

УДК 631.416.8:638.81.033:631.86

ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ИХ ГУМУСИРОВАННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКИХ ДОЗ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

В.А. СЕДЫХ¹, А.Д. КАШАНСКИЙ¹, Е.Г. ХИМИНА², П.Ю. КАРАУШ²

(¹ Кафедра почвоведения, геологии и ландшафтоведения
РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева; ² Институт повышения квалификации
руководящих работников и специалистов Росгидромета)

В работе показано, что применение высоких доз органических удобрений приводит к увеличению содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве как за счет их поступления в почву, так и за счет увеличения подвижности существующих в почве фракций тяжелых металлов в результате их комплексообразования с органическими лигандами.

Ключевые слова: почва, тяжелые металлы, органические удобрения.

Загрязнение почв тяжелыми металлами является одним из факторов уменьшения плодородия почв и ценности земель. Это обусловлено падением при загрязнении биопродуктивности угодий; ухудшением качества с.-х. продукции (растениеводства, овощеводства, животноводства, птицеводства); загрязнением тяжелыми металлами водной и воздушной среды. Все это существенно влияет на здоровье человека и в конечном итоге причиняет экономические убытки.

При загрязнении почв тяжелыми металлами ухудшается их фосфатный режим в связи с образованием труднорастворимых осадков фосфатов, а также азотный режим вследствие ингибирования микроорганизмов; ослабляется гумусонакопление в связи с меньшим поступлением растительных остатков в почву, происходит ингибирование микробиологической активности; требуются дополнительные дозы CaCO_3 для осаждения тяжелых металлов. Все вышеизложенное определяет необходимость дополнительных затрат на окультуривание почв и меньшую эффективность применения минеральных удобрений и в целом антропогенного воздействия.

В настоящее время опубликовано значительное количество работ, посвященных загрязнению почв тяжелыми металлами, их влиянию на свойства почв, биопродуктивность угодий, микробиологическую активность [1, 2, 4, 6, 9, 12, 13, 16]. В ряде работ рассматривается изменение содержания и подвижности тяжелых металлов в почвах при применении удобрений и мелиорантов, в т.ч. и при применении органических удобрений [7, 13, 15]. Однако работ, в которых рассматривается изменение подвижности тяжелых металлов в почвах при использовании высоких доз ку-

риного помета, почти нет [13, 14]. Это послужило обоснованием для выполнения исследований.

Согласно литературным данным, применение удобрений приводит к увеличению концентрации тяжелых металлов в почвах. При этом для Московской обл. доля минеральных удобрений в поступлении тяжелых металлов в почву составляет 2–8% каждого элемента от общего прихода: доля органических удобрений находится в пределах 28–62%; известковых — 12–42% и атмосферных осадков — 10–28%.

Свинец поступает в основном с известковыми материалами (40–42%) и атмосферными осадками (28–35%); цинк — с органическими удобрениями (49–61%) и атмосферными осадками (20–21%); кадмий — с органическими удобрениями (46–50%), с известковыми материалами (20–32%) и с атмосферными осадками (16–26%); хром поступает в основном с органическими удобрениями (62–63%) и с известью (34–36%) [4].

С каждым килограммом питательных веществ минеральных удобрений, применяемых в Московской обл., вносится: свинца — 19 мг, цинка — 14,5 мг, кадмия — 4,5 мг, никеля — 22,2 мг и хрома — 6,1 мг [9].

Однако, учитывая дозы удобрений, увеличение валового содержания тяжелых металлов в почвах невелико [14, 16].

В то же время поступление тяжелых металлов в почву с органическими удобрениями может быть достаточно велико: до 90 г/га по цинку, 20 г/га по свинцу и 20 г/га по меди на 1 т внесения помета 20%-й влажности. При сверхвысоких дозах (до 400 т/га) органических удобрений и, в частности, птичьего помета загрязнение еще больше возрастает.

В среднем при естественной влажности помет кур яичного направления содержит азота — 1,7–2,7%, фосфора — 1–2%, калия — 0,6–0,8%. В помете бройлерных кур фосфора больше, чем калия. В то же время в помете птиц в пересчете на 20% сухое вещество содержится: меди — 6,7–10,7 мг/кг, марганца — 35,5–91,8 мг/кг, цинка — 51,5–127,8 мг/кг, железа — 273,7–601,9 мг/кг [13], т.е. при внесении в почву помета даже 100 т/га загрязнение почв медью и цинком может быть достаточно значимым.

Однако внесение высоких доз органических удобрений увеличивает содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве не только при их поступлении в почву, но и в связи с увеличением подвижности за счет комплексообразования с органическими лигандами [6].

Материалы и методы

Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы хозяйства «Михайловское», поля вблизи птицефабрики «Петелино» Одинцовского района Московской обл. с низкой, средней, высокой и очень высокой дозой внесения птичьего помета в почву [3, 11].

Методика исследования состояла в изучении содержания тяжелых металлов в различных вытяжках из исследуемых почв, различающихся по pH, ионной силе, Eh, комплексообразующей способности десорбента и в статистической обработке данных связи содержания подвижных форм с агрохимическими и физико-химическими свойствами почв для выявления корреляционных взаимосвязей. Принятый уровень вероятности $P = 0,95$.

Результаты и их обсуждение

Содержание тяжелых металлов в водной вытяжке из почв позволяет сопоставить полученные данные с результатами растворимости осадков тяжелых металлов в почвах от pH среды [1, 6]. Так, по полученным нами данным, содержание водорастворимого цинка составляет 0,01–0,07 мг/л, или около $1 \cdot 10^{-6}$ моль/л, что ниже растворимости $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$, $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$, ZnO , $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ при pH 5–6 и, очевидно, обусловлено цинком, поглощенным физико-химически. Содержание водорастворимого железа составляет 0,1–1 мг/л, или $2 \cdot 10^{-6}$ – $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л, что соответствует растворимости осадков $Fe(OH)_3$ при низкой концентрации в растворе фосфатов и рПР = 37,5. Содержание водорастворимой меди составляет 0,01–0,05 мг/л или около $1 \cdot 10^{-6}$ моль/л. При pH = 5–6 это свидетельствует о присутствии в растворе $CuOH^+$ и $Cu(OH)_2^0$. Содержание водорастворимого свинца составляет 0,01–0,1 мг/л, или $5 \cdot 10^{-7}$ – $5 \cdot 10^{-8}$ моль/л, что ниже показателя растворимости $Pb(OH)_2$ и обусловлено Pb, поглощенным физико-химически.

Анализ определения содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах (вытяжка CH_3COONH_4 с pH = 4,8) показал, что оно не превышает уровень ПДК. Так, содержание подвижного цинка составляло 4,1 мг/кг, меди — 0,3 мг/кг, кадмия — 0,1 мг/кг и свинца — 0,5 мг/кг; в почвах, где вносили большие дозы птичьего помета, оно увеличивалось (табл. 1). При этом для подвижных форм тяжелых металлов отмечалось элювиально-иллювиальное их распределение по профилю с минимумом в горизонте A_2 и двумя максимумами — в горизонте Ap и B₁. Аналогичная зависимость отмечается и в работе Н.Н. Бушуева [3].

Т а б л и ц а 1

Зависимость содержания подвижных форм тяжелых металлов в изучаемых почвах от доз внесения куриного помета (горизонт Ap)

Доза внесения	Вытяжка	Содержание в вытяжках, мг/л		
		Pb	Cu	Zn
Низкая *	H ₂ O	0,09	0,02	0,02
Средняя ** Высокая	H ₂ O	0,11±0,02	0,03±0,01	0,04±0,01
Низкая	KCl–0,1н	0,15	0,01	0,02
Средняя Высокая	KCl–0,1н	0,19±0,01	0,03±0,01	0,03
Низкая	KCl–0,1н + 0,01м ЭДТА	0,67	0,24	0,75
Средняя Высокая	KCl–0,1н + 0,01м ЭДТА	0,68±0,01	0,82±0,45	2,2±1,0

П р и м е ч а н и е. При 80%-й влажности: * 200 т/га; ** средняя — 400 т/га, высокая — 1000 т/га.

На подвижность тяжелых металлов в почвах в значительной степени влияет гумусированность почв. С одной стороны, гумус обладает значительной емкостью поглощения катионов, что обуславливает значительную сорбцию им тяжелых металлов. С другой стороны, при увеличении содержания водорастворимого органи-

ческого вещества, способного к комплексообразованию с тяжелыми металлами, их подвижность в почве возрастает. Эти же тенденции проявляются и при внесении больших доз органических удобрений. Для исследуемых почв получены следующие зависимости вытеснения тяжелых металлов из почв большим количеством воды от рН и степени гумусированности (Г) почв ($F > 2,7$):

$$\begin{aligned} \text{Cu} & \text{ — } 0,57387 \text{ — } 0,49\text{pH} + 0,167\text{Г}, \\ \text{Pb} & \text{ — } 0,54292 \text{ — } 0,51\text{pH} + 0,07\text{Г}, \\ \text{Mn} & \text{ — } 0,8059 \text{ — } 0,62\text{pH} + 0,323\text{Г}, \\ \text{Cd} & \text{ — } 0,6884 \text{ — } 0,24\text{pH} + 0,48\text{Г}. \end{aligned}$$

Таким образом, для всех исследуемых почв отмечалась тенденция увеличения вытеснения тяжелых металлов из почв с подкислением среды и с возрастанием степени гумусированности. Однако указанные связи должны изменяться в зависимости от интервалов рН и других независимых переменных.

По полученным нами данным, рассматриваемые связи изменяются и в зависимости от степени насыщенности почв тяжелыми металлами. Так, при содержании цинка меньше 22,5 мг/кг зависимость содержания его подвижных форм от рН характеризовалась коэффициентом корреляции 0,24 и множественным коэффициентом корреляции подвижного цинка от рН и гумусированности $r = 0,97$. При содержании цинка в почве более 22,5 мг/кг эти коэффициенты были соответственно равны 0,52 и 0,84. При содержании меди меньше 11,6 мг/кг коэффициент корреляции $\text{Cu} = f(\text{pH})$ составил 0,13, а для связи $\text{Cu} = f(\text{pH})(\text{гумус})$ — $r = 0,99$. При содержании меди в почве более 11,6 мг/кг соответственно $r = 0,36$ и 0,96 (для подвижных форм, вытесненных $\text{CH}_3\text{COONH}_4$). Для свинца при содержании больше 5 мг/кг множественный коэффициент корреляции равнялся 0,98, а при содержании менее 5 мг/кг — 0,99.

Значительный практический интерес представляет закономерность изменения доли подвижных форм тяжелых металлов от их валового содержания в зависимости от содержания в почве органических соединений. По полученным нами данным, при изменении содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах от 2,4 до 3,6% содержание подвижного свинца и кадмия возрастало, а подвижных форм меди и цинка уменьшалось.

Статистическая обработка данных анализов дерново-подзолистых почв хозяйств Московской обл. [11] показала, что при увеличении гумусированности до определенного предела содержание подвижных форм тяжелых металлов возрастает, а затем снижается. Однако для разных хозяйств этот предел различался (табл. 2).

С нашей точки зрения, влияние органического вещества на подвижность тяжелых металлов в почве неоднозначно и зависит как от функциональных свойств

Таблица 2

Зависимость содержания подвижных форм Cu, Zn, Mn, Co в дерново-подзолистых почвах от степени их гумусированности (в вытяжке $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с рН = 4,8), мг/кг

Гумус, %	Cu	Zn	Mn	Co
2,5±0,1	8,3±1,7	17,4±3,7	62,4±6,1	1,7±0,2
3,5±0,1	11,4±2,5	22,5±4,2	67,5±4,6	1,5±0,1
4,2±0,1	13,9±3,5	25,5±4,6	74,9±10,9	1,8±0,1
7,6±0,1	15,2±6,2	27,6±8,7	57,8±15,6	0,9±0,2

органического вещества, так и от свойств почв. Это подтверждается и литературными данными.

В работах Н.Ф. Ганжары и М.С. Озеровой [5, 8] показано, что в составе легко-разлагаемого органического вещества почв содержание тяжелых металлов составляет от 0,6 до 77% от их подвижных форм и 0,1–9% от валового содержания. При этом содержание тяжелых металлов в составе ЛОВ превышало их концентрацию в растениях в 3–95 раз: по Zn, Pb — в 2–14 раз; Cu — в 15–48 раз; по Cd, Cr — в 52–95 раз [8]. Другие авторы [7] отмечают, что в основе взаимодействия тяжелых металлов с дерново-подзолистыми почвами, удобряемыми осадками сточных вод (25 т/га сухого вещества), лежат явления комплексообразования.

Внесение осадков сточных вод на супесчаную почву с содержанием гумуса 0,8–3,2% показало, что при увеличении гумусированности почв уменьшалась как подвижность тяжелых металлов в почвах, так и их поступление в растения (Zn в 2,3–3,6 раза, Cd в 3 раза) [7].

Рядом авторов отмечается уменьшение содержания в почве подвижных соединений тяжелых металлов при внесении в почву больших доз органических удобрений и органоминеральных смесей.

Так, А.Р. Цыганов с соавторами [15] для уменьшения содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах использовали органоминеральную смесь с высокой емкостью катионного обмена. Внесение такой смеси в дозе 60 т/га на сильно загрязненных почвах снизило содержание подвижных форм меди в 1,7 раза, цинка в 2,3 раза, свинца и кадмия в 1,7 раза.

В работе Н.Н. Бушуева [3] показано, что при загрязнении тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв наблюдается два горизонта их аккумуляции — в пахотном и иллювиальном горизонтах. Миграционная способность вниз по профилю увеличивалась с облегчением гранулометрического состава почв. При этом применение навоза не приводило к увеличению подвижности тяжелых металлов в почвах. В то же время установлено образование комплексных соединений Cd, Zn с органическими лигандами гуминовых кислот.

В проведенных исследованиях оценивалась зависимость вытеснения Fe, Cu, Zn из почв от комплексообразующей способности десорбента. Обобщенные показатели приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Зависимость вытеснения Fe, Cu, Zn из почв от комплексообразующей способности десорбента (pK_n)

Зависимость	Уравнение регрессии	Индекс корреляции
Fe=f(pK_n)	$Y=0,1663+1,18x$	0,98
Cu=f(pK_n)	$Y=0,034+1,08x$	0,58
Zn=f(pK_n)	$Y=0,10+1,15x$	0,78

Как видно из представленных данных, вытеснение Fe, Cu, Zn из почв в значительной степени зависит от комплексообразующей способности десорбента (X).

Очевидно, такая зависимость будет характерна и для миграции этих катионов в почве под влиянием водорастворимых органических веществ, содержащихся в органических удобрениях на основе птичьего помета.

Наличие комплексных соединений тяжелых металлов с лигандами органического вещества подтверждается и данными по содержанию положительно и отри-

цательно заряженных соединений тяжелых металлов в почвах, вытесненных из них методом химической автографии на основе электролиза [10]. При этом отрицательно заряженные соединения тяжелых металлов ML^{0-} представлены их комплексами с органическими лигандами (табл. 4).

Таблица 4

Содержание положительно и отрицательно заряженных соединений Fe, Mn, Cu, Zn при внесении удобрений (M^{n-}/M^{n+})

Вариант	Fe	Mn	Cu	Zn
Контроль	10,1/1,0	0,3/0,6	0,5/0,1	0,3/0,7
N_{100}	7,1/4,2	0,2/0,7	0,04/0,1	0,5/0,3
P_{500}	7,3/4,3	0,2/0,4	1,8/0,7	0,4/0,3

При низком содержании в почвенном растворе фосфатов возможно образование их комплексов с тяжелыми металлами и увеличение доли подвижных форм, а при высоких концентрациях фосфатов и тяжелых металлов в растворе происходит образование осадков (табл. 5).

Таблица 5

Зависимость подвижности Cu, Zn, Mn, Co от pH среды и содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистых почвах

pH_{KCl}	P_2O_5	Cu	Zn	Mn	Co
5,6±0,3	201,5±58,7	4,7±0,1	9,9±2,7	83,5±17,5	1,7±0,5
5,7±0,2	508,5±52,6	6,0±2,0	18,4±7,6	58,3±8,9	1,8±0,6
5,6±0,1	759,4±98,3	6,9±1,7	13,7±2,8	50,5±4,4	1,3±0,1
6,4±0,1	844,4±20,9	15,2±2,2	28,1±3,2	71,9±5,8	1,6±0,1

Примечание. P_2O_5 (мг/кг); Cu, Zn, Mn, Co в вытяжке CH_3COONH_4 (мг/100 г).

Влияние pH среды на подвижность тяжелых металлов в почвах подтверждается и данными таблицы 6.

Таблица 6

Влияние pH среды дерново-подзолистых почв на количество водорастворимых форм тяжелых металлов Fe, Zn, Ni, Mn

pH_{H_2O}	Fe	Zn	Ni	Mn
	моль/л·10 ⁻⁵			
5,7±0,03	24,5±5,9	0,12±0,03	0,33±0,06	3,6±0,7
6,5±0,03	27,4±5,0	0,1±0,02	0,34±0,04	1,2±0,2
7,3±0,02	7,3±1,6	0,05±0,01	0,31±0,03	1,0±0,3

В то же время почвы всегда испытывают загрязнение тяжелыми металлами не только в связи с внесением удобрений, но и за счет аэрального переноса тяжелых металлов от автотрасс и заводов. Степень загрязнения верхних горизонтов определяется дополнительно литологическими и геоморфологическими условиями, характером хозяйственного использования.

Для оценки изменения содержания тяжелых металлов в почвах в зависимости от удаленности территории от автотрассы, от хозяйственного использования участка нами было определено содержание их валовых и подвижных форм в верхнем слое почвы леса и пашни на расстоянии от автотрассы 10, 30 и 60 м.

Полученные данные приведены в таблицах 7 и 8, из которых видно, что валовое содержание тяжелых металлов с удалением от автотрассы уменьшается, это хорошо просматривается для участка леса по Cu, Zn, Pb, Ni. В то же время при внесении высоких доз органических удобрений на участке поля больше цинка, чем в почве леса, и меньше свинца, очевидно, в связи с перепашкой верхнего слоя с нижележащими.

Т а б л и ц а 7

Валовое содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах на разном удалении от автотрассы, мг/кг

Объект, горизонт	Расстояние от автотрассы, м	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
Широколиственный лес, А ₁	10	93	172	2,4	150	622
	30	67	112	2,4	130	456
	60	48	83	2,4	105	358
Пашня, А _п	10	90	480	1,9	133	225
	30	80	230	1,6	98	230
	60	51	81	1,4	63	224
Фон в П ^д почве		23	49	1,0	51	19

Эту закономерность подтверждает и суммарный показатель загрязнения Zn, который составил в почве леса на удалении 10, 30 и 60 м соответственно 42,2; 30,6 и 23,5, а в почве поля на этих же расстояниях от автотрассы соответственно 26,0; 19,8 и 14,3, т.е. почвы поля были загрязнены тяжелыми металлами в меньшей степени, очевидно, в связи с усилением промывного типа водного режима, перемешиванием верхнего слоя с более глубоким, при меньшей степени развития дернового процесса почвообразования.

Данные о содержании подвижных форм тяжелых металлов в исследуемых почвах приведены в таблице 8.

Т а б л и ц а 8

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зависимости от с.-х. угодья и удаленности от автотрассы (вытяжка CH₃COONH₄ с рН = 4,8), мг/кг

Объект, горизонт	Расстояние от автотрассы, м	Pb	Cu	Zn	Cd	Ni	Co
Лес, А _п	10	5,0/0,8	0,7/0,7	32,1/18,9	0,5/2,1	0,9/0,6	0,9
	30	4,8/1,1	0,8/1,1	16,2/14,5	0,4/1,5	0,2/0,2	0,4
	60	4,6/1,3	0,7/1,5	13,8/28,7	0,3/1,4	0,2/0,2	0,5
Пашня, А _п	10	6,6/2,9	1,0/1,2	23,2/4,8	0,7/3,8	1,3/1,0	1,3
	30	6,4/2,8	2,2/2,7	12,9/5,6	0,3/2,1	1,2/1,3	0,4
	60	6,0/2,7	0,9/1,8	8,3/10,3	0,3/1,0	0,9/1,5	0,5

П р и м е ч а н и е. В числителе — мг/кг; в знаменателе — % от валового содержания.

Как видно из представленных данных, содержание подвижных форм тяжелых металлов также уменьшается с увеличением расстояния от автодороги. Однако это не проявляется для меди, загрязнение которой мало связано с движением автотранспорта. Доля подвижных форм в валовом содержании зависит от рН среды и содержания органического вещества.

Выводы

1. Внесение больших доз органических удобрений на основе птичьего помета (более 400 т/га) увеличивает содержание подвижных форм тяжелых металлов, их водорастворимых форм.

2. Увеличение подвижности тяжелых металлов в почвах при внесении повышенных доз органических удобрений обусловлено не только поступлением их в почву, но и увеличением подвижности фракций, имеющих в почве в связи с образованием комплексов тяжелых металлов с органическими лигандами.

3. Содержание тяжелых металлов в почве обусловлено не только их поступлением из водной и воздушной среды, с удобрениями и мелиорантами, но и перераспределением по рельефу в аккумулятивные элементы ландшафта, накоплением в почвах большей степени гумусированности, при большем проявлении дернового процесса почвообразования.

4. В почвах с развитием подзолообразования отмечается элюирование тяжелых металлов вниз по профилю и наличие двух горизонтов их аккумуляции — A_1 и B_1 .

5. Перераспределение тяжелых металлов в почвах, в пространстве в связи с литологическими и геоморфологическими особенностями территории, почвообразовательными процессами необходимо учитывать при мониторинге почв.

Библиографический список

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987.
2. Большаков В.А., Борисочкина Т.И. Загрязнение почв тяжелыми металлами: В кн. Почвы Московской области и их использование. Т. 1. М.: РАСХН, 2002. С. 364–372.
3. Бушуев Н.Н. Тяжелые металлы в органическом веществе дерново-подзолистых почв при различном сельскохозяйственном использовании: Автореф. канд. дис. М.: МСХА, 2004.
4. Войтович Н.В. Плодородие почв Нечерноземной зоны и его моделирование. М.: Колос, 1997.
5. Ганжара Н.Ф., Флоринский М.А., Озерова М.С. Содержание тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах и легкоразлагаемом органическом веществе // Известия ТСХА, 1993. Вып. 4. С. 64–71.
6. Карпухин А.И. Комплексные соединения органических веществ с ионами металлов: Автореф. докт. дис. М.: МГУ, 1988.
7. Лукин С.М., Касатиков В.А. Влияние органического вещества на подвижность тяжелых металлов: В сб. Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков сточных вод и твердых бытовых отходов. Владимир: ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. С. 124–125.
8. Озерова М.С. Содержание тяжелых металлов в составе легкоразлагаемого органического вещества почв: Автореф. канд. дис. М.: ТСХА, 1994.
9. Праздников С.С., Аристархова Г.Г., Аристархов А.Н. Баланс тяжелых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв / Плодородие почвы и качество продукции при биологическом земледелии. М.: Колос, 1996. С. 305–321.
10. Савич В.И., Парахин Н.В., Степанова Л.П., Шишов Л.Л., Кершенс М. Агрономическая оценка гумусового состояния почв. Орел: ОГАУ, 2001. Т. 1, 2.
11. Савич А.А., Шестаков Е.И., Савич В.И. Почвы Московской области и их использование (для индивидуальных землевладельцев). М.: Луч, 2010.
12. Соколов О.А., Черников В.А., Лукин С.В. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Белгород: Константа, 2008.

13. Сычев В.Г., Мерзлая Г.Е., Петрова Г.В., Филиппова А.В., Попов В.И., Мищенко В.Н. Эколого-агрохимические свойства и эффективность верми- и биокомпостов. М.: ВНИИА, 2007.

14. Титова В.И., Седов Л.К., Дабахова Е.В. Индустриальное птицеводство и экология: опыт сосуществования. Н. Новгород: ВВАГАС, 2004.

15. Цыганов А.Р., Вильдфлуш И.Р., Поддубный О.А., Поддубная О.В., Стрельченко И.В. Влияние образца органоминерального состава на урожайность столовой свеклы и накопление тяжелых металлов: В сб. Агрохимия и экология: теория и современность. Н. Новгород, 2008. Т. 1. С. 254–257.

16. Черных Н.А., Овчаренко М.М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. М.: Агроконсалт, 2002.

Рецензент — д. б. н. С.П. Торшин

SUMMARY

It has been discovered that application of big doses of organic fertilizers leads to heavy metals mobile forms content increase in soil, owing to both increase in heavy metals fractions mobility rate in soil and their inflow into soil, as a result of their complex formation with organic lipids.

Key words: soil, heavy metals, organic fertilizers.

Седых Владимир Александрович — к. с.-х. н. Тел. (499) 976-16-17. Эл. почта: savich.mail@gmail.com

Кашаинский Анатолий Данилович — к. с.-х. н.

Химица Екатерина Григорьевна — к. б. н.

Карауш Полина Юрьевна — инженер кафедры почвоведения РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.