

631.95:633.11."321"+633.21.3

А. Р. Цыганов, И. Р. Вильдфлуш, О. В. Поддубная, М. Н. Каль

ПРИЕМЫ ПО СНИЖЕНИЮ ПОДВИЖНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И НАКОПЛЕНИЮ ИХ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

В статье изложены результаты работ по снижению подвижности тяжелых металлов в почве и накоплению их в продукции растениеводства на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах.

Расширение масштабов производственно-хозяйственной деятельности, внедрение новых технологий негативно сказывается на состоянии экосистем, влияя на все компоненты окружающей среды, а через них и на состояние здоровья человека [3, 4]. Аграрное производство представляет собой серьезную опасность для биосферы: по оценкам ученых, на долю сельского хозяйства приходится около 40% всех загрязнений, поступающих в природную среду. Поэтому в системе мониторинга окружающей среды важную роль играют нормативы предельно допустимого содержания в почве тяжелых металлов, позволяющие проводить гигиеническую оценку загрязненности природных объектов, судить о темпах накопления токсичных ингредиентов, оценивать эффективность природоохранных мероприятий [5—7].

Разработанные в настоящее время ПДК тяжелых металлов нуждаются в существенной корректировке. Принимая во внимание большую пестроту почвенного покрова в Беларуси, а также различные возможности сельскохозяйственных культур ограничивать поступление избыточных ионов в продуктивные органы, следует отказываться от разработки единых для всех почв и культур ПДК. В связи с этим нормирование содержания тяжелых металлов необходимо проводить для конкретных почв и сельскохозяйственных культур [2].

Исследования с яровой пшеницей и горохо-овсяной смесью проводились в мелкоделяночных опытах на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, подстилаемой с глубины 1 м моренным суглинком. Характеристика почвенных условий представлена в табл. 1. Общая площадь делянки была 1,44 м², учетная — 1 м², повторность вариантов четырехкратная.

Внесение тяжелых металлов в виде солей $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ проводилось вручную перед перекопкой почвы. Во всех вариантах опыта применяли $\text{N}_{60} \text{P}_{60} \text{K}_{90}$ под яровую пшеницу и $\text{N}_{50} \text{P}_{60} \text{K}_{60}$ под горохо-овсяную смесь в форме аммиачной селитры, аммофоса и хлористого калия.

Опыт проводился с яровой пшеницей сорта Иволга при норме высева семян 5,5 млн/га, горохо-овсяной смеси — 4 млн/га и 1 млн/га — гороха.

Посев осуществлялся рамочным способом. Все работы по подготовке участка к посеву, посев, уход за растениями, уборка проводились вручную. Растительные образцы отбирались во время уборки яровой пшеницы на зерно, а бобово-овсяной смеси — на зеленую массу. Почвенные образцы отбирались после уборки урожая. Статистическую обработку урожайных данных проводили дисперсионным методом на ЭВМ ЕС-1020.

Определение гидролитической кислоты проводили по Каппену в модификации ЦИНАО, обменной кислотности — на рН-метре, подвижного фосфора и калия — по методу Кирсанова, гумуса — по Тюрину в модификации ЦИНАО. Содержание подвижных форм тяжелых металлов определялось в вытяжках 1 М HCl методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии. Определение валового содержания тяжелых металлов проводилось по методу Olson, Thornton в концентрированной азотной кислоте. Общее содержание тяжелых металлов в растениях определяли после сухого озоления.

Почва опытного участка перед закладкой опытов с тяжелыми металлами имела слабокислую реакцию, повышенное содержание подвижных форм фосфора и калия (табл. 1). Внесение солей тяжелых металлов для создания фонов с различным уровнем загрязнения почвы приводило к существенному увеличению содержания подвижных форм цинка, меди, свинца (табл. 2—4). Следует отметить, что известкование почвы и применение органических удобрений снижают подвижность тяжелых металлов в почве. Особенно сильно в этом направлении действовало внесение извести в двойной дозе по гидролитической кислотности.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой мелкоделяночного опыта

рН _{KCl}	Гумус, %	Нг, М-экв на 100 г	S, М-экв на 100 г	V, %	По Кирсанову, мг/кг почвы	
					P ₂ O ₅	K ₂ O
5,65	1,78	0,61	1,97	75,5	196	183

Таблица 2

Агрохимические показатели почвы и содержание в ней цинка после уборки культур (1996 г.), мг/кг почвы

Варианты	рН _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Яровая пшеница		Горохо-овсяная смесь	
				подвижный в 1М HCl, мг/кг почвы	валовый в конц. HNO ₃ , мг/кг почвы	подвижный в 1М HCl, мг/кг почвы	валовый в конц. HNO ₃ , мг/кг почвы
2. Zn 70*	5,6	210	182	4,9	41,80	6,4	48,00
3. Zn 100	5,6	225	208	16,8	72,80	17,2	83,40
4. Zn 200	5,6	236	217	81,6	108,02	79,0	122,17
5. Zn 300	5,5	197	208	158,9	214,02	119,3	202,20
6. Zn 450	5,6	206	192	304,4	335,66	216,7	349,90
7. Zn 450+CaCO ₃	5,8	198	233	249,4	285,14	231,9	257,00
8. Zn 450+2CaCO ₃	6,0	209	196	116,6	153,46	128,4	180,20
9. Zn 450+Pb 200	5,7	213	234	248,8	306,3	224,3	312,95
10. Zn 450+навоз 50 т/га	5,8	207	205	301,8	352,24	286,9	310,67
11. Zn 450+навоз 50 т/га+CaCO ₃	6,0	206	191	273,3	346,32	267,2	334,30
12. Zn 450+биогумус 5 т/га	5,7	218	197	318,4	330,96	280,3	298,00

* — Дозы цинка, мг/кг почвы

Таблица 3

Агрохимические показатели почвы и содержание меди в почве после уборки культур (1996 г.), мг/кг почвы

Варианты	рН _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Яровая пшеница		Бобово-овсяная смесь	
				подвижная в 1М HCl, мг/кг почвы	валовая, мг/кг почвы	подвижная в 1М HCl, мг/кг почвы	валовая, мг/кг почвы
2. Cu 20*	5,6	195	191	11,0	14,80	9,2	14,5
3. Cu 30	5,6	194	208	24,8	53,82	26,1	54,3
4. Cu 100	5,6	197	193	29,2	83,16	34,2	91,2
5. Cu 150	5,6	201	192	95,5	135,60	103,3	170,4
6. Cu 200	5,6	193	184	140,2	227,14	137,8	203,6
7. Cu 200+CaCO ₃	5,6	190	198	56,4	110,18	78,3	167,6
8. Cu 200+2CaCO ₃	6,0	188	203	42,2	89,88	39,8	79,4
9. Cu 200+Pb 300	5,7	196	172	65,7	125,02	89,4	198,9
10. Cu 200+навоз 50 т/га	5,7	197	201	45,1	84,20	50,7	97,7
11. Cu 200+навоз 50 т/га+CaCO ₃	5,9	191	193	33,8	88,68	40,9	81,4
12. Cu 200+биогумус 5 т/га	5,8	194	187	46,0	104,96	50,9	113,7

* — Дозы меди, мг/кг почвы.

Высокие дозы солей тяжелых металлов в 1996 г. сильно угнетали растения в начальный период вегетации. Яровая пшеница была более чувствительна к высоким концентрациям меди и свинца, чем цинка, а горохо-овсяная смесь в большей степени угнеталась высокими дозами меди. На минеральном фоне питания в первый год высокие дозы сульфата цинка не оказали отрицательного влияния на урожайность яровой пшеницы, но в то же время сильно угнетали горохо-овсяную смесь (табл. 5—7).

Отрицательное воздействие высоких доз солей тяжелых металлов на урожайность яровой пшеницы и горохо-овсяной смеси сглаживалось в вариантах с известкованием (особенно в двойной дозе). Это, по-видимому, связано с переходом меди, цинка и свинца в труднодоступные для растения формы при повышении pH. Самая низкая урожайность по двум культурам наблюдалась в вариантах с внесением органических удобрений. Более высокими урожаями изучаемых культур были при

внесении биогумуса, чем навоза. Низкая эффективность органических удобрений, по-видимому, связана с засушливыми условиями во время вегетации растений.

Таблица 4

Агрохимические показатели почвы и содержание в ней свинца после уборки яровой пшеницы (1996 г.)

Варианты	рН _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	K ₂ O, мг/кг почвы	Яровая пшеница	
				подвижный в 1М HCl, мг/кг почвы	валовый в конц. HNO ₃ , мг/кг почвы
1. Контроль (фон)	5,7	198	203	1,5	1,9
2. Pb 60*	5,6	204	199	1,6	2,8
3. Pb 100	5,6	217	207	44,7	76,6
4. Pb 200	5,6	200	184	109,1	183,4
5. Pb 300	5,6	207	192	111,1	191,2
6. Pb 500	5,7	192	213	199,1	336,0
7. Pb 500+CaCO ₃	5,8	198	206	141,9	210,8
8. Pb 500+2CaCO ₃	6,0	194	210	73,4	163,0
9. Pb 500+Zn 300	5,7	203	212	181,5	224,8
10. Pb 500+навоз 50 т/га	5,8	201	198	121,1	298,8
11. Pb 500+навоз 50 т/га+CaCO ₃	6,0	212	205	80,5	195,0
12. Pb 500+биогумус 5 т/га	5,7	208	299	152,1	336,8

* — Дозы свинца, мг/кг почвы.

Наиболее сильное отрицательное действие на урожайность яровой пшеницы и горохо-овсяной смеси оказали высокие уровни содержания подвижной меди в почве (табл. 5). При введении максимальных доз сульфата меди урожайность зерна яровой пшеницы снижалась на 26%, а зеленой массы горохо-овсяной смеси на 16% в среднем за 2 года.

В 1997 г. урожайность культур, особенно горохо-овсяной смеси, по сравнению с 1996 г. выросла. Это связано с более благоприятными погодными условиями и, возможно, с переходом свинца и меди в менее подвижные формы. Вегетационный период 1997 г. не был таким засушливым, как в 1996 г. В тоже время в опыте с искусственно созданными фонами по содержанию цинка в 1997 г. наблюдалось снижение урожайности зерна яровой пшеницы (табл. 5). Это, возможно, связано с тем, что токсическое действие цинка на растения повышается при более благоприятных погодных условиях.

В 1997 г. также как и в 1996 г., известкование почвы и применение удобрений снижало отрицательное действие повышенного содержания подвижных форм тяжелых металлов на урожайность культур, особенно яровой пшеницы. Следует отметить, что наиболее рациональным приемом по снижению негативного влияния высоких доз тяжелых металлов на урожайность культур, оказалось внесение извести в двойной дозе (табл. 5—7).

Применение биогумуса более заметно, чем навоз, снижало отрицательное действие тяжелых металлов на растения яровой пшеницы и однолетних трав. Однако в целом действие органических удобрений на смягчение отрицательного влияния солей тяжелых металлов на урожайность культур, особенно горохо-овсяной смеси, было значительно слабее, чем внесение полных и двойных доз извести.

Наибольшее накопление цинка в зерне яровой пшеницы и зеленой массе бобово-овсяной смеси в 1996 г. наблюдалось в варианте с максимальной дозой внесения цинка (450 мг/кг почвы). Двойная доза извести почти в 1,5 раза снижала накопление цинка в зерне яровой пшеницы и в 2 раза — в зеленой массе однолетних трав (табл. 5). Это связано с уменьшением подвижности цинка в почве с повышением рН почвенного раствора. Действие органических удобрений и биогумуса на снижение поступления цинка в растения яровой пшеницы и однолетних трав было почти одинаковым.

Содержание меди в товарной части исследуемых культур, так же как и цинка, возрастало с увеличением доз внесения солей этих металлов (табл. 6). Для горохо-овсяной смеси отмечены большие значения накопления меди, особенно в варианте с максимальной дозой (200 мг/кг почвы). Этот показатель превышает ПДК для зеленой массы однолетних трав в 1,84 раза, для зерна яровой пшеницы — в 1,26 раза. Известкование почвы как по полной гидролитической кислоте, так и по двойной дозе снижало накопление меди горохо-овсяной смесью почти в 1,5 раза.

Таблица 5

Влияние уровня загрязнения почвы цинком на его содержание и на урожайность культур в зерне и зеленой массе

Варианты	Яровая пшеница				Горохо-овсяная смесь			
	урожайность, г/м ²			содержание Zn, мг/кг	урожайность, кг/м ²			содержание Zn, мг/кг сух. в-ва
	1996 г.	1997 г.	среднее		1996 г.	1997 г.	среднее	
1. Контроль (фон)	260	315	287	5,6	3,05	7,02	5,04	16,47
2. Zn 70*	261	344	302	8,0	3,08	7,04	5,06	38,8
3. Zn 100	259	295	277	24,0	3,12	7,02	5,07	48,1
4. Zn 200	265	290	278	28,1	3,04	7,05	5,05	69,45
5. Zn 300	268	263	266	48,0	2,16	6,90	4,53	81,35
6. Zn 450	257	238	248	63,7	1,92	6,85	4,38	113,5
7. Zn 450+CaCO ₃	267	273	270	50,0	2,43	7,10	4,76	69,1
8. Zn 450+2CaCO ₃	266	328	297	43,1	2,81	7,28	5,05	61,2
9. Zn 450+ Pb 200	277	265	271	59,9	1,68	7,12	4,40	53,53
10. Zn 450+навоз 50 т/га	223	258	240	59,8	1,28	6,46	3,87	51,40
11. Zn 450+навоз 50 т/га+ CaCO ₃	228	281	254	43,4	1,79	6,63	4,21	39,55
12. Zn 450+биогумус 5 т/га	230	265	248	56,9	1,98	6,71	4,35	52,75
НСП ₀₅	16,8	18,4			0,152	0,170		

Таблица 6

Влияние уровня загрязнения почвы медью на содержание её в продукции и на урожайность зелёной массы

Вариант	Яровая пшеница				Бобово-овсяная смесь			
	урожайность, г/м ²			содержание Cu, мг/кг	урожайность, кг/м ²			содержание Cu, мг/кг
	1996 г.	1997 г.	среднее		1996 г.	1997 г.	среднее	
1. Контроль (фон)	252	312	282	3,5	2,96	6,90	4,93	3,83
2. Cu 20	251	317	284	4,0	2,89	6,95	4,92	4,01
3. Cu 50	256	326	291	4,8	2,64	6,60	4,62	5,34
4. Cu 100	233	316	274	5,3	2,20	6,50	4,35	5,93
5. Cu 150	230	280	255	5,7	1,97	6,30	4,14	8,51
6. Cu 200	201	215	208	6,3	1,70	6,20	4,45	9,20
7. Cu 200+CaCO ₃	206	230	218	5,6	2,65	6,45	4,55	6,14
8. Cu 200+2CaCO ₃	227	266	246	5,2	2,85	6,70	4,78	6,06
9. Cu 200+Pb 300	237	220	229	5,9	2,22	6,40	4,31	7,64
10. Cu 200+навоз+50 т/га	203	225	214	5,2	2,10	5,50	3,80	6,53
11. Cu 200+навоз 50 т/га+ CaCO ₃	197	243	220	4,9	2,50	6,10	4,30	5,71
12. Cu 200+биогумус 5 т/га	210	231	221	5,0	2,08	6,00	4,04	7,09
НСП ₀₅	17,3	13,9			0,254	0,192		

Таблица 7

Влияние уровня загрязнения почвы свинцом на содержание его в зерне яровой пшеницы и на урожайность

Вариант	Урожайность, г/м ²			Содержание Pb, мг/кг
	1996 г.	1997 г.	среднее	
1. Контроль (фон)	250	310	280	0,18
2. Pb 60*	252	315	284	0,19
3. Pb 100	254	290	272	0,19
4. Pb 200	227	240	233	0,38
5. Pb 300	228	235	231	0,51
6. Pb 500	220	220	220	0,56
7. Pb 500+CaCO ₃	254	251	253	0,39
8. Pb 500+2CaCO ₃	256	280	263	0,24
9. Pb 500+Zn 300	260	285	273	0,44
10. Pb 500+навоз 50 т/га	218	230	224	0,44
11. Pb 500+навоз 50 т/га+CaCO ₃	219	247	233	0,35
12. Pb 500+биогумус 5т/га	226	252	240	0,42
НСП ₀₅	19,1	22,5		ПДК 0,2

В случае с обеими культурами для снижения токсичности меди наиболее рациональным оказалось совместное внесение органических удобрений и извести (табл. 6). Содержание меди в зерне яровой пшеницы в этих вариантах не превышало ПДК (4,90 мг/кг против ПДК 5,00 мг/кг) (табл. 6).

Содержание свинца в зерне яровой пшеницы, так же как цинка и меди, возрастало с увеличением доз внесения уксуснокислого свинца в почву (табл. 7). Накопление свинца в зерне яровой пшеницы оставалось в пределах ПДК даже в тех случаях, когда содержание подвижных форм данного элемента превышало ПДК в 6 раз. Внесение извести в почву, применение биогумуса и навоза снижало накопление свинца в зерне яровой пшеницы, но не удерживалось, в отличие от меди, содержание этого элемента в пределах ПДК на сильнозагрязненных почвах. Наиболее сильное влияние на снижение накопления свинца в зерне яровой пшеницы оказало известкование в двойной дозе по полной гидrolитической кислотности почвы.

• Литература

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л: Колос, 1987. — 142 с.
2. Ильин В. О. О надежности гигиенических нормативов содержания тяжелых металлов в почве//Агрохимия. 1992. № 12. — С. 78.
3. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. — М: Агропромиздат, 1990. — 287 с.
4. Минеев В. Г., Дебреци Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и минеральные удобрения. — М: Колос, 1993. — 415 с.
5. Основные направления по повышению плодородия почв и эффективности удобрений в Белоруссии на 1991—1995 гг./Под ред. А. М. Старовойтова и И. М. Богдевича. — Мн., 1991. — 143 с.
6. Тиво П. Ф., Бышко И. Г. Тяжелые металлы и экология. — Мн.: Юнистол, 1996. — 192 с.
7. Цыганов А. Р., Вильдфлуш И. Р., Персикова Т. Ф. Экологические проблемы агрохимии. Учебно-методическое пособие. — Мн., 1997. — 75 с.

Белорусская сельскохозяйственная академия

***А. Р. Цыганаў, І. Р. Вільдфлуш, В. І. Паддубная, М. М. Каль
ПРЫЁМЫ ПА ЗНІЖЭННІ РУХОМАСЦІ ЦЯЖКІХ МЕТАЛАЎ
У ГЛЕБЕ І НАЗАПАШВАННЯ ІХ У РАСЛІНОВОЎЧАЙ ПРАДУКЦЫІ***

Даследаванні, праведзеныя аўтарамі, выявілі высокія дозы салеі цяжкіх металаў моцна прыгняталі расліны ў пачаткавы перыяд вегетацыі на дзярнова-падзолістых легкасуглінавых глебах. Яравая пшаніца мацней за аднагадовыя травы зніжала ураджайнасць пры ўнясенні высокіх доз салеі цяжкіх металаў. У сярэднім за 1996—1997 гг. пры ўнясенні максімальных доз сульфату медзі ўраджайнасць яравой пшаніцы ў параўнанні з кантролем зніжалася на 26%, сернакіслага свінцу — на 21%. Вапнаванне і ўнясенне біягумусу і гною зніжала адмоўнае ўздзеянне павышанай колькасці рухомай формы цяжкіх металаў на ўраджайнасць яравой пшаніцы.

У зерні яравой пшаніцы і зялёнай масе гароха-аўсянай сумесі з павелічэннем узроўня колькасці цяжкіх металаў у глебе найбольш інтэнсіўна ішло назапашванне цынку. Назапашванне медзі і свінцу ў зерні яравой пшаніцы было ў межах гранічна дапушчальнай канцэнтрацыі (ГДК), нават у тых выпадках, калі колькасць рухомай формы гэтых элементаў ў глебе перавышала ГДК у 6 разоў.

Вапнаванне, унясенне біягумусу і гною зніжала назапашванне цынку і свінцу ў зерні яравой пшаніцы, але не забяспечвала, у адрозненне ад медзі, колькасць гэтых элементаў ніжэй за ГДК на моцназабруджаных глебах.

***A. R. Tsyganov, L. R. Vildflush, O. V. Poddubnya, M. N. Kal
METHODS OF DECREASING OF HEAVY METALS MOBILITY IN SOIL
AND ACCUMULATION OF THESE ELEMENTS IN PLANT PRODUCTS***

High doses of heavy metal salts depressed the plants greatly at an early stage of vegetation on sward-podzolic light loams.

After application of high doses of heavy metal salts spring wheat yields were reduced more as compared with that of annual grasses. Maximum doses of copper sulfate reduced the spring wheat yield by 26% on average in 1996—1997 as compared with the control; of zinc sulfate — by 14%, of lead acetate — by 21%.

Liming, application of biohumus and manure reduced the negative influence of increased content of mobile heavy metal forms on spring wheat yields. Zinc was accumulated more intensively in spring wheat grains and green mass of pea-oat mixture when the content of heavy metals in soil increased. Copper and lead accumulation in spring wheat grains was within the limits of permissible concentration, even in cases when tile content of mobile forms of these elements in soil exceeded the limit of permissible concentration by 6 times.

Liming, application of biohumus and manure reduced the accumulation of zinc and lead in spring wheat grains, but unlike copper it didn't provide zinc and lead content below maximum permissible concentration on heavily contaminated soils.