

УДК 633.262:631.811.2.033:[631.821.1 + 631.859

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОФОСФАТНОГО ШЛАКА НА УРОЖАЙ КОСТРЕЦА БЕЗОСТОГО И НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ

Б. А. ЯГОДИН, Н. В. РЕШЕТНИКОВА, Э. КИМАМБО
(Кафедра агрономической и биологической химии)

В вегетационных опытах изучалась эффективность высокофосфатного конверторного шлака (P_2O_5 11 %), используемого для известкования неокультуренной дерново-подзолистой почвы и краснозема. Установлено, что эффективность шлака зависит от его дозы, времени взаимодействия с почвой, формы азотного удобрения и типа почвы. Для костреца безостого на дерново-подзолистой почве оптимальной была доза шлака по 1 г. к., а в последствии — 2 г. к. на фоне как мочевины, так и сульфата аммония. На красноземе наибольшая прибавка урожая в обоих случаях получена при внесении шлака по 2 г. к. на фоне мочевины и по 1 г. к. на аммонийном фоне. В вариантах со шлаком возросло содержание железа и марганца в дерново-подзолистой и красноземной почве (вытяжка 1,0 н. HNO_3). На содержание меди, кобальта, кадмия шлак не оказал влияния.

Многими исследователями установлена высокая эффективность металлургических шлаков, применяемых в качестве удобрения [1, 4, 6, 7]. Однако при использовании отходов металлургической промышленности не исключена возможность загрязнения почв тяжелыми металлами и накопления их в растениях [3]. В связи с этим очевидна необходимость определения степени вероятности такого загрязнения, которое неблагоприятно сказывается на росте и развитии сельскохозяйственных культур, приводит к снижению урожая и ухудшению качества продукции [2].

Учитывая, что на содержание тяжелых металлов в почве и растениях должны влиять дозы шлаков, тип почв и форма азотных удобрений, мы в вегетационных опытах с кострцом безостым изучали проявление указанных зависимостей.

Методика исследований

Для вегетационных опытов с кострцом безостым (сорт Моршанский 766), заложённых в 1983 г., были взяты два типа почв: неокультуренная дерново-подзолистая среднесуглинистая с Лесной опытной дачи ТСХА и краснозем (из западной Грузии). У дерново-подзолистой почвы pH_{CO_2} — 4,10, $N_{г.к.}$ — 4,55, $N_{общ.}$ — 1,90 мг-экв на 100 г, T — 7,0 мг-экв на 100 г, V — 35 %, содержание усвояемых P_2O_5 и K_2O по Кирсанову — 1,3 и 6,4 мг на 100 г; у краснозе-

ма pH_{CO_2} — 4,10, $N_{общ.}$ — 5,0 мг-экв, S — 18,3, T — 27,0 мг-экв, V — 67 %, содержание P_2O_5 и K_2O по Ониани — 16,9 и 39,4 мг на 100 г.

В опытах использовали сосуды Митчеллиха на 7,0 кг почвы. Повторность 3-кратная.

Удобрения в виде растворов мочевины, сульфата аммония и хлористого калия вносили ежегодно при набивке сосудов по следующей схеме:

- 1 — без удобрений;
2 — 0,75K + 0,75N в виде мочевины — фон I;
11 — 0,75K + 0,75N в виде сульфата аммония — фон II.

По фону I		По фону II		По фону I	
3 — $CaCO_3$,	0,25 г. к.	12 — $CaCO_3$	0,25	20 - P_c	экв. P_2O_5 шл.
4 — »	0,5	13 — »	0,5	21 — »	0,5
5 — »	0,1	14 — »	1,0	22 — »	1,0
6 — »	0,2	15 — »	2,0	23 — »	2,0
7 — шлак,	0,25	16 — шлак,	0,25		
8 — »	0,5	17 — »	0,5		
9 — »	0,1	18 — »	0,1		
10 — »	0,2	19 — »	0,2		

Для известкования почвы использовали известь (х. г. CaCO_3) и конверторный высокофосфатный шлак (завод Азовсталь) следующего состава (в %): CaO — 28,3; MgO — 6,1; SiO_2 — 17,2; MnO — 9,3; $\text{Fe}_{\text{общ}}$ — 12,1; FeO — 12,9; Fe_2O_3 — 3,0; Al_2O_3 — 2,1; P_2O_5 — 11,0. Общая нейтрализующая способность шлака 36,9 %. Известковые удобрения вносили в долях по гидролитической кислотности только в год закладки опытов (1983).

Кострец безостый убирали по мере его отрастания — 2 раза за вегетационные периоды 1983 и 1984 гг. Растения поливали дистиллированной водой. Техника закладки, полива и ухода за растениями в вегетационных опытах общепринята.

Для анализов брали среднюю пробу из всех параллельных сосудов. Растительный материал анализировали в 2-кратной повторности. После мокрого озоления в одной навеске определяли содержание фосфора

по Труогу — Мейеру колориметрически на ФЭК, калия — на племенном фотометре, после сухого озоления Ca , Mg и содержание тяжелых металлов (Fe , Mn , Zn , Co , Ni и Cd) — на атомно-адсорбционном спектрофотометре «Перкин Элмер 503» (США). Этот же спектрофотометр использовали для определения тяжелых металлов в почве после экстракции 1н. HNO_3 кислотой (труднорастворимые формы) и ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 (подвижные соединения). В смешанных образцах почвы определяли также сумму поглощенных оснований по Каппену — Гильковицу, гидролитическую кислотность — по Каппену, обменную кислотность и алюминий — по Соколову, содержание подвижных фосфора и калия — по Кирсанову (для дерновоподзолистой почвы) и по Ониани (для краснозема), кальций и магний — на ААС.

Результаты исследований

Внесение в почву металлургических шлаков и извести оказало существенное влияние на урожай костреца безостого и плодородие почвы как в год их применения, так и в последствии.

Под влиянием химических мелиорантов снижались все виды почвенной кислотности, причем их действие повышалось с увеличением дозы. В течение первого года наиболее значительные изменения свойств почвы произошли при внесении двойной дозы шлака (табл. 1): значение $\text{H}_0\text{б}$ приближалось к нулю, содержание подвижного алюминия не превышало 1,0 мг на 100 г, значительно снизилось значение $\text{H}_\text{г}$, повысились сумма поглощенных оснований, содержание кальция и магния, а также степень насыщенности основаниями.

Как видно из табл. 2, в годы проведения опытов на дерново-подзолистой почве и красноземе урожай костреца безостого повышался при внесении мелиорантов, причем в вариантах со шлаком независимо от формы азотного удобрения и типа почвы он был в 3—7 раз выше, чем в вариантах с известью.

Из табл. 2 следует также, что эффективность мелиорантов во многих вариантах увеличивалась на второй год, т. е. последствие их превосходило первичное воздействие.

Форма азотных удобрений влияла на эффективность мелиорантов. Так, большие прибавки урожая на дерново-подзолистой почве от извести в оба года опыта и от шлака в первый год получены при внесении мочевины. В последствии шлака прибавки урожая оказались более высокими по аммонийному фону, несмотря на значительное подкисление почвы физиологически кислой солью сульфата аммония.

При мелиорации краснозема в вариантах и с известью, и со шлаком большие урожаи костреца безостого получены при использовании аммонийной формы азота.

В наш опыт в целях выяснения действия фосфора, входящего в состав шлака (более 10 % по массе), были включены варианты с суперфосфатом, который вносили по фону I в дозах, эквивалентных содержанию фосфора в шлаке (варианты 20—23). Урожаи костреца безостого на дерново-подзолистой почве в вариантах 22 и 23 в 1983 и 1984 гг. оказались ниже, чем при внесении соответствующих доз шлака (варианты 5 и 6), а на красноземе — в 1984 г., т. е. в последствии урожаи во всех вариантах с суперфосфатом были меньше, чем в вариантах со

¹ Поскольку закономерность эта проявлялась и по фону I и по фону II на обоих типах почв и лучшие результаты получены при дозах мелиорантов по 1,0 и 2,0 г. к., для сокращения цифрового материала в таблицах опущены данные по вариантам с более низкими дозами извести и шлака.

Агрохимические свойства почвы в 1983 г. (числитель) и в 1984 г. (знаменатель)

№ ва- риантов	pH _{сoл}	H _{об}	H _г	Ca	Mg	P ₂ O ₅	K ₂ O	Al
	мг·жв/100 г					мг/100 г		
Дерново-подзолистая почва								
	4,12	1,19	4,55	1,3	0,4	1,3	6,4	9,2
1	4,05	1,18	5,35	1,2	0,4	0,8	4,1	9,3
	4,05	1,36	4,66	1,3	0,4	1,5	18,5	10,9
2	3,95	1,81	5,04	1,2	0,4	0,8	18,1	10,7
	5,25	0,20	1,98	3,3	0,5	1,7	15,8	1,0
5	5,05	0,07	1,89	5,4	0,3	0,7	17,4	0,5
	7,07	0,05	0,70	3,3	0,5	1,6	13,8	0,1
6	6,90	0,01	0,19	9,2	0,2	0,8	14,8	Сл.
	5,20	0,20	2,21	3,3	1,2	16,1	5,5	1,0
9	5,10	0,05	1,84	4,5	1,7	11,5	4,2	0,3
	6,21	0,20	1,31	4,5	1,5	53,3	5,1	0,9
10	6,25	0,02	1,26	7,6	2,2	42,0	5,4	Сл.
	4,05	1,51	4,41	1,4	0,6	1,7	18,1	11,9
11	3,90	1,62	6,14	1,4	0,3	0,3	19,7	13,6
	4,90	0,20	2,47	3,5	0,5	1,7	17,4	1,2
14	5,45	0,15	2,25	4,8	0,2	1,3	20,3	1,0
	6,76	0,13	0,83	5,4	0,5	2,2	15,4	0,4
15	6,85	0,02	0,58	8,3	0,1	0,8	15,8	0,1
	5,00	0,15	2,38	3,1	1,3	16,9	5,8	0,7
18	4,60	0,12	2,30	8,2	1,7	15,0	4,0	0,9
	6,15	0,11	1,36	4,3	1,3	60,0	5,1	0,4
19	5,85	0,03	0,95	8,5	2,4	30,5	4,2	0,2
	4,06	1,28	4,34	0,6	0,3	17,3	7,8	10,9
22	4,05	1,24	4,25	2,3	0,4	14,3	6,5	10,4
	4,03	1,00	4,18	1,1	0,3	52,7	5,0	8,9
23	4,15	0,65	3,62	2,8	0,4	30,3	5,2	5,3
Краснозем								
	4,05	5,95	Не опр.	2,2	2,1	7,2	32,5	52
1	4,10	6,70	»	2,3	2,0	3,8	25,0	60
	4,00	6,18	»	3,5	2,1	10,8	52,5	54
2	3,95	9,70	»	3,7	2,0	2,8	51,5	87
	4,59	0,32	»	6,9	2,0	10,3	43,1	3
5	4,75	0,60	»	8,6	1,9	5,0	33,5	5
	5,78	0,07	»	9,5	2,1	11,3	49,4	Сл.
6	5,83	0,06	»	14,3	2,0	5,0	51,5	Сл.
	4,45	0,54	»	6,5	2,2	98,1	26,9	4
9	4,65	0,60	»	8,8	5,8	33,8	25,5	5
	5,33	0,19	»	8,2	2,2	218,0	18,8	1
10	5,65	0,20	»	12,7	6,3	66,3	15,5	1
	3,98	7,16	»	1,5	2,1	8,7	45,6	64
11	3,92	10,10	»	2,8	2,2	Сл.	50,5	91
	4,71	0,24	»	7,1	2,0	15,6	45,6	1
14	4,80	0,60	»	9,9	2,1	6,3	50,5	5
	5,85	0,08	»	9,2	2,1	26,1	41,9	Сл.
15	5,90	0,10	»	15,4	2,0	12,5	43,0	1
	4,57	1,30	»	6,5	2,2	110,5	20,0	11
18	4,59	0,90	»	8,7	5,4	33,8	20,5	8
	5,35	0,39	»	8,2	2,2	181,5	22,5	3
19	5,62	0,20	»	12,1	5,7	63,8	17,5	1
	4,00	4,60	»	3,1	2,1	127,0	34,4	40
22	4,00	4,30	»	3,5	2,0	29,0	39,5	39
	4,01	4,18	»	4,0	2,1	270,0	27,5	37
23	4,03	6,50	»	4,4	2,1	71,3	40,5	58

Урожай сухой массы костреца безостого (г/сосуд)

№ варианта	Дерново-подзолистая почва			Краснозем		
	1982	1984	за 2 года	1983	1984	за 2 года
1	3,4	6,6	10,0	1,8	1,2	3,0
2	1,9	0,9	2,8	2,7	1,7	4,4
3	—	—	—	2,4	1,9	4,3
4	4,4	13,1	17,5	3,0	1,4	4,4
5	9,2	19,5	28,5	5,9	6,3	12,2
6	9,8	20,5	30,3	6,5	14,8	21,2
7	—	—	—	10,2	9,1	19,3
8	42,7	32,8	75,5	15,5	5,5	21,0
9	69,1	62,0	131,1	37,3	52,6	89,6
10	62,4	82,1	144,5	63,1	87,4	150,5
и	1,3	0,7	2,0	2,5	1,6	4,1
12	—	—	—	2,7	2,1	4,8
13	3,9	4,1	8,0	5,7	3,3	9,0
14	5,2	11,6	17,8	12,0	21,0	33,0
15	6,8	25,5	32,3	18,7	41,5	60,2
16	—	—	—	10,7	9,2	19,9
17	40,2	41,0	81,2	16,3	17,7	34,0
18	59,6	71,6	131,2	53,0	73,3	126,3
19	61,2	90,1	151,3	48,6	89,2	137,8
20	—	—	—	15,2	7,8	23,0
21	32,7	8,7	41,4	28,9	7,9	36,8
22	50,4	42,1	92,5	32,9	14,1	47,0
23	52,6	72,4	125,0	48,3	23,1	71,4
нср' ₀₅						
I укос	1,4	0,7	1,7	0,7	1,2	1,8
II »	0,4	0,4	—	0,6	0,7	—
нср'' ₀₅						
I укос	2,9	0,4	—	1,2	0,3	—
II »	0,4	0,2	—	1,7	0,5	—

шлаком. При внесении шлака фосфор, по-видимому, постепенно переходит в почвенный раствор по мере взаимодействия шлака с почвой и таким образом предохраняется от фиксации почвенными коллоидами и в меньшей степени связывается с полуторными окислами. Следовательно, при использовании конверторного высокофосфатного шлака в сельском хозяйстве отпадает необходимость во внесении извести в кислые почвы и дополнительном внесении дефицитных фосфорных удобрений.

Расчеты воздействия на урожай костреца безостого фосфора шлака и его нейтрализующей способности (сравнение вариантов 9, 10 со шлаком и 22, 23 с суперфосфатом) показали, что на красноземе из полученных за два года в варианте 9 (шлак по 1,0 г. к.) 90 г сухой массы растений на сосуд 13 % урожая было сформировано за счет нейтрализующей способности шлака, а 53 % — за счет фосфора шлака; в варианте 10 (шлак по 2,0 г. к.) из полученного урожая 150 г/сосуд 14 % — за счет нейтрализующей способности шлака и более 48 % — за счет фосфора шлака.

На дерново-подзолистой почве в тех же вариантах было получено по 131 и 145 г сухой массы растений на сосуд, участие нейтрализующей способности шлака в создании этих урожаев составило 21 и 22 %, участие фосфора — 71 и 87 %. Таким образом, эти расчеты еще раз свидетельствуют о том, что конверторный шлак является не только хорошим нейтрализатором почвенной кислотности, но и дополнительным источником фосфорного питания для растений. По сравнению с суперфосфатом фосфор шлака на кислых почвах более доступен растениям и в меньшей степени закрепляется в почве.

При использовании отходов металлургической промышленности в качестве удобрения в почву поступает значительное количество пита-

тельных веществ, в том числе микроэлементов и тяжелых металлов, которые могут явиться источниками загрязнения почв.

Железо в вытяжке 1,0 н. HNO_3 в дерново-подзолистой почве в варианте без удобрений составило 127 мг на 100 г. При внесении мочевины или сульфата аммония его содержание повысилось на 10 %. Это вызвано подкислением почвы, которое, в свою очередь, определило переход значительных количеств Fe (III) в растворимое и подвижное Fe (II).

Во всех вариантах с известью не отмечено заметного влияния этого мелиоранта на содержание общего железа в дерново-подзолистой почве (рисунок). В вариантах с металлургическим шлаком на фоне мочевины оно увеличилось от 156 мг при дозе 0,5 г. к. до 173 мг на 100 г при дозе 2,0 г. к.; на фоне сульфата аммония наблюдалась аналогичная закономерность. По всей вероятности, железо, находящееся в шлаке, переходит в 1,0 н. HNO_3 вытяжку.

Содержание железа в вытяжке $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с pH 4,8, на оборот, уменьшалось при внесении мелиорантов. Так, с увеличением дозы известки от 0,5 до 2,0 г. к. содержание подвижного железа на фоне мочевины снизилось с 20 до 14 % к общему, на фоне сульфата аммония — с 20 до 11 %. Интересно также отметить резкое уменьшение содержания подвижного железа в варианте 23 (доза суперфосфата, эквивалентная дозе шлака, по 2,0 г. к.) — до 10 % от общего против 18 % в варианте 21 (доза суперфосфата, эквивалентная дозе шлака, по 0,5 г. к.).

Под влиянием химических мелиорантов четко изменялось содержание форм марганца в дерново-подзолистой почве (рисунок), причем оно зависело от дозы мелиорантов (0,5—2,0 г. к.). Так, в вариантах с известью содержание общего марганца (в вытяжке 1,0 н. HNO_3) увеличилось от 47 до 55 мг на фоне I и от 56 до 70 мг на 100 г на фоне II, в вариантах со шлаком — соответственно от 59 до 151 и от 72 до 128 мг на 100 г. Содержание подвижных форм марганца, наоборот, уменьшалось при внесении известки, особенно с увеличением ее дозы от 0,5 до 1,0 г. к. В вариантах со шлаком оно увеличивалось с повышением дозы мелиоранта.

Краснозем характеризуется более высоким содержанием железа, алюминия, марганца. Применение химических мелиорантов не оказало существенного влияния на общее содержание железа в этой почве. Содержание подвижного железа, как и на дерново-подзолистой почве, уменьшалось с увеличением доз известки и шлака (рисунок).

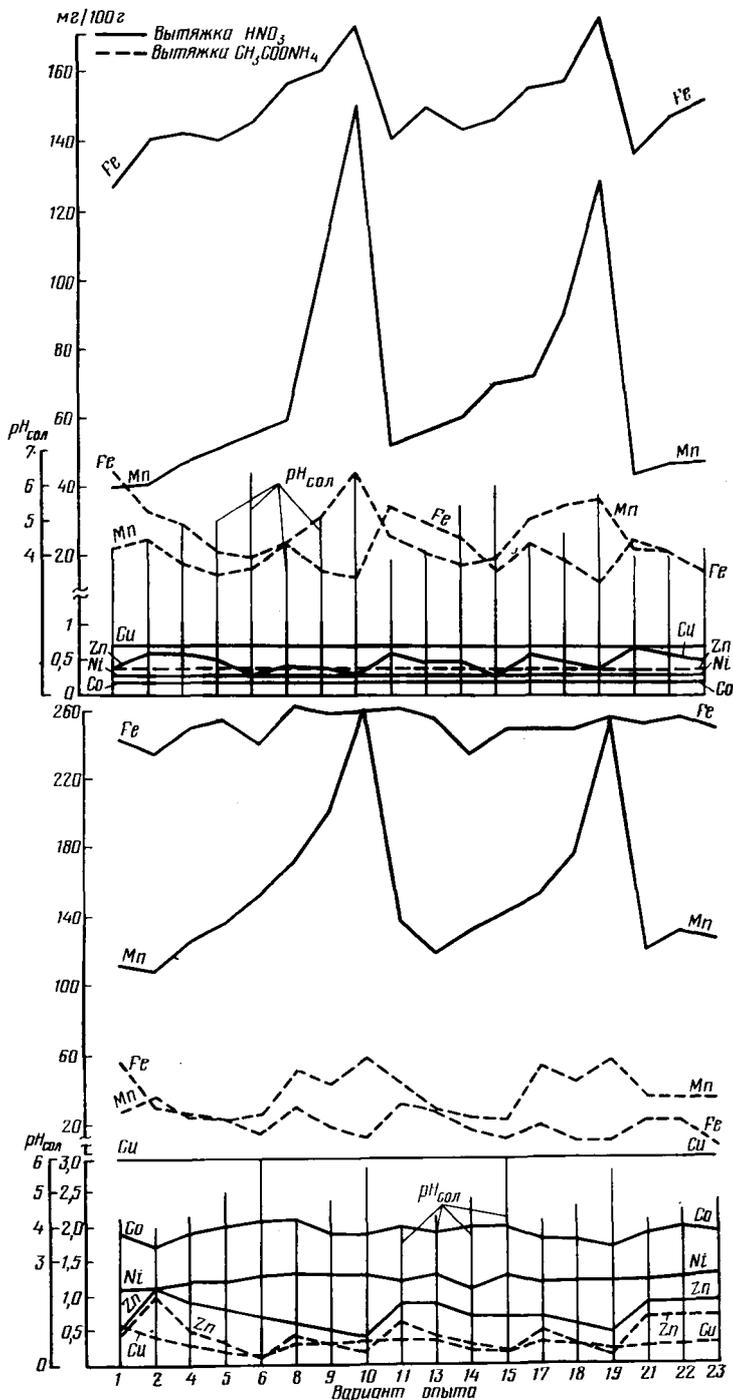
Общее содержание марганца в красноземе увеличилось во всех вариантах со шлаком. Например, на фоне I оно повысилось от 150 до 260 мг на 100 г при увеличении дозы шлака от 0,25 до 2,0 г. к. (рисунок). Содержание же подвижного марганца при увеличении дозы шлака от 0,25 до 1,0 г. к. закономерно уменьшалось, но при дальнейшем возрастании дозы шлака до 2,0 г. к. — несколько повышалось.

Содержание меди в дерново-подзолистой почве и красноземе практически не изменялось при внесении различных мелиорантов. В дерново-подзолистой почве общее ее содержание (в 1,0 н. HNO_3) составило 0,7 мг, в красноземе — 0,3—0,4 мг на 100 г (рисунок).

Цинк был обнаружен в почве фоновых вариантов в количестве 0,6—1,0 мг на 100 г. В вариантах с мелиорантами содержание разных его форм (в вытяжке 1,0 н. HNO_3 и в $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с pH 4,8) закономерно уменьшалось при увеличении дозы нейтрализатора почвенной кислотности, но это уменьшение не зависело от вида азотного удобрения и от типа почвы.

Общее содержание никеля во всех вариантах опыта на дерново-подзолистой почве и красноземе было почти одинаковым и составило в среднем соответственно 0,3—0,4 и 1,2—1,3 мг на 100 г.

Таким образом, на красноземе химические мелиоранты, в том числе и шлак не оказывали существенного влияния на содержание общего железа, но повышали содержание общего марганца и снижали содержа-



Содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве (вверху) и красномземе в вытяжке 1 н. HNO₃ (общее) и CO₃COONH₄ с pH 4,8 (подвижных соединений).

ние подвижных форм железа и марганца. На содержание подвижного кадмия, меди, никеля и кобальта металлургический шлак не влиял.

Известно, что железо — незаменимый питательный элемент для растений при малых концентрациях, но оно вредно при высоких концентрациях. Содержание железа в нормально развивающихся растениях колеблется в широких пределах — 20—1000 мг на 1 кг сухого вещества [5].

Химический состав костреца безостого в вегетационном опыте 1984 г.
с мелиорантами

№ вари- анта	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn
	%				мг/кг			
Дерново-подзолистая почва								
1	0,27	0,42	0,51	0,18	275	392-	22	305
	0,14	0,28	0,37	0,16	262	340	13	282
2	0,22	0,31	0,60	0,24	279	2072	16	701
	0,14	0,32	0,36	0,14	285	2130	17	732
5	0,35	0,54	0,95	0,20	209	326	13	258
	0,18	0,51	0,58	0,37	165	467	31	360
6	0,49	0,52	1,10	0,34	205	155	15	186
	0,28	0,48	1,04	0,29	182	145	16	146
9	0,47	0,39	0,63	0,48	170	451	9	110
	0,35	0,30	0,65	0,68	260	499	9	130
10	0,55	0,27	0,62	0,37	195	176	12	80
	0,42	0,27	0,54	0,75	226	410	8	106
11	0,27	0,27	0,43	0,70	518	2084	14	894
	0,14	0,26	0,34	0,15	529	2204	16	875
14	0,37	0,48	0,95	0,15	261	402	15	273
	0,14	0,44	0,79	0,15	230	428	11	278
15	0,53	0,55	1,10	0,22	203	155	14	160
	0,18	0,48	1,04	0,34	214	160	13	122
18	0,40	0,40	0,57	0,32	208	555	12	174
	0,38	0,30	0,69	0,72	220	1010	9	168
19	0,59	0,34	0,57	0,53	150	260	11	93
	0,38	0,29	0,59	0,77	213	481	10	128
22	0,35	0,40	0,50	0,19	136	755	10	184
	0,34	0,38	0,87	0,23	207	1258	12	328
23	0,55	0,35	0,70	0,20	152	909	11	148
	0,43	0,32	0,89	0,28	170	1200	14	237
Краснозем								
1	0,23	0,32	0,29	0,28	905	221	25	159
	0,21	0,31	0,33	0,30	1054	374	He опр.	314
2	0,25	0,27	0,40	0,37	1713	351	40	150
	0,20	0,30	0,40	0,34	932	312	He опр.	326
5	0,94	0,45	0,73	0,69	343	225	22	123
	0,33	0,25	0,44	0,36	1303	516	He опр.	224
6	0,97	0,48	0,70	0,63	329	70	48	118
	0,38	0,34	0,76	0,42	456	66	He опр.	166
9	1,03	0,49	0,40	0,65	223	199	28	100
	0,55	0,34	0,45	0,50	288	289	He опр.	118
10	1,71	0,39	0,47	0,53	177	66	56	176
	0,71	0,44	0,54	0,44	450	259	He опр.	90
11	0,29	0,24	0,39	0,34	1088	398	22	111
	0,23	0,42	0,41	0,39	1298	570	He опр.	428
15	1,34	0,44	0,85	0,58	280	66	32	281
	0,40	0,45	0,62	0,41	362	90	He опр.	156
18	1,16	0,41	0,40	0,64	269	251	100	120
	0,45	0,40	0,53	0,53	311	510	He опр.	116
19	1,99	0,44	0,53	0,62	201	88	16	78
	0,81	0,40	0,63	0,47	243	176	He опр.	88

№ вари- анта	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn
	%				мг/кг			
22	1,24	0,45	0,49	0,49	224	377	60	216
	0,67	0,42	0,56	0,43	780	540	He опр.	218
23	1,69	0,59	0,48	0,48	326	348	70	203
	0,75	0,51	0,52	0,43	473	528	He опр.	180

П р и м е ч а н и е . Содержание кадмия в растениях на дерново-подзолистой почве составляло во всех вариантах опыта 0,010—0,017 мг/кг, на красноземе — 0,01—0,02 мг/кг.

В наших опытах на дерново-подзолистой почве и красноземе (табл. 3) чрезмерно большое количество железа усваивали растения в контрольных и фоновых вариантах (№ 1, 2 и 11), где почвы были сильнонокислыми. В этих же вариантах отмечалось наивысшее содержание подвижного железа в почве (рисунок). Под влиянием извести и шлака доступление железа в растения уменьшалось, особенно заметно при более высоких дозах мелиорантов. Шлак оказывал большее влияние на доступление в растения железа, чем известь.

Марганец в низких концентрациях тоже необходим и полезен для растений, а в избыточно высоких количествах вреден. Для сельскохозяйственных культур токсичное содержание марганца составляет 800 мг на 1 кг сухого вещества [5]. В наших опытах при внесении шлака и извести поступление марганца в растения уменьшалось по сравнению с контролем и зависело от доз мелиорантов.

Применение шлака несколько снизило поступление меди и цинка в растения и не оказало влияния на поступления кадмия.

Выводы

1. В вегетационных опытах на кислых дерново-подзолистой почве и красноземе мелиоранты (известь и конверторный шлак) увеличивали урожайность кострца безостого и в год их применения, и на следующий год (последствие).

2. Эффективность мелиорантов зависела от их дозы, формы азотного удобрения, типа почвы и времени взаимодействия мелиорантов с почвой.

3. На дерново-подзолистой почве для кострца безостого оптимальной дозой мелиорантов была доза по 1,0 г. к., а на второй год (последствие) — доза по 2,0 г. к. как на фоне мочевины, так и на фоне сульфата аммония. На красноземе наивысшая прибавка урожая в оба года опыта получена при внесении шлака по 2,0 г. к. на фоне мочевины. На аммонийном фоне этот мелиорант был эффективен в дозе по 1,0 г. к.

4. При внесении шлака повышалось содержание фосфора и магния в растениях. Поступление кальция в растения было меньше, чем в вариантах с известью, что указывает на сбалансированность питания в вариантах с высокофосфатным шлаком.

5. При использовании шлака снижались все виды кислотности почвы и в ней повышалось содержание подвижного фосфора, который принимал большое участие в создании урожая. Следовательно, шлак является хорошим нейтрализатором почвенной кислотности и дополнительным источником фосфорного питания растений. На кислых почвах фосфор шлака более доступен растениям, чем фосфор суперфосфата.

6. Шлак на дерново-подзолистой почве в отличие от извести увеличивал общее содержание железа и марганца (в вытяжке 1,0 н. HNO₃), а также содержание подвижного марганца (в вытяжке CH₃COONH₄). На содержание других элементов (меди, кобальта и кадмия) он не оказывал влияния.

На красноземе отмечено некоторое увеличение содержания железа и марганца в вариантах со шлаком, особенно при более высоких его дозах.

7. Внесение шлака в кислые дерново-подзолистую почву и краснозем способствовало снижению поступления в растения железа, марганца, меди и цинка. Кадмий в растениях всех вариантов опыта не обнаружен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голопятов М. Т. Влияние известия и шлаков на урожай и фосфатный режим дерново-подзолистых почв в зависимости от условий минерального питания. — Автореф. канд. дис., М., 1976. — 2. Григорьева Т. И. Переход свинца из почвы в растение как один из критериев гигиенического нормирования. — В кн.: Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. — Л., 1980, с. 203—207. — 3. Ковда В. А. О биологической реакции растения на тяжелые металлы в почве. — Докл. АН СССР, 1979, т. 247, № 3, с. 766. — 4. Мерзляков Л. А., Шестаков Е. Е. Эффективность мартеновского шлака в зависимости от уровня минерального питания. — В сб.: Вопр. интенсификации с.-х. производства. М.: ТСХА, 1975, с. 100—10. — 5. Палавеев Т., Тотев Т. Кислотность почв и методы ее устранения. М.: Колос, 1983. — 6. Решетникова Н. В., Юдин Ф. А., Голопятов М. Т. Влияние шлаков на плодородие и урожай сельскохозяйственных культур. — Докл. ТСХА, 1974, вып. 203, с. 129—137. — 7. Романов Г. А., Васильева С. Н., Лапкина Ю. В. Применение шлаков в Свердловской области для известкования кислых почв. — Химия в сельск. хоз-ве, 1969, № 1, с. 27—29.

Статья поступила 15 января 1986 г.

SUMMARY

The efficiency of high-phosphate converter slag (P_2O_5 11 %) used for liming non-cultivated soddy-podzolic soil and red soil was studied in greenhouse experiments. It is found that the efficiency of the slag varied with its rate, the period of interaction with soil, the kind of nitrogen fertilizer, and the soil type. For smooth bromegrass on soddy-podzolic soil the optimum slag rate was that of 1 n. hydrolytic acidity, and in the aftereffect — 2 n. hydrolytic acidity both on the urea and on the ammonium sulphate background. On red soil the highest yield increase in both cases was obtained with slag application by 2 n. hydrolytic acidity on the urea background and by 1 n. hydrolytic acidity on the ammonium background. In versions with slag, the amount of iron and manganese in soddy-podzolic and in red soil (extract 1.0 normal HNO_3) increased. The amount of copper, cobalt, and cadmium was not influenced by slag.