

УДК 631.811.94.033:(631.821+631.859)

СОДЕРЖАНИЕ В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ В КАЧЕСТВЕ ИЗВЕСТКОВОГО УДОБРЕНИЯ

Б. А. ЯГОДИН, Н. В. РЕШЕТНИКОВА, Е. Б. БАБИНСКАЯ
(Кафедра агрономической и биологической химии)

В многолетних полевых и вегетационных исследованиях установлено, что применение сталеплавильных шлаков различных металлургических заводов в качестве известкового удобрения не приводит к увеличению содержания в почве Fe, Cu, Zn, Cd, Ti, Rb, Sr, Zr, но может сопровождаться повышением количества Mn и Сг в концентрациях, не токсичных для растений.

Отходы металлургической промышленности (высокоосновные шлаки) находят все более широкое применение для химической мелиорации почв. Судя по агрохимической оценке шлаков, данной рядом научных учреждений нашей страны (ВИУА, Уральский НИИСХ, Ижевский сельскохозяйственный институт, Тимирязевская академия и др.), они могут успешно заменять стандартную известняковую муку, часто обеспечивая более высокие прибавки урожая, чем известь, и, как правило, улучшая качество сельскохозяйственной продукции [3, 5—7, 9]. Вместе с тем при систематическом применении отходов металлургии в земледелии вполне возможно избыточное накопление в почве ряда элементов, в том числе и тяжелых металлов, входящих в состав шлаков. Это определяет необходимость строгого контроля за изменением содержания последних в почве с тем, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды.

В данной работе рассматриваются эффективность применения сталеплавильных шлаков в качестве известкового удобрения, обладающего комплексным действием, и влияние шлаков на содержание в почве и растениях некоторых тяжелых металлов.

Методика

Исследования проводили в многолетних полевых и вегетационных опытах на различных сельскохозяйственных культурах, а также в модельном лабораторном опыте. Почвы дерново-подзолистые и краснозем (табл. 1). Испытывали сталеплавильные шлаки Ижевского, Череповецкого металлургических заводов и завода «Азовсталь» (табл. 2). Определяли накопление в почве тяжелых металлов в год внесения шлака, в последствии и при повторном шлаковании почвы.

Стационарные полевые опыты 1 (1973—1982 гг.) и 2 (1978—1981 гг.) были проведены в севооборотах опытно-производственного хозяйства «Уромское» Малопургинского района Удмуртской АССР, вегетационные и лабораторные опыты — в вегетационном домике лаборатории агрохимии Тимирязевской академии. Повторность в опытах 3-кратная; площадь опытной делянки 100 м². Для вегетационных опытов использовали сосуды Митчерлиха, вмещающие 7 кг почвы, для лабораторного (компосты) — стеклянные сосуды на 5 кг со стоком для поливных вод. Промывные воды анализировали через 3, 6 и 18 мес, почвенные образцы — через 6 и 18 мес компостирования.

Норму шлака устанавливали по одинарной или двойной величине гидролитической кислотности (1 Н_r и 2 Н_r). В полевом опы-

те 1 через 9 лет после его закладки на полевине площади делянки повторно вносили известь и шлак (по 1 Н_r).

Таблица 1
Агрохимическая характеристика почвы*
перед закладкой опытов

Показатель	Полевые		Вегетационные и лабораторный	
	дерново-подзолистая почва		дерново-подзолистая среднесуглинистая (лесная станция ТСХА)	краснозем (Грузия)
	среднесуглинистая (опыт 1)	супесчаная (опыт 2)		
pH _{сол}	4,3	4,7	4,1—4,3	4,1
H _r , мэкв	7,0	3,4	6,0—6,6	8,7
S, мэкв	7,2	1,8	3,7—4,9	11,8
V, %	51	35	37—45	58
P ₂ O ₅ , мг	6,1	7,9	1,4—2,5	16,7
K ₂ O, мг	5,6	4,5	3,8—4,8	39,9
MgO, мг	9,6	5,3	7,2—10,3	Не опр.
Al, мг	2,5	1,7	5,7—9,4	58,0

* Расчеты проведены на 100 г почвы.

Химический состав шлака (%)
по данным заводских лабораторий

CaO	MgO	SiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Общая нейтрализующая способность шлака, %
Мартеновский шлак Ижевского завода								
40,0	8,2	14,3	4,7	6,8	14,0	6,2	1,0	92
Мартеновский шлак Череповецкого завода								
36,1	12,5	16,4	5,6	3,4	14,1	9,2	0,7	96
Конверторный высокофосфатный шлак завода «Азовсталь»								
28,3	6,1	17,2	9,3	3,0	12,9	2,1	11,0	66

Минеральные удобрения применяли ежегодно в виде аммиачной селитры или мочевины, двойного суперфосфата и хлористого калия в нормах, определяемых схемой опыта с учетом биологических особенностей культур. Урожайные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа, аналитические — дробным методом [10].

Химический анализ растительных образцов после их сухого озоления, а также оп-

ределение содержания тяжелых металлов в почве после экстракции 1 н. HNO₃ (труднорастворимые формы) и ацетатноаммонийным буфером с pH 4,8 (подвижные формы) проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре (Perkin-Elmer 503). Валовые количества тяжелых металлов в почве устанавливали методом рентгено-флуоресцентного анализа.

Результаты

Благодаря содержанию в мартеновских шлаках Ижевского и Череповецкого металлургических заводов 8—12% MgO их применение на почвах легкого гранулометрического состава позволило улучшить магниевое питание растений и увеличить их урожайность в полевых условиях в среднем на 20 % (табл. 3, полевой опыт 2), в вегетационных — на 10—70 % (табл. 4, вегетационные опыты 1, 2). Те же шлаки на почвах, более обеспеченных магнием, действовали только как известковое удобрение (табл. 3, полевой опыт 1).

Эффективность шлаков, особенно высокофосфатных, повышалась и на почвах с низким содержанием фосфора. Так, в вегетационных опытах при внесении конверторного шлака завода «Азовсталь» (11% P₂O₅) урожаи культур были в несколько раз выше, чем в вариантах с известью (табл. 4, вегетационный опыт 3), что объясняется не только снижением почвенной кислотности, но и улучшением фосфатного режима дерново-подзолистой почвы и краснозема. Важно отметить, что шлакоизвестковые удобрения обеспечивали стабильный рост продуктивности сельскохозяйственных культур на протяжении ряда лет (6—7 в полевых опытах, 3—4 в вегетационных) и были достаточно эффективными при повторном внесении.

Таблица 3

Урожайность культур в полевых опытах 1 и 2 при внесении мартеновского шлака Ижевского завода на фоне 120N180P180K

Показатель	Опыт 1				Опыт 2			
	оз. рожь	ячмень	кукуруза (з/м)	в сумме за 3 года, корм. ед.	оз. рожь	овес	многолетние травы	в сумме за 3 года, корм. ед.
	ц/га				ц/га			
Урожай в варианте с известью	31,3	22,3	312,0	94	20,3	15,7	45,7	61
Прибавка от шлака	0,7	0,6	30,0	4	4,6	3,5	6,3	12
НСР ₀₅	3,6	0,7	27,0	—	2,5	2,2	5,3	—

Урожайность культур и содержание в растениях MgO и P₂O₅ в вегетационных опытах 1—3* при внесении извести (числитель) и шлаков (знаменатель)

Показатель	Опыт 1		Опыт 2			Опыт 3			
	райграсс	клевер	просо (з/м)	клевер	яч. пшеница	дерново-подзолистая почва		краснозем	
						кострец (2 года)	кукуруза (з/м)	кострец (2 года)	кукуруза (з/м)
Урожай, г/сосуд	29,8 32,5	56,3 78,9	34,8 37,6	16,1 27,7	4,4 9,9	28,7 131,1	29,5 126,8	12,2 89,9	8,1 36,8
MgO, %	0,85 0,98	0,73 1,18	0,17 0,22	0,30 0,55	0,22 0,27	0,37 0,68	0,51 0,86	0,36 0,50	0,61 1,44
P ₂ O ₅ , %	0,41 0,41	0,65 0,73	0,48 0,86	— —	0,78 0,86	0,18 0,35	0,33 0,49	0,33 0,55	0,50 0,83

* В опытах 1 и 2 на дерново-подзолистой почве применяли мартеповские шлаки соответственно Ижевского и Череповецкого заводов, в опыте 3 на дерново-подзолистой почве и красноземе — высокофосфатный шлак завода «Азовсталь».

Анализ мартеповского и конверторного шлаков, выполненный спектральным приближенно количественным методом, показал, что в них не содержится таких наиболее токсичных для живых организмов тяжелых металлов, как ртуть, мышьяк, свинец¹, и присутствуют в относительно больших количествах марганец, хром, ванадий, титан (1000—3000 мг на 1 кг шлака), медь и барий (80—200 мг/кг), цинк, кобальт, никель, стронций, кадмий (30—60 мг/кг), в малых количествах — молибден, олово и вольфрам (1—3 мг/кг).

По данным химических лабораторий металлургических заводов, количество марганца в сталеплавильных шлаках может колебаться от 1 до 10%, железа (FeO + Fe₂O₃) — от 2 до 7% в мартеповских и до 20% в конверторных [2].

Агрохимику важно знать не только общее содержание элементов в шлакоизвестковом удобрении, но и степень их подвижности и доступности для растений. Например, общее содержание железа в мартеповских шлаках Ижевского и Череповецкого металлургических заводов несколько выше, чем содержание марганца, однако растворимость железа оказалась незначительной: в кислотную вытяжку переходило менее 1% железа шлака, в то время как марганца — 24—42%. Вследствие этого и влияние мартеповских шлаков на содержание марганца и железа в почве было различным.

Растворимость в 1 н. HNO₃ таких элементов, как медь, цинк, хром, входящих в состав мартеповского шлака Ижевского завода, была невысокой и составляла соответственно 1,3, 5,8, 0,06% их валового содержания.

В шлаках содержится относительно большое количество кислото-растворимого кобальта — 4,4—5,1 мг/кг, или почти 13% общего, в почве валовое содержание этого элемента в среднем составляет 8 мг/кг, а подвижных его форм, например, в дерново-подзолистой почве (определение методом Пейве — Ринькиса в вытяжке 1 н. HNO₃) колеблется от 0,12 до 3 мг/кг. Вызывает опасения высокое общее содержание в шлаках хрома (3000—5000 мг/кг), хотя растворимость его оказалась небольшой, а валовое содержание в почвах может достигать 200 мг/кг.

Согласно табл. 5 однократное применение шлакоизвесткового

¹ В шлаках не были также обнаружены следующие элементы: Be, Ge, Y, Ag, Sb, Nb, Ce, Yb, Ta, Au, Bi.

**Возможное увеличение содержания тяжелых металлов в почве
при внесении мартеновского шлака Ижевского металлургического завода**

Показатель	Mn	Co	Cu	Zn	Cr	Cd
Содержание в шлаке (вытяжка 1 н. HNO ₃), мг/кг	8800	5.1	1,3	2,9	1,7	Не обн.
Содержание в почве (кларк), мг/кг	850	8	20	50	200	—
Возможное увеличение содержания в почве при внесении 10 т шлака на 1 га, ‰ к кларку	3,40	0,20	0,02	0,02	0,003	—
Пороговые уровни содержания элементов в почве, мг/кг:						
по [4]	3000	30	60	70		3
по [11]	400	50	50	300	100	3

удобрения в норме 10 т/га не может привести к избыточному накоплению в почве тяжелых металлов, так как возможное увеличение их содержания в ней (например, меди, цинка и хрома на 0,02—0,03, кобальта на 0,2 %) относительно кларка не превысит установленные пороговые уровни.

На основании анализа литературных данных был предложен способ расчета обогащения тяжелыми металлами слоя почвы 0—20 см при внесении различных промышленных отходов [11]; оно определяется как частное от деления максимально допустимого содержания токсиканта в почве (г/га) на содержание элемента в отходе (г/т).

Используя этот способ расчета, получим, что для превышения предельно допустимого уровня марганца в почве (например, 400 мг/кг по [11]) надо внести около 140 т мартеновского шлака Ижевского завода на 1 га. Для таких элементов, как кобальт, медь, цинк, хром, максимальные нормы шлака будут еще более значительными — порядка нескольких тысяч тонн на 1 га.

Расчеты показывают также, что при внесении 10 т шлакоизвесткового удобрения на 1 га допустимый уровень содержания тяжелых металлов в почве может быть превышен при концентрации марганца в шлаке больше 40 000 мг/кг, кобальта и меди — 50 000, цинка — 30 000 мг/кг, что значительно выше валового содержания этих элементов в удобрении. Тем не менее использование отходов металлургической промышленности в качестве химического мелиоранта может способствовать увеличению содержания ряда тяжелых элементов в почве, и с этим необходимо считаться в сельскохозяйственной практике, причем учитывать особенности взаимодействия с почвой различных видов сталеплавильных шлаков: мартеновского, конверторного, электросталеплавильного. Эти вопросы не нашли еще должной разработки в агрохимической науке.

Результаты наших исследований указывают на возможность увеличения содержания в почве мар-

**Таблица 6
Содержание марганца и железа (мг/л)
в промывной воде при внесении
мартеновского шлака Череповецкого
завода
по I Н_r (лабораторный опыт)**

Вариант опыта	Mn			Fe		
	3	6	18	3	6	18
Без удобрений (контроль)	28	19	2	47	28	5
0,5N0,5K — фон 1	59	39	5	24	36	3
По фону 1: CaCO ₃ шлак	20	21	55	Сл.	Сл.	Сл.
1,5N1,5K — фон 2	107	132	89	»	»	»
По фону 2: CaCO ₃ шлак	42	33	138	1	»	»
				»	»	»

Содержание марганца и железа (мг/кг)
в почве при внесении шлака
Череповецкого завода по 1 Н_г
(лабораторный опыт)

Вариант опыта	Через 6 мес			Через 18 мес				
	рН _{сол}	Mn		рН _{сол}	Mn		Fe	
		1 н.	HNO ₃		1 н. HNO ₃	0,1 н. H ₂ SO ₄	1 н. HNO ₃	0,1 н. H ₂ SO ₄
Без удобрений (контроль)	4,3	225	570	4,3	220	183	583	473
1,5N1,5K — фон	4,2	202	636	4,1	599	581	757	555
По фону:								
CaCO ₃	5,7	134	548	5,7	337	280	681	471
шлак	4,5	241	955	5,3	723	366	701	467

ганца при невысокой нейтрализующей активности мартеновского шлака. Это наблюдалось непосредственно после применения мелиоранта и зависело от подкисляющего действия минерального фона.

О возможности перехода марганца шлака в почвенный раствор можно судить по данным модельного лабораторного опыта. В вариантах с углекислым кальцием уже через 3 мес в 2 раза снижалось содержание этого элемента в промывной воде, а через 18 мес выявлялись только его следы (табл. 6).

При внесении шлака содержание марганца уменьшалось медленнее, особенно на повышенном уровне азотно-калийного удобрения. В варианте со шлаком концентрация марганца в промывной воде через 6 мес была выше, чем в фоновом, на 25 мг/л (табл. 6), а в почве — на 39 мг/кг (табл. 7); и только через 18 мес в результате проявления нейтрализующего действия шлака происходило явное уменьшение перехода марганца в почвенный раствор и содержания подвижных форм элемента в почве.

В вегетационных и полевых опытах также была установлена сопряженность между нейтрализующей активностью шлака и его влиянием на содержание подвижного марганца в почве (табл. 8, 9).

Таблица 8

Содержание марганца и железа (мг/кг)
в дерново-подзолистой почве
при внесении различных известковых
удобрений по 1 Н_г
(вегетационный опыт 4)

Вариант опыта	рН _{сол}	Mn		Fe
		1 н. HNO ₃	0,1 н. H ₂ SO ₄	
		0,1 н. H ₂ SO ₄		
0,3N0,5P1,0K — фон	4,6	152	130	271
По фону:				
CaCO ₃	6,0	154	102	298
доломитовая мука	5,6	151	112	368
шлак Череповецкого завода	5,0	242	175	341
CaSiO ₃ (CaO — эквивалентно шлаку)	5,0	160	119	240

Таблица 9

Содержание марганца и железа (мг/кг)
в почве при внесении шлака
Ижевского завода и извести по 1 Н_г
(полевой опыт 2)

Вариант опыта	рН _{сол}	Mn		Fe
		1 н. HNO ₃	0,1 н. H ₂ SO ₄	
		1 н. HNO ₃		
Без удобрений (контроль)	4,4	123	106	93
На 9-й год после внесения:				
CaCO ₃	4,7	92	74	92
шлака	4,3	210	167	94
В 1-й год после повторного внесе- ния:				
CaCO ₃	6,7	109	51	92
шлака	5,3	220	79	94

Содержание тяжелых металлов
(мг/кг в 1 н. HNO₃) в почве
после длительного последствия
и повторного внесения
мартеповского шлака по 1 Н_Г
(полевой опыт 2)

Вариант опыта	pH _{сол}	Си	Zn	Cr	Cd
Без удобрений На 9-й год после внесения:	4,4	7,13±0,09	7,87±0,34	1,87± 1,18	0,087±0,012
CaCO ₃	4,7	8,17±0,26	8,60±0,35	1,97±0,18	0,090±0,012
шлака	4,3	7,20±0,29	8,87±0,35	2,50±0,23	0,077±0,007
В 1-й год после пов- торного внесения:					
CaCO ₃	6,7	7,93±0,07	7,37±0,35	2,93±0,34	0,070±0,012
шлака	5,3	8,30±0,23	7,43±0,23	10,20±0,36	0,090±0,012

Таблица 11

Содержание тяжелых металлов (мг/кг в 1 н. HNO₃ — в числителе,
в CH₃COONH₄ при pH 4,8 — в знаменателе) в почве
при внесении конверторного шлака и извести по 1 Н_Г (вегетационный опыт 3)

Вариант опыта	Дерново-подзолистая почва				Краснозем			
	pH _{сол}	Cu	Zn	Cd	pH _{сол}	Cu	Zn	Cd
Без удобрений (контроль)	4,4	$\frac{6,8}{0,9}$	$\frac{3,6}{2,8}$	$\frac{0,2}{Сл.}$	4,1	$\frac{2,8}{6,0}$	$\frac{4,9}{3,6}$	$\frac{0,2}{Сл.}$
0,75NO,75K — фон	4,0	$\frac{6,9}{0,9}$	$\frac{5,7}{5,2}$	$\frac{0,3}{Сл.}$	4,0	$\frac{32}{3,8}$	$\frac{10,5}{10,2}$	$\frac{0,3}{Сл.}$
По фону:								
CaCO ₃	5,1	$\frac{6,7}{0,9}$	$\frac{4,6}{3,6}$	$\frac{0,2}{Сл.}$	4,8	$\frac{31}{2,2}$	$\frac{7,8}{3,1}$	$\frac{0,4}{Сл.}$
шлак	5,1	$\frac{7,0}{1,0}$	$\frac{3,6}{2,6}$	$\frac{0,2}{Сл.}$	4,7	$\frac{29}{2,6}$	$\frac{5,4}{2,8}$	$\frac{0,5}{Сл.}$

Известковые удобрения, обладающие разной нейтрализующей способностью (CaCO₃, доломитовая мука, мартеповский шлак, CaSiO₃), неодинаково влияли на содержание марганца в почве (табл. 8). Учи-

Таблица 12

Валовое содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почве
при внесении различных норм конверторного шлака в 1-й (в числителе)
и 2-й (в знаменателе) годы вегетационного опыта 3

Вариант опыта	Дерново-подзолистая почва				Краснозем			
	TiO ₂	Rb	Sr	Zr	TiO ₂	Rb	Sr	Zr
НК — фон	$\frac{0,68}{0,67}$	$\frac{72}{73}$	$\frac{133}{131}$	$\frac{404}{416}$	$\frac{1,10}{1,07}$	$\frac{46}{43}$	$\frac{112}{103}$	$\frac{79}{98}$
По фону:								
CaCO ₃ 1 Н _Г	$\frac{0,67}{0,67}$	$\frac{74}{68}$	$\frac{143}{120}$	$\frac{397}{423}$	$\frac{1,11}{1,17}$	$\frac{47}{43}$	$\frac{123}{121}$	$\frac{81}{78}$
шлак 1 Н _Г	$\frac{0,66}{0,66}$	$\frac{74}{72}$	$\frac{136}{123}$	$\frac{389}{415}$	$\frac{1,17}{1,07}$	$\frac{40}{41}$	$\frac{112}{102}$	$\frac{91}{90}$
CaCO ₃ 2 Н _Г	$\frac{0,62}{0,61}$	$\frac{68}{67}$	$\frac{124}{118}$	$\frac{396}{410}$	$\frac{1,09}{1,02}$	$\frac{42}{37}$	$\frac{128}{116}$	$\frac{96}{88}$
шлак 2 Н _Г	$\frac{0,73}{0,72}$	$\frac{75}{64}$	$\frac{139}{121}$	$\frac{388}{395}$	$\frac{1,13}{1,05}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{116}{104}$	$\frac{87}{86}$

Таблица 14

Потребление марганца и железа
различными культурами
(мг на 1 кг сухого вещества)
при внесении мартеновских шлаков по 1 Н_г

Вариант опыта	Mn	Fe
Вегетационные опыты		
Яр. пшеница (зерно)		
НРК — фон	62	165
По фону:		
CaCO ₃	17	51
шлак		
Череповецкого за- вода	17	50
Овес (зерно)		
НРК — фон	133	295
По фону:		
CaCO ₃	71	293
шлак		
Череповецкого за- вода	80	281
Просо (на зеленую массу)		
По фону НРК:		
CaCO ₃	25	Не опр.
шлак		
Ижевского завода	20	» »
Полевой опыт 2		
Оз. рожь (зерно)		
По фону НРК:		
CaCO ₃	41	180
шлак		
Ижевского завода	39	173
Овес (зерно)		
По фону НРК:		
CaCO ₃	52	237
шлак		
Ижевского завода	54	241

Подвижность в почвах таких элементов, как железо, медь, цинк, кадмий (табл. 9—11), а также валовое содержание титана, рубидия, стронция, циркония (табл. 12) мало изменялись под влиянием стале-

Таблица 13

Содержание тяжелых металлов (мг/кг)
в дерново-подзолистой почве
на 6-й год вегетационного опыта 5

Вариант опыта	TiO ₂	Rb	Sr	Zr
1.5N1.5K — фон	0,57	64	114	352
По фону:				
CaCO ₃ 1 Н _г	0,58	70	123	342
шлак				
Ижевского завода	0,49	62	114	339
шлак				
Череповец- кого завода	0,50	63	115	345
шлак				
завода				
«Азовсталь»	0,43	58	114	338

плавильных шлаков даже в процес-
се длительного взаимодействия их с
почвой (табл. 13).

В настоящее время еще не раз-
работаны строгие нормативы за-
грязнения почв и растительности
тяжелыми металлами. Однако боль-
шинство исследователей [1, 9, 12]
считают, что к токсичному следует
отнести такое содержание в почве
тяжелых металлов, при котором
урожайность растений снижается на
5—10 %. Получение стабильно вы-
соких урожаев культур при исполь-
зовании шлагоизвесткового удобре-
ния, а также данные о содержании
тяжелых металлов в растительном
материале (табл. 14, 15) показыва-
ют, что количество поступивших со-

тывая, что в шлаках кальций и маг-
ний представлены силикатами, в
опыте применили для сравнения
соль CaSiO₃. В первый год реакция
почвы изменялась в равной степе-
ни от внесения шлака и CaSiO₃, од-
нако силикат кальция почти не
влият на содержание труднораство-
римых форм марганца (вытяжка
1 н. HNO₃) в почве и снижал со-
держание подвижных его форм (вы-
тяжка 0,1 н. H₂SO₄), а шлак, на-
против, увеличивал количество тех
и других форм марганца в почве,
что вызвано, очевидно, поступлени-
ем элемента с мелиорантом.

Математическая обработка ре-
зультатов исследований выявила
обратную зависимость между реак-
цией среды и содержанием марган-
ца в почве. В полевом опыте коэф-
фициент корреляции составил 0,74.
На 9-й год после внесения химиче-
ских мелиорантов при низких значе-
ниях рНсол содержание подвижного
марганца в варианте со шлаком
было в 2 раза выше, чем по извести
(табл. 9). При повторном внесении
шлака наблюдалось увеличение
рНсол до 5,3, что обеспечило сниже-
ние содержания подвижных форм
марганца в почве по сравнению с
контролем. Применение мартенов-
ского шлака Ижевского завода со-
провождалось увеличением содер-
жания в дерново-подзолистой почве
хрома, причем особенно значитель-
ным после повторного внесения
шлака (табл. 10).

В настоящее время еще не раз-
работаны строгие нормативы за-
грязнения почв и растительности
тяжелыми металлами. Однако боль-
шинство исследователей [1, 9, 12]
считают, что к токсичному следует
отнести такое содержание в почве
тяжелых металлов, при котором
урожайность растений снижается на
5—10 %. Получение стабильно вы-
соких урожаев культур при исполь-
зовании шлагоизвесткового удобре-
ния, а также данные о содержании
тяжелых металлов в растительном
материале (табл. 14, 15) показыва-
ют, что количество поступивших со-

Потребление тяжелых металлов
(мг на 1 кг сухого вещества)
кострцом безостым
при внесении конверторного шлака завода
«Азовсталь» по 1 Н_г (вегетационный опыт 3)

Вариант опыта	Дерново-подзолистая почва				Краснозем			
	Mn	Fe	Zn	Cd	Mn	Fe	Zn	Cd
НК — фон	2072	279	70	0,016	351	1713	150	0,015
По фону:								
CaCO ₃	326	209	26	0,011	226	343	123	0,014
шлак	451	170	11	0,012	199	223	100	0,015
Рс(эквивалентно Р ₂ O ₅ шлака)	750	136	18	0,016	377	224	216	0,019

шлаками в почву тяжелых металлов не превышает токсичных для растений концентраций.

Выводы

1. При использовании сталеплавильных шлаков в земледелии необходимо учитывать их сложный химический состав и комплексный характер воздействия на почву и растения.

2. Наиболее эффективно применение мартеновских шлаков на почвах легкого механического состава, бедных магнием. На дерново-подзолистой супесчаной почве в варианте со шлаком урожайность сельскохозяйственных культур за 3 года была в среднем на 20 % выше, чем в вариантах с известью, тогда как на среднесуглинистой почве — всего на 4%. На кислых почвах с низким содержанием фосфора хорошие результаты получены от внесения высокофосфатного конверторного шлака металлургического завода «Азовсталь» (11 % Р₂O₅).

3. При известковании почв шлаками выявлена возможность увеличения содержания в почве марганца и хрома. Количество подвижного марганца в почве и потребление его растениями зависело от нейтрализующей активности шлака; увеличение содержания хрома отмечено при разовом и повторном внесении шлакоизвесткового удобрения.

4. Шлаки не вызывали увеличения содержания в почве большинства изучаемых тяжелых металлов: железа, меди, цинка, кадмия, титана, рубидия, стронция, циркония.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. А., Гальпер Н. Я., Клименко Г. А. и др. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. — М.: ВАСХНИЛ, 1978. — 2. Васильева С. Н., Менаджиева Р. А. Эффективность применения и перспективы рациональных перевозок шлакоизвестковых удобрений. — Тр. УралНИИЧМ, Свердловск, 1976, т. 25, с. 11—16. — 3. Довгопол В. И. Металлургические шлаки в сельск. хоз-ве. — М.: Металлургия, 1980. — 4. Ковальский В. В., Андрианова Г. А. Микроэлементы в почвах СССР. — М.: Наука, 1970 г. — 5. Култышев В. П. Применение металлургических шлаков в качестве известковых удобрений на почвах Удмуртской АССР. — Автореф. канд. дис., Ижевск, 1972. — 6. Лебедев Б. А., Караваяев В. Н. Влияние основных мартеновских шлаков на урожай сельскохозяйственных культур. — Тр. УралНИИСХ. Свердловск, 1963, т. 4, с. 116—131. — 7. Решетникова Н. В., Юдин Ф. А. Эффективность применения мартеновских шлаков в сочетании с полным минеральным удобрением. — Докл. ТСХА, 1967, вып. 124, с. 113—118. — 8. Садименко П. А. Охрана почв. — Ростов: Ростовский ун-т, 1983. — 9. Сонина К. И., Мельникова М. Н. Влияние известьесодержащих отходов промышленности на рост и развитие некоторых сельскохозяйственных растений и качество продукции. — Химия в сельск. хоз-ве, 1971, № 7, с. 9—14. — 10. Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований. — М.: Колос, 1980. — 11. Cottenie A. — Agrochimica. 1983, vol. 37, N 2—3, p. 202—212.

Статья поступила 28 сентября 1987 г.

SUMMARY

In long-term field and greenhouse experiments steel-smelting slags from different metallurgical plants of the country were investigated in order to study their effect on accumulation of some heavy metals in soil and in plants in case they are used as lime fertilizers.

Application of the slags did not result in higher content of Fe, Cu, Zn, Cd, Ti, Rb, Sr, Zr in the soil, but could increase the amount of Mn and Cr, which, as it was shown by analysis, did not exceed concentrations that were toxic for plants.