

УДК 631.879.3

АГРОХИМИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ЗОЛОТХОДОВ — ХИМИЧЕСКИХ МЕЛИОРАНТОВ ПОЧВ

А.И. ОКОНСКИЙ, А.Л. ПРЯДКО, В.А. ЧЕРНИКОВ, В.А. ВЕЛИЧКО,
Н.В. РУСАКОВ

(Кафедра экологии)

Исследовались различные дозы золы — от низких, расчетных, до сверхвысоких, рекультивационных. Представлены данные по агрохимическому и химическому тестированию двух видов буроугольной золы — химических мелиорантов кислых почв. Определяли кислотность мелиорируемых почв, урожайность сельскохозяйственных культур, содержание тяжелых металлов в системе мелиорант—почва—растение, а также полициклических ароматических углеводов и радионуклидов в золе.

Определена степень аккумуляции привнесенных элементов, рассчитаны коэффициенты обогащения почвы различных вариантов.

Установлено, что ирша-бородинская зола может быть использована только в относительно невысоких дозах для поддерживающего известкования слабокислых почв или выращивания технических культур. Применение шатурской золы рекомендуется при проведении лишь рекультивационных мероприятий, не предусматривающих впоследствии получение зерновой, кормовой или овощной продукции.

В последнее время резко сократилось применение природных кальцийсодержащих химических мелиорантов кислых и солонцовых почв (известняковой и доломитовой муки, гипса). Вместе с тем в отдельных регионах России потребность в таких мелиорантах очень высока. Одним из путей решения этой проблемы является использование альтернативных химических мелиорантов. Среди них в настоящее время применяются некоторые кальцийсодержащие промышленные отходы (фосфогипс, шлаки, зола), многие из которых по своему мелиоративному эффекту не уступают традиционным мелиорантам. Однако из-за

наличия в таких материалах потенциально опасных примесей (в том числе и тяжелых металлов) необходимо при проведении мелиоративных работ точное знание содержания такого рода примесей и учет их при определении доз мелиорантов. Вместе с тем в научной литературе отсутствуют систематические данные о содержании нежелательных примесей в кальцийсодержащих промышленных отходах. Прогнозирование вероятных негативных последствий от их применения не представляется возможным из-за фрагментарности и разноречивости имеющихся сведений.

В связи с этим мы рекомендова-

ли применение только тех промышленных отходов (или мелиорантов на их основе), которые отвечают системе агроэкологических ограничений (САО) [9, 10]. Для окончательного заключения о возможности использования конкретного промтохода в качестве химического мелиоранта почв предлагалось проводить его комплексную эколого-гигиеническую оценку [10, 12].

На первом этапе проведения такой экологической оценки анализируется химический состав мелиорантов. Нами было определено валовое содержание 30 элементов (тяжелых металлов, а также некоторых неметаллов) в отходах 22 промышленных предприятий. На основании учета содержания тяжелых металлов (ТМ) в отходах, доз отходов-мелиорантов (обычно от 5—10 до 20 т/га) и разработанных показателей ПДК для почв мы оценили потенциальную опасность загрязнения последних при использовании этих материалов.

Как оказалось, потенциальную опасность представляют обычно 1—3 элемента в каждом виде отхода. Так, в фосфогипсе — это стронций и фтор; в буроугольной ирша-бородинской золе — стронций и бор, в отходном меле (карбонатном шламе) — стронций; в феррохромовых шлаках — хром, марганец и ванадий. Именно этим элементам нужно уделять особое внимание на следующем этапе предлагаемой нами эколого-гигиенической схемы — при испытаниях отходов-мелиорантов в условиях вегетационных (или полевых) экспериментов. Изучается поведение тяжелых металлов в системе почва — растение — промывные (дренажные, грунтовые)

воды. Полученные в опытах результаты сравниваются с существующими показателями ПДК ТМ в указанных средах и делается вывод о возможности применения конкретного промышленного отхода на данных почвах с санитарно-гигиенических позиций. Попутно в вегетационных или полевых экспериментах можно получить новые сведения об агрохимической эффективности мелиорантов, которые дополнят имеющийся в литературе фактический материал и позволят более точно оценить мелиоративное действие изучаемых почвоулучшателей.

На заключительном этапе проводятся опыты по биологическому тестированию мелиорантов, мелиорированной почвы, дренажных вод и полученной сельскохозяйственной продукции, результаты которых позволят более надежно оценить опасность применения промтоходов в различных звеньях экологической цепи мелиорант — почва — растение — грунтовые (дренажные) воды — животные.

В настоящей работе представлены итоги агрохимического и химического тестирования (в соответствии с эколого-гигиенической схемой) химических мелиорантов — промышленных отходов на примере буроугольной золы. Результаты биологического тестирования будут опубликованы в следующем сообщении.

Методика

Объектами исследований являлись высококальциевая (24% СаО) буроугольная зола Ирша-Бородинского месторождения КАТЭК (рН_{вод} 12,5) и низкокальциевая (4% СаО) зола, полученная от сжигания буроугольного угля и торфа на Шатурской ГРЭС (рН_{вод} 8,5), использованные

для химической мелiorации сильнокислых ($pH_{\text{кол}} 4,0$, $pH_{\text{вод}} 5,1$, $Hg — 5,4 \text{ мг} \cdot \text{экв на } 100 \text{ г}$, содержание гумуса — 1,5%) среднесуглинистых дерново-подзолистых почв. Более подробная характеристика зол дана в работах [5, 6].

Вегетационные опыты проводили по общепринятым методикам [1]. Основные элементы питания (NPK) вносили в почву в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия. Дозы мелiorантов определяли из расчета на полную нейтрализацию гидролитической кислотности. Они составили в расчете на 1 кг почвы: известняковая мука — 3,3 г (10 т/га), шатурская зола — 20 г (60 т/га), ирша-бородинская зола — 7,3 г (22 т/га). Схемы опытов предусматривали внесение различных доз золы — от низких (расчетных или близких к ним) до сверхвысоких (имитация рекультивационных мероприятий).

В вегетационных опытах выращивали кукурузу на зеленую массу, овес и клевер. В растениях определяли содержание некоторых тяжелых металлов, бора и кальция, в почве — актуальную, обменную и гидролитическую кислотность, а также содержание водо- и кислоторастворимых форм тяжелых металлов плазменно-эмиссионным методом. Кроме этого, устанавливали естественную радиоактивность золы, а также содержание в ней бенз(а)пирена спектрально-флуоресцентным методом при сверхнизких температурах.

Агрохимическое тестирование

Из табл. 1 следует, что высококальциевая зола является не менее эффективным нейтрализатором избыточной почвенной кислот-

ности, чем известняковая мука. Так, при внесении расчетных доз этих мелiorантов сдвиг актуальной и обменной кислотности достигал 1,5—1,7 ед. pH, а значение гидролитической кислотности снизилось почти на 70%. Низкокальциевая (шатурская) зола оказалась гораздо менее эффективной: при использовании даже двойной ее дозы сильнокислые почвы переходили только в ряд кислых. Лишь сверхвысокие дозы этого мелiorанта дали эффект, сравнимый с действием известняковой муки. Следовательно, в целях оптимизации реакции почвенной среды ирша-бородинская зола вполне может быть использована в качестве химического мелiorанта, а шатурская зола — лишь при рекультивационных мероприятиях.

Улучшение показателей кислотности почв в результате внесения расчетных доз мелiorантов, а также привнес с золой макро- и микроэлементов определили получение прибавок урожая сельскохозяйственных культур. Наиболее ярко проявилось действие золы на урожай зеленой массы кукурузы (табл. 2 и 3). Низкокальциевая шатурская зола не повлияла на урожайность овса, а ирша-бородинская зола не уступала стандартной известняковой муке по влиянию на выход зерна ячменя и обеспечила получение заметных прибавок воздушно-сухой массы клевера (40—50% к контролю за 2 укоса). В целом можно отметить примерно равнозначное действие расчетных доз обоих видов золы на урожайность растений и отсутствие ингибирующего эффекта. Однако сверхвысокие дозы (750 т/га) шатурской золы

Таблица 1

Кислотность дерново-подзолистой почвы

Вариант	Доза мелниоранта, т/га	pH _{сод}	pH _{вод}	H _г ⁺ , мг · экв/100 г
Контроль (фон — NPK)		3,98	5,05	5,17
CaCO ₃	10*	5,60	6,59	1,68
Шатурская зола	60*	4,71	5,83	4,20
» »	120	4,95	5,98	3,54
» »	750	6,10	6,90	1,46
То же, без почвы		7,95	8,10	0,10
Ирша-бородинская зола	22*	5,65	6,69	1,80
» »	44	6,78	7,47	0,53

* Расчетная доза

неблагоприятно влияли на растения кукурузы, но не оказали отрицательного действия на урожайность овса. При возделывании этих культур на чистой золе

(без почвы) ингибирующий эффект золы проявился ярко. Двойные дозы ирша-бородинской золы оказали такое же действие, как и ее расчетные количества.

Таблица 2

Урожайность (г/сосуд) кукурузы на зеленую массу и овса в опыте 1

Культура	Контроль (NPK)	Шатурская зола, т/га			Зола без почвы	НСР ₀₅
		15	60	750		
Кукуруза (1-й год опыта)	50,6	64,9	63,6	51,7	13,8	—
Овес (2-й год):						
зерно	20,6	17,4	18,6	18,6	6,9	2,1
солома	20,0	15,3	15,0	16,1	11,3	1,2

Химическое тестирование

В ирша-бородинской золе элементами, представляющими потенциальную опасность, являются бор и стронций, общее содержание которых достигает соответственно 600 и 20000 мг/кг. Содержание других элементов следующее: Mn — 1200; Zn, Cr, Ti — 100; Pb — 30; Cu — 40; Ni — 8 мг/кг. Кобальт, кадмий, бериллий, скандий, молибден, олово, сурьма и некоторые другие элементы встре-

чаются в очень незначительных или следовых количествах [4].

В шатурской золе велико содержание бора — до 1000 мг/кг, что может привести к интоксикации растений при внесении высоких ее доз. Содержание некоторых других элементов достигает значительных: Sr — 250, Mo — 40, Co — 90, Cu — 18, Pb — 30, Se — 80 мг/кг.

В связи с этим при изучении поведения потенциально опасных примесей в системе мелниорант — почва — растение основное вни-

Таблица 3

**Урожайность (г/сосуд) ячменя, кукурузы на зеленую массу
и клевера в опыте 2**

Культура	Контроль	Известняко- вая мука, 10 т/га	Ирша-бородинская зола, т/га		НСР ₀₅
			22	44	
Ячмень					
(1-й год опыта):					
зерно	6,5	21,3	19,3	16,9	3,7
солома	8,7	19,3	17,5	17,0	—
Кукуруза (2-й год)	<u>353,2</u>	<u>327,8</u>	<u>369,3</u>	<u>434,8</u>	<u>34,2</u>
	55,6	54,9	62,3	69,4	5,1
Клевер (3-й год):					
1-й укос					
	<u>80,6</u>	—	<u>76,5</u>	<u>81,0</u>	<u>4,6</u>
	11,1	—	14,0	12,9	1,3
2-й укос					
	<u>31,0</u>	—	<u>67,8</u>	<u>67,2</u>	<u>4,4</u>
	5,0	—	10,2	9,6	7,0
всего					
	<u>111,6</u>	—	<u>144,3</u>	<u>148,2</u>	<u>5,6</u>
	16,1	—	24,2	22,5	1,6

Примечание. В числителе — сырая масса, в знаменателе — воздушно-сухая.

мание уделялось бору и стронцию, хотя попутно определялись и некоторые другие элементы.

Результаты исследований показали, что с увеличением доз шатурской золы повышается содержание водо- и кислоторастворимых форм стронция в почве (табл. 4). Однако если в варианте

с расчетной дозой золы (60 т/га) его количество в водной и кислотной вытяжках возрастало в 1,6—2 раза, то в вариантах со сверхвысокими дозами и «чистой» золой содержание водорастворимых форм увеличивалось в 2,5—4, а кислоторастворимых — в 8—23 раз.

Таблица 4

**Содержание некоторых элементов (мг/кг) в почве
при внесении шатурской золы (среднее за 2 года)**

Вариант	Водная вытяжка				НСИ-вытяжка				
	B	Sr	Se	Mo	B	Mo	Sr	Se	Pb
Контроль	0,2	0,7	0,5	0,04	4,8	0,58	9,3	3,9	2,0
Зола, т/га:									
15	0,3	0,8	0,7	0,03	4,9	0,59	11,0	4,8	2,1
60	0,7	1,4	0,8	0,04	5,6	0,64	14,8	5,2	2,7
750	2,6	1,8	1,0	0,10	31,8	1,07	74,3	16,3	3,4
без почвы	5,7	3,0	1,4	0,19	127,1	2,55	215,5	121,3	7,2

В настоящее время нельзя непосредственно оценить опасность загрязнения почв стронцием из-за отсутствия разработанных показателей ПДК. Однако можно провести косвенную оценку, учитывая утвержденный показатель ПДК стронция в воде водоемов — 7 мг/л [13]. Как оказалось, содержание этого элемента в водной вытяжке почв, мелиорируемых даже сверхвысокими дозами шатурской золы, составило лишь 0,2—0,3 мг/л, что намного меньше ПДК в воде водоемов. Таким образом, с этих позиций опасность загрязнения почв при внесении в почву шатурской золы незначительна.

Использование шатурской золы сопровождается обогащением почв подвижными формами бора и молибдена, однако даже при внесении 750 т/га мелиоранта обеспеченность почв данными элементами оценивается соответственно как средняя и низкая. Следует отметить увеличение содержания кислоторастворимых форм свинца и селена на 33—35% в почвах, мелиорируемых расчетными дозами (60 т/га) шатурской золы. Имитация рекультивационных мероприятий (750 т/га) сопровождается более значительным загрязнением, поэтому этим элементам также необходимо уделять внимание.

Растения по-разному реагировали на увеличение содержания указанных элементов в мелиорированных почвах. Так, внесение расчетной дозы шатурской золы не сопровождалось обогащением кукурузы и зерна овса стронцием, но его содержание в соломе овса

увеличилось на 48% (табл. 5). При использовании сверхвысоких доз мелиоранта различия становились более значимыми, а при выращивании растений на золе без почвы аккумуляция стронция повышалась в 1,5—3,4 раза по сравнению с контролем. Ввиду отсутствия утвержденных показателей ПДК качество полученной продукции оценивают по соотношению $Ca : Sr$, которое должно быть шире 80 : 1 [4]. Результаты опыта показывают, что при внесении как низких, так и сверхвысоких доз мелиоранта продукция считается вполне приемлемой по данному показателю ($Ca : Sr = 179 \div 200$). Это обусловлено активным поглощением кальция (химического конкурента стронция) растениями из мелиорированных почв.

Обогащение растений бором происходит гораздо интенсивнее. Так, расчетная доза шатурской золы привела к увеличению аккумуляции этого элемента в 2,1—4,5 раза. Согласно литературным данным о содержании бора в корнях такое количество бора в кукурузе является приемлемым, а в зерне и соломе ячменя — несколько повышенным. Несмотря на увеличение содержания молибдена в растениях в 1,5—2 раза, его содержание в растениях оценивается как среднее [8, 17—19]. Что касается селена и свинца, то их транслокация в растения при внесении золы не усилилась по сравнению с контролем. Не установлено заметных различий в вариантах опыта по содержанию в кукурузе и таких элементов, как кобальт, медь и цинк. Их количества впол-

Таблица 5

Содержание В, Мо, Sr и Pb (мг на 1 кг воздушно-сухой массы) в кукурузе на зеленую массу и овсе при внесении в почву шатурской золы

Культура	Контроль	Шатурская зола, т/га			
		15	60	750	без почвы
<i>B</i>					
Кукуруза	10,9	14,3	34,0	79,6	223,7
Овес*	<u>2,9</u>	<u>4,2</u>	<u>6,2</u>	<u>14,4</u>	<u>39,2</u>
	12,4	27,5	55,9	200,0	258,0
<i>Mo</i>					
Кукуруза	0,20	0,21	0,24	0,38	0,87
Овес	<u>0,22</u>	<u>0,27</u>	<u>0,33</u>	<u>0,44</u>	<u>0,96</u>
	3,5	4,1	3,8	6,0	8,4
<i>Sr</i>					
Кукуруза	15,9	13,2	15,9	20,1	53,5
Овес	<u>4,3</u>	<u>3,1</u>	<u>3,6</u>	<u>3,6</u>	<u>6,2</u>
	27,0	34,1	40,1	50,9	59,0
<i>Pb</i>					
Кукуруза	0,58	0,72	0,57	0,56	0,67
Овес	<u>0,33</u>	<u>0,43</u>	<u>0,48</u>	<u>0,37</u>	<u>0,54</u>
	0,43	0,54	0,51	0,59	0,47
<i>Ca : Sr</i>					
Кукуруза	204	199	184	178	94
Овес	<u>153</u>	<u>216</u>	<u>197</u>	<u>200</u>	<u>137</u>
	180	200	152	179	133

* В числителе — зерно; в знаменателе — солома.

не укладываются в пределы среднего содержания микроэлементов в кормах, используемых в хозяйствах Московской области [18].

Что касается ирша-бородинской золы, то внесение ее в расчетных дозах практически не привело к увеличению содержания молибдена, селена и свинца в растениях по сравнению с контролем. Однако последние активно аккумуля-

мулировали внесенные с золой бор и стронций, а почва заметно обогащалась водо- и кислоторастворимыми формами этих элементов. Так, данные табл. 6 показывают, что при расчетной дозе золы содержание водорастворимых форм бора и стронция в почве увеличилось в 6 раз, в кукурузе — в 2 раза, а соломе ячменя — в 8—11 раз. В этом случае содержание бора в зерне ячменя и ку-

курузе оставалось в пределах колебаний химического состава кормов в различных регионах России

[17—19], однако его количества в соломе заметно превышали эти значения.

Т а б л и ц а 6

Содержание бора и стронция (мг/кг) в почве и растениях при внесении ирша-бородинской золы

Вид образца	Контроль	Ирша-бородинская зола, т/га	
		22	44
		<i>B</i>	
Почва*	$\frac{0,1}{2,3}$	$\frac{0,6}{3,1}$	$\frac{1,2}{5,1}$
		<i>Sr</i>	
»	$\frac{0,3}{6,0}$	$\frac{2,0}{41,1}$	$\frac{3,2}{74,7}$
		<i>B</i>	
Ячмень**	$\frac{1,7}{7,0}$	$\frac{1,5}{74,7}$	$\frac{2,5}{97,4}$
		<i>Sr</i>	
Кукуруза	13,4	25,4	23,6
		<i>Sr</i>	
Ячмень	$\frac{2,0}{12,2}$	$\frac{2,7}{70,3}$	$\frac{5,6}{101,9}$
		<i>Sr</i>	
Кукуруза	26,0	48,8	58,9

* В числителе водорастворимая фракция; в знаменателе — кислоторастворимая.

** В числителе — зерно, в знаменателе — солома.

Что касается стронция, то даже при расчетных дозах золы соотношение Са : Sr является почти критическим: в соломе ячменя и кукурузе — 82—86 при 179—240 в контроле. В варианте с двойной дозой мелниоранта выращенная продукция становится не пригодной к использованию (Са : Sr = 57 ÷ 80).

Важным аспектом химического тестирования мелниорантов является, по нашему мнению, изучение степени аккумуляции различных привнесенных элементов. В связи с этим были рассчитаны коэффици-

циенты обогащения почвы различными элементами при внесении максимальной дозы шатурской золы и 1/4 части расчетной дозы. Кроме того, рассчитаны коэффициенты обогащения для вариантов с «чистой» золой и исходной (немелниорированной золой) почвой.

Полученные данные свидетельствуют, что, как правило, при высоких дозах золы растение обогащается изучаемыми элементами в заметно меньшей степени, чем почва — подвижными формами этих элементов (табл. 7). В обоих

случаях для растений характерен следующий ряд обогащения элементами: $Pb < Se < Ca < (Sr \leq Mo) < V$. Как для растений, так и для

почвы минимальный коэффициент обогащения принадлежит свинцу, максимальный — бору.

Таблица 7

Коэффициенты обогащения почв и растений при мелиорации почв шатурской золой

Элемент	Чистая зола		Зола, 750 т/га	
	чистая почва		зола, 15 т/га	
	почва*	растение	почва	растение
Кальций	$\frac{9,0}{3,7}$	1,6	$\frac{1,3}{3,0}$	1,2
Стронций	$\frac{13}{16,7}$	3,4	$\frac{3,3}{8,4}$	1,6
Бор	$\frac{38}{26,0}$	20,5	$\frac{11,1}{13,3}$	5,5
Молибден	$\frac{4,4}{5,5}$	4,4	$\frac{2,2}{1,7}$	1,5
Селен	$\frac{5,5}{н.о.}$	1,4	$\frac{1,9}{5,9}$	1,1
Свинец	$\frac{30}{35}$	1,2	$\frac{1,9}{1,7}$	0,9

* В числителе — водорастворимые формы; в знаменателе — кислоторастворимые.

Определение естественной радиоактивности шатурской золы показало, что она обусловлена изотопами калия (~30 нКи/кг), урана и тория (по 300 нКи/кг). При естественном радиоактивном гамма-излучении на поверхности пашни 8—15 мкР/ч внесение 100 т золы на 1 га не увеличит мощности дозы гамма-излучения на поверхности мелиорированной почвы. На золоотвалах мощность дозы гамма-излучения может достигать 20 мкР/ч, что обусловлено локальным увеличением концентрации калия в отвалах. Сле-

довательно, с позиций радиационной гигиены применение шатурской золы в качестве химического мелиоранта безопасно.

Поскольку в золе содержится несгоревшая часть, включающая различные специфические и неспецифические органические соединения, в ней определяли содержание бенз(а)пирена — индикатора полициклических ароматических углеводородов канцерогенной природы. Как оказалось, количество бензапирена не превышало 0,3 мкг на 1 кг золы, что существенно ниже показателя ПДК

(20 мкг/кг), определенного для почв [14].

Заключение

Анализ литературных данных и результаты наших многолетних исследований свидетельствуют о необходимости использования сопряженных методов исследований (почвенно-агрохимических, биологических, химических) для принятия решения об использовании в качестве местного химического мелiorанта конкретных кальций- и магнийсодержащих промоторов. Это обусловлено невозможностью оценки их по одному показателю (или узкой группе показателей). Отходы могут обладать высокой агрохимической эффективностью, но полученная при их использовании сельскохозяйственная продукция не будет отвечать санитарно-гигиеническим нормам. Вместе с тем отходы могут иметь высокое содержание потенциально опасного элемента (например, хрома в феррохромовых шлаках — до 10000, а выращенная зерновая, кормовая и овощная продукция все равно будет отвечать разработанным нормам по содержанию этого элемента. Кроме того, полученные корма могут быть достаточно «чистыми», но оказывать неблагоприятное действие на организм животных по целому ряду причин (из-за относительной условности ПДК, совместного действия примесей, действия неучтенных факторов и т.д.). Внесение мелiorанта — отхода промышленности — может формально (с учетом ПДК ТМ для почв) не загрязнять почву, но вызывать изменения ее би-

ологических свойств, и полученная на ней продукция будет некачественной (с гигиенической точки зрения). Эти особенности и были выявлены в наших многолетних экспериментах и послужили основой для создания комплексной схемы эколого-гигиенической оценки химических мелiorантов (промышленных отходов) [10].

Из нескольких золошлаковых отходов, протестированных в наших экспериментах по данной схеме, шатурская зола и ирша-бородинская зола не могут быть рекомендованы для использования в качестве местных химических мелiorантов сильнокислых почв по результатам агрохимического и химического тестирования. Полученные нами данные свидетельствуют, что из-за неблагоприятного соотношения Са : Sг в полученной сельскохозяйственной продукции ирша-бородинская зола может быть использована только в относительно невысоких дозах, например, для поддерживающего известкования слабнокислых почв или при выращивании технических, а не зерновых и кормовых культур. Применение шатурской золы рекомендуется при проведении лишь рекультивационных мероприятий (из-за низкого мелiorативного эффекта), не предусматривающих впоследствии получения зерновой, кормовой или овощной продукции.

Выводы

1. Сравнительное исследование высококальциевой и низкокальциевой золы показало, что эффективность нейтрализации почвенной кислотности высококальцие-

вой золой сравнима с действием известняковой муки; для низкокальциевой золы эффективны лишь сверхвысокие дозы.

2. Отмечено примерно равное действие расчетных доз обоих видов золы на урожайность растений. Сверхвысокие дозы низкокальциевой золы оказали неблагоприятное влияние на развитие кукурузы. При возделывании культур на чистой золе ярко проявляется ингибирующий эффект.

3. Химическое тестирование показало, что элементами, представляющими наибольшую опасность, являются бор и стронций. С увеличением доз низкокальциевой золы содержание водо- и кислоторастворимых форм стронция увеличивается от 2 до 23 раз. При внесении расчетных доз низкокальциевой золы отмечается увеличение в почве кислоторастворимых форм свинца и селена на 33—35%.

4. Внесение расчетной дозы низкокальциевой золы способствовало увеличению содержания стронция в соломе овса на 48%. При выращивании растений на золе аккумуляция стронция повысилась в 1,5—3,4 раза по сравнению с контролем. Содержание бора при внесении низкокальциевой золы увеличилось в 2,1—4,5 раза.

5. По рассчитанным коэффициентам обогащения следует, что при высоких дозах золы растения обогащаются изучаемыми элементами в заметно меньшей степени, чем почва подвижными формами этих элементов. Как для растений, так и для почвы минимальный коэффициент обогаще-

ния принадлежит свинцу, максимальный — бору.

Содержание бенз(а)пирена значительно ниже показателя ПДК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. — 2. *Игамбердиев В.М., Алексеев Ю.В.* Экологическое нормирование применения химических мелнирантов из отходов промышленности. Сообщ. 1. Методология. — Химия в сельск. хоз-ве, 1993, № 8—9, с. 30—33. — 3. *Игамбердиев В.М., Алексеев Ю.В.* Экологическое нормирование применения химических мелнирантов из отходов промышленности. Сообщ. 2. — Химия в сельск. хоз-ве, 1994, № 3, с. 29—30. — 4. Кальцийсодержащие отходы промышленности. Краткая характеристика, годовой выход и запасы. / М.А. Кузьмич, В.А. Веллчко, М.М. Пушкарева и др. М., 1987. — 5. *Кузьмич М.А., Оконский А.И., Кочнев Н.К., Сутурин А.Н.* Перспективы использования золы бурых углей. Сообщ. 1. Влияние золы угольных ТЭЦ на окружающую среду. — Химия в сельск. хоз-ве, 1990, № 9, с. 28—33. — 6. *Кузьмич М.А., Оконский А.И., Кочнев Н.К., Сутурин А.Н.* Перспективы использования золы бурых углей. Сообщ. 2. Агрохимическая и токсикологическая оценка буроугольной золы. — Химия в сельск. хоз-ве, 1990, № 12, с. 43—47. — 7. Методические рекомендации по установлению ПДК загрязняющих веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М.: ВНИРО, 1986. — 8. Методы биотестирования вод. Черного-

- ловка, ОИХВ АН СССР, 1988. — 9. *Оконский А.И., Шестаков Е.И., Черников В.А. и др.* Приемы снижения загрязнения почв при химической мелиорации и техногенном воздействии. — Изв. ТСХА, 1996, вып. 3, с. 73—88. — 10. *Оконский А.И., Прядко А.Л., Величко В.А., Черников В.А.* Эколого-гигиеническая оценка промышленных отходов — химических мелиорантов почв. — Изв. ТСХА, 1996, вып. 4, с. 98—106. — 11. *Оль Ю.К.* Минеральное питание животных в различных природно-хозяйственных условиях. Л.: Колос, 1967. — 12. *Прядко А.Л.* Эколого-гигиеническая оценка золошлаков ТЭЦ в сельском хозяйстве. — Дис. канд. мед. наук. М., 1993. — 13. СанПиН № 4630—88. Охрана поверхностных вод от загрязнения. М.: МЗ СССР, 1988. — 14. СанПиН 42—128—4433—87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. М.: МЗ СССР, 1988. — 15. *Строганов Н.С.* Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука, 1971. — 16. Тяжелые металлы в окружающей среде / Под ред. В.В. Добровольского. М., 1980. — 17. Химический состав и питательность кормов Западной Сибири. Справоч. / Сост. И.И. Филатов и Р.П. Митякова. Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1982. — 18. Химический состав и питательность кормов Московской области урожая 1982 г. Метод. указ. М., 1983. — 19. Химический состав кормов по зонам СССР. Сб. статей / Под ред. А.С. Емельянова. М.: Колос, 1974.

Статья поступила 13 февраля 1997 г.

SUMMARY

Different ash doses — from low, calculated to extra high, recultivative ones — were investigated. Data on agrochemical and chemical testing two kinds of brown-coal ash — chemical ameliorants of acid soils are presented. Acidity of reclaimable soils, yield of farm crops, content of heavy metals in ameliorant — soil — plant system, as well as the amount of polycyclic aromatic hydrocarbons and radionuclides in ash were determined.

The extent of accumulating introduced elements is determined, coefficients of enriching soils of different variants are calculated.

It has been found that irsha-borodinskaja ash can be used only in relatively not high doses to sustain liming of slight acid soils or to grow industrial crops. Application of shaturskaya ash is recommended only for recultivative measures which do not provide obtaineng. grain, fodder or vegetables afterwards.