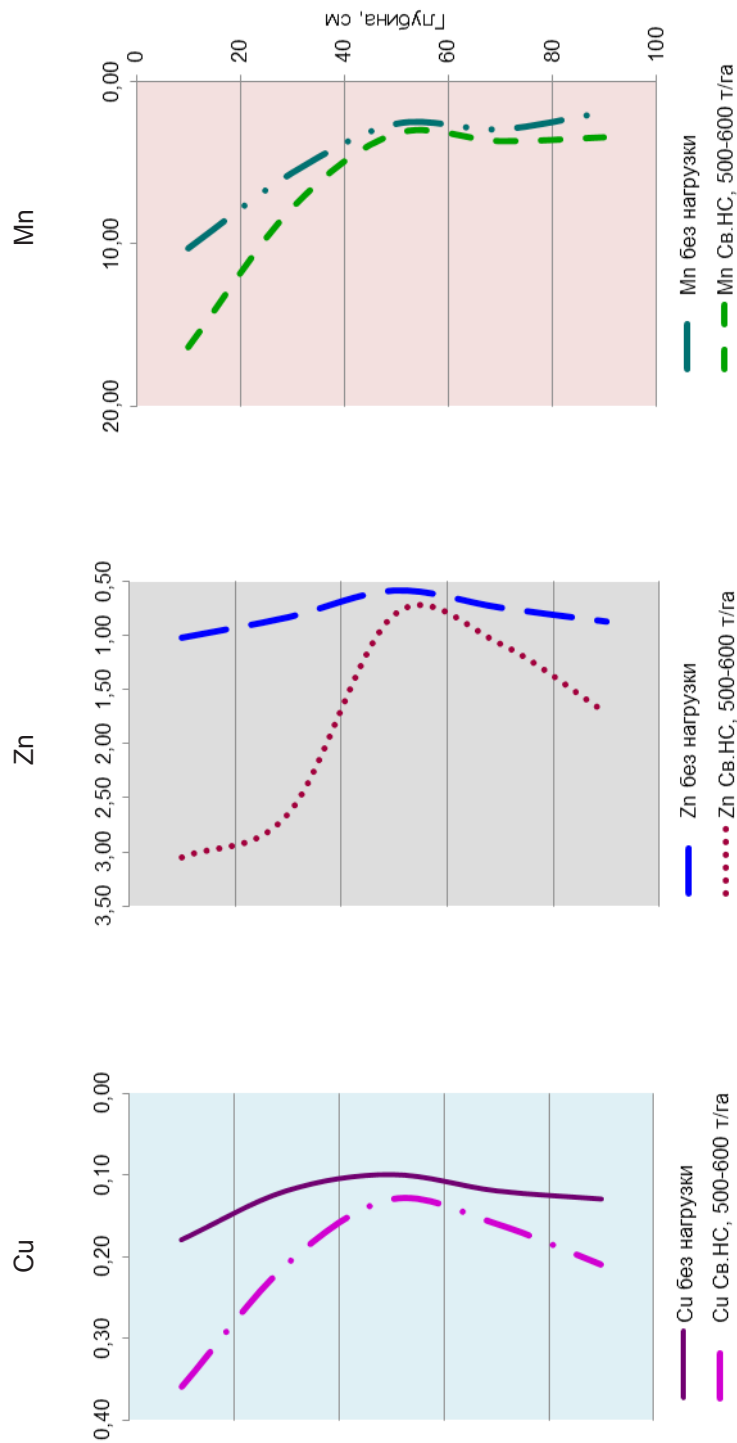


Рис. 3. Распределение подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой супесчаной почвы при нагрузке свиных навозных стоков 500–600 т/га (ОАО «Вишневецкий-Агро»), мг/кг почвы

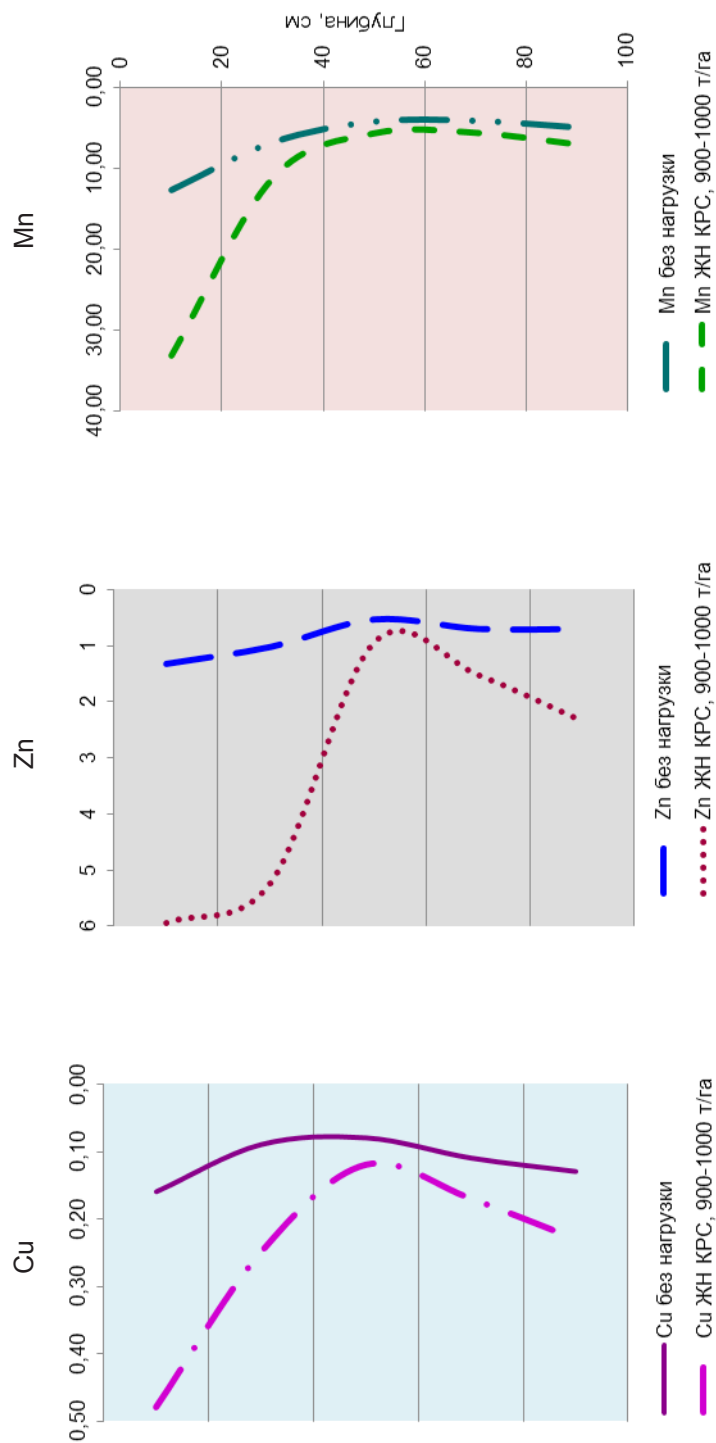


Рис. 4. Распределение подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой суглинистой почвы при нагрузке жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га (ОАО «АгроВидзы»), мг/кг почвы

Второй максимум приходится на иллювиальный горизонт, что обусловлено миграцией тяжелых металлов из верхних горизонтов в нижележащие с нисходящими токами влаги. В супесчаной почве в горизонте B_1 содержание подвижных соединений Cu составило 0,12 мг/кг, Zn – 0,74 мг/кг, Mn – 2,94 мг/кг; в суглинистой в горизонте B_{2g} – 0,13, 0,70 и 4,98 мг/кг соответственно. Элювиальный горизонт этих почв содержал минимальное количество подвижных форм изучаемых ТМ (Cu – 0,08–0,10 мг/кг, Zn – 0,53–0,58 мг/кг, Mn – 2,60–4,28 мг/кг).

При наличии общих тенденций в распределении подвижных соединений ТМ по генетическим горизонтам с почвами без нагрузок длительная утилизации жидких отходов животноводства на супесчаную и суглинистую почвы способствовала появлению более ярко выраженных максимумов их накопления и элювиально-иллювиальной дифференциации почвенных профилей. Под воздействием свиных навозных стоков в дозе 500–600 т/га в течение 26 лет аккумуляция подвижных форм Cu в горизонте $A_{\text{пах}}$ супесчаной почвы достигла 0,36 мг/кг, Zn – 3,05 мг/кг, Mn – 16,41 мг/кг, что превышало аналогичные показатели, где удобрения не вносили: на 100 %, 199 и 60 % соответственно (рис. 5).

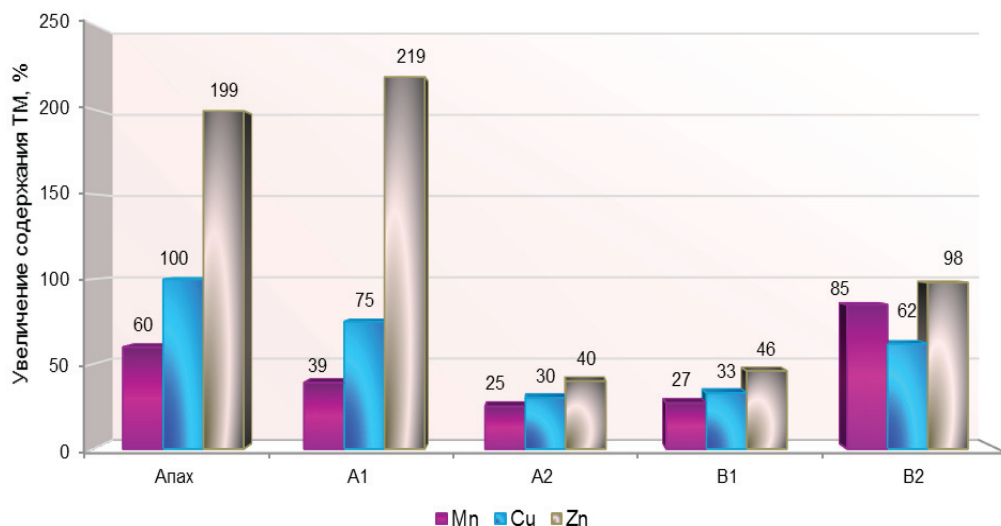


Рис. 5. Прирост содержания подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием нагрузки свиных навозных стоков 500–600 т/га на протяжении 26 лет, %

В ОАО «АгроВидзы» при дозовой нагрузке жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га на суглинистую почву уровень содержания подвижных соединений Cu был на 200 % выше, чем в почве без нагрузки; Zn – на 351 %, марганца – на 162 % (рис. 6).

Довольно значительное накопление этих элементов отмечено также для горизонта A_1 : в супесчаной почве прирост по Cu составил 75 %, Zn – 219 %, Mn – 39 %; в суглинистой – 178 %, 414 и 66 % соответственно. В элювиальном горизонте супесчаной и суглинистой почв отмечено весьма резкое снижение аккумуляции изучаемых элементов, однако уровень их содержания был выше относительно почв без нагрузок (Cu – на 30–50 %, Zn – на 40–79 %, Mn – на 25–35 %).

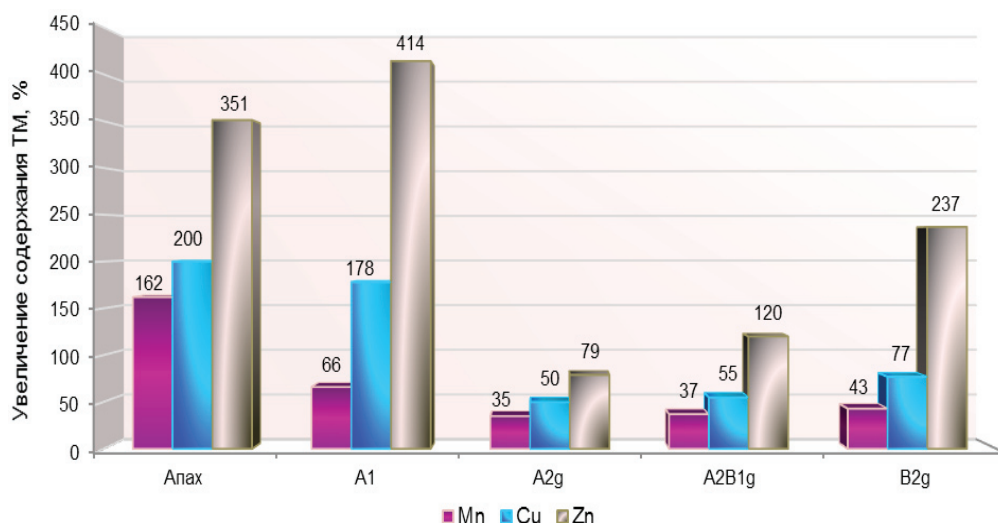


Рис. 6. Прирост содержания подвижных форм Cu, Zn и Mn по профилю дерново-подзолистой суглинистой почвы под влиянием нагрузки жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га на протяжении 26 лет, %

Начиная с глубины около 60 см, в супесчаной и суглинистой почвах вблизи животноводческих комплексов, точно также как и в почвах без нагрузок, наблюдался постепенно возрастающий характер накопления Cu, Zn и Mn в нижележащих горизонтах. При этом в супесчаной почве при дозе свиных навозных стоков 500–600 т/га второй максимум содержания подвижных форм Cu и Zn наиболее выражен в горизонте B₂ (Cu – 0,21 мг/кг, Zn – 1,72 мг/кг против 0,13 и 0,87 мг/кг в почве без нагрузки); для Mn более высокий показатель (3,72 мг/кг) получен в горизонте B₁. В относительном выражении в горизонте B₂ супесчаной почвы прибавка в содержании подвижных форм Cu составила 62 %, Zn – 98 %, Mn – 85 %. В горизонте B_{2g} суглинистой почвы, подвергающейся воздействию жидкого навоза крупного рогатого скота в дозе 900–1000 т/га в течение 26 лет, аккумуляция подвижных соединений меди на 77 % превышала уровень их содержания в почве, где это удобрение не вносили. По Zn и Mn данные показатели составили 237 и 43 % соответственно.

В целом под воздействием длительных дозовых нагрузок жидких отходов животноводства наибольшая миграционная способность по профилю дерново-подзолистых почв характерна для подвижных соединений Zn. По интенсивности миграции изучаемые ТМ располагаются в следующий нисходящий ряд: Zn > Cu > Mn.

ВЫВОДЫ

1. В песчаной почве распределение подвижных форм Cu по генетическим горизонтам относительно равномерное, Zn – постепенно убывающее, для подвижных соединений Mn характерно резкое снижение при переходе от горизонта A_{пах} к горизонту A₁ и дальнейшее уменьшение вглубь по профилю. Для супесча-

ной и суглинистой почв отмечено наличие двух максимумов накопления ТМ: первый – в горизонте $A_{\text{пах}}$, второй – в иллювиальном горизонте.

2. При ежегодных нагрузках жидкого навоза крупного рогатого скота и свинных навозных стоков в течение 26 лет содержание подвижных форм Zn, Cu и Mn увеличилось по всему профилю дерново-подзолистых почв при биогенно-аккумулятивном характере распределения, сохраняя основные тенденции, установленные для почв без нагрузок. Длительная утилизация жидких отходов животноводства на супесчаную и суглинистую почвы способствовала появлению более ярко выраженных максимумов накопления тяжелых металлов и элювиально-иллювиальной дифференциации почвенных профилей. Максимум их содержания отмечен в горизонте $A_{\text{пах}}$: в песчаной почве (жидкий навоз КРС 100–200 т/га) превышение по подвижным формам Cu относительно почвы без нагрузки составило 15 %, Zn – 30 %, Mn – 40 %; в супесчаной (свинные навозные стоки 500–600 т/га): Cu – 100 %, Zn – 199 %, Mn – 60 %; в суглинистой (жидкий навоз крупного рогатого скота 900–1000 т/га): Cu – 200 %, Zn – 351 %, Mn – 162 %.

3. При утилизации отходов животноводства на дерново-подзолистые почвы минимальный прирост подвижных форм тяжелых металлов в песчаной почве отмечен в горизонте A_2B_1 (Cu – 10 %, Zn – 12 %, Mn – 6 %); в супесчаной – в горизонте A_2 (Cu – 30 %, Zn – 40 %, Mn – 25 %); в суглинистой – в горизонте A_{2g} (Cu – 50 %, Zn – 79 %, Mn – 35 %). Дополнительная аккумуляция их подвижных соединений глубже 60 см достигла в песчаной почве: Cu – 17–18 %, Zn – 24–38 %, Mn – 10–18 %; в супесчаной: Cu – 33–62 %, Zn – 46–98 %, Mn – 27–85 %; в суглинистой: Cu – 55–77 %, Zn – 120–237 %, Mn – 37–43 %.

4. Под воздействием интенсивных дозовых нагрузок жидкого навоза крупного рогатого скота и свинных навозных стоков наибольшая миграционная способность по профилю дерново-подзолистых почв характерна для подвижных форм Zn. По интенсивности миграции изучаемые тяжелые металлы располагаются в следующий нисходящий ряд: Zn > Cu > Mn.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серая, Т. М. Удобрение жидким навозом / Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева // Наше сельское хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 52–56.
2. Барановский, И. Эффективность жидкого навоза на дерново-подзолистых почвах / И. Барановский, А. Павлоцкий // Главный агроном. – 2010. – № 10. – С. 7–9.
3. 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. – Москва, 2016. – 21 с.
4. 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. – Москва, 2000. – 20 с.
5. 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.

6. *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.

7. *Семененко, С. Я.* Влияние орошения животноводческими стоками на урожай зеленой массы кукурузы / С. Я. Семененко, О. М. Агеенко // Плодородие. – 2017. – № 1. – С. 46–48.

8. Агроэкономическая эффективность жидкого навоза КРС и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Т. М. Серая [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 4(95). – С. 39–42.

9. *Гейгер, Е. Ю.* Действие жидкого свиного навоза на продуктивность агрофитотенноза и состояние экосистемы в зоне влияния крупного свиного комплекса: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16, 06.01.04 / Е. Ю. Гейгер. – Н. Новгород, 2003. – 212 л.

10. Влияние регулярных дозовых нагрузок жидких органических удобрений на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах и их поступление в растениеводческую продукцию / Е. Н. Богатырева [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2018. – № 3. – С. 29–35.

11. *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.

12. *Богатырева, Е. Н.* Содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая // Почвы в биосфере: сб. материалов Всероссийской науч. конф. с межд. участ., посвящ. 50-летию Ин-та почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, 10–14 сент. 2018 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, Томский госуд. ун-т; отв. ред. А. И. Сысо. – Новосибирск, 2018. – С. 186–190.

13. 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 [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 126–143.

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

15. *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. докл. III Междунар. науч. экологической конф., Краснодар, 20–21 марта 2013 г. / Кубанский ГАУ. – Краснодар, 2013. – С. 20–25.

16. Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях: монография; авт. кол-в: И. В. Гурина [и др.]. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГТУ, 2014. – 484 с.

17. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстилочного навоза / Г. Е. Мерзлая [и др.]. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2006. – 463 с.

18. Хемдан, И. М. М. Влияние многолетнего внесения животноводческих стоков на плодородие дерново-подзолистых почв и урожайность многолетних трав: На примере Московской области: дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / И. М. М. Хемдан. – М., 2004. – 162 л.

19. Дубиковский, Г. П. Закономерности распределения микроэлементов в почвах Белорусской СР и их влияние на растения: дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Г. П. Дубиковский. – Каунас, 1975. – 423 л.

20. Панасин, В. И. Основные закономерности распределения микроэлементов в почвах и эффективность микроудобрений в Западной части Нечерноземной зоны РСФСР: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / В. И. Панасин. – Минск, 1986. – 527 л.

21. Плеханова, И. О. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах при увлажнении: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.27 / И. О. Плеханова; МГУ. – М., 2016. – 51 с.

22. Экологические и медико-социальные аспекты охраны природной среды и здоровья населения: монография / сост. В. Г. Макарова [и др.]. – Минск: Бит «Хата», 2002. – 155 с.

23. Кутукова, Ю. Д. Состояние тяжелых металлов в почвах и накопление их растениями при внесении осадков сточных вод и мелиорантов: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27 / Ю. Д. Кутукова. – М., 2001. – 140 л.

24. Шихова, Л. Н. Содержание и динамика тяжёлых металлов в почвах Северо-Востока европейской части России: дис. ... д-ра с.-х. наук: 03.00.27 / Л. Н. Шихова. – Киров, 2005. – 396 л.

25. Митяшина, С. Н. Влияние последствий различных систем применения удобрений на гумусовое состояние и подвижность тяжелых металлов в дерново-подзолистых суглинистых почвах: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.27 / С. Н. Митяшина. – С.-П.–Пушкин, 2005. – 203 л.

26. Акатова, А. А. Распределение тяжелых металлов в профиле дерново-подзолистых почв на флювиогляциальных песках / А. А. Акатова, М. А. Ефремова // Почвы в биосфере: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 10–14 сент. 2018 г.: в 2 ч. / Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, Томский гос. ун-т: редкол.: А. И. Сысо [и др.]. – Томск, 2018. – Ч. 1. – С. 162–164.

27. Бреус, И. П. Миграция тяжелых металлов с инфильтрационными водами в основных типах почв Среднего Поволжья / И. П. Бреус, Г. Р. Садриева // Агрохимия. – 1997. – № 6. – С. 56–64.

28. Миграция подвижных форм тяжелых металлов в почвах Оренбургской области / И. В. Ефремов [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10(185). – С. 388–390.

29. Волошин, Е. И. Цинк в пахотных почвах Красноярского края / Е. И. Волошин // Агрохимия. – 2002. – № 5. – С. 33–40.

30. *Раскатов, А. В.* Агроэкологические аспекты транслокации тяжелых металлов в почве и растениях: На примере дерново-подзолистых почв Ивановской области: дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.15 / А. В. Раскатов. – М., 2000. – 175 л.

31. *Гукалов, В. Н.* Трансформация валовых и подвижных форм тяжелых металлов в агроландшафтных системах: монография / В. Н. Гукалов. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 219 с.

32. *Михеев, В. А.* Ресурсосберегающая технология создания устойчивых агроценозов многолетних трав при использовании животноводческих стоков: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.12 / В. А. Михеев. – М., 2003. – 417 л.

33. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2018 / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2018. – 490 с.

34. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства: методические 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.

MIGRATION OF MOBILE FORMS OF HEAVY METALS ALONG THE PROFILE OF SOD-PODZOLIC SOILS UNDER THE INFLUENCE OF REGULAR LOADS OF LIQUID ANIMAL WASTE

**E. N. Bogatyrova, T. M. Seraya, Y. A. Belyavskaya,
T. M. Kirdun, M. M. Torchilo**

Summary

With loads of liquid animal waste for 26 years, the content of mobile forms Zn, Cu and Mn increased throughout the profile of sod-podzolic soils under the biogenic-accumulative nature of the distribution, while maintaining the main trends established for soils without loads. In sandy soil (liquid manure of cattle 100–200 t/ha) the increase in the content of mobile forms of Cu in genetic horizons was 10–27 %, Zn – 12–49 %, Mn – 6–40 %; in sandy loam (pig manure effluents 500–600 t/ha) – 30–100 % Cu, 40–219 % Zn, 25–85 % Mn; in loamy (liquid manure of cattle 900–1000 t/ha) – 50–200 % Cu, 79–414 % Zn, 35–162 % Mn. By migration intensity heavy metals are arranged in a row: Zn > Cu > Mn.

Поступила 18.04.19