

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ

**Т.Ю. Бортник, к.с.-х.н., О.Г. Долговых, Е.В. Лекомцева, И.М. Кудрявцев, Ижевская ГСХА
426033, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Кирова, 16;
e-mail: agrohim@izhgsha.ru; тел. 8 (3412) 73-30-77/**

В 2013-2017 гг. на дерново-среднеподзолистой почве Удмуртской Республики был проведен полевой опыт по изучению эффективности использования золы органосодержащих отходов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур. Объектом исследований являлась зола птичьего помёта и отходов древесины. Схемы опытов включали варианты с различными дозами золы (по фосфору P_{30-90}) и с внесением смеси простых минеральных удобрений в аналогичных дозах. Выявлено существенное последствие золы на урожайность клевера лугового 1- и 2-го года пользования; достоверные прибавки урожайности зелёной массы составили в разные годы 14-24 и 27-46 % относительно контроля. Эффективность золы органосодержащих отходов с учётом её последствия выразилась в достоверном увеличении продуктивности культур севооборота в среднем за год на 0,28-0,44 т з.е/га относительно контроля. Выявлена тенденция положительного влияния золы на содержание подвижных форм микроэлементов в почве; содержание тяжёлых металлов в почве по всем вариантам не превышает ПДК. Зола органосодержащих отходов возможно рассматривать как альтернативное комплексное удобрение.

Ключевые слова: утилизация органосодержащих отходов, зола, клевер луговой, продуктивность севооборота, дерново-подзолистые почвы, микроэлементы, тяжёлые металлы.

DOI:10.25680/S19948603.2018.101.17

В современных условиях в аграрном секторе России наблюдается резкий дефицит минеральных и органических удобрений. В связи с этим поставленные перед сельскохозяйственным производством задачи по увеличению урожайности и получению растениеводческой продукции с высоким качеством в значительной степени трудно выполнимы. Ещё более остро стоит проблема поддержания достигнутого уровня плодородия почв и его расширенного воспроизводства. Решить эти задачи возможно только при планомерной и целенаправленной работе по применению различных форм минеральных и органических удобрений, а также химических мелиорантов [5].

В то же время утилизация разнообразных отходов в сельском хозяйстве также может способствовать увеличению продуктивности культур, сохранению и повышению плодородия почв. Особого внимания заслуживает проблема переработки отходов птицефабрик, которые представляют постоянную угрозу экологическому благополучию населения и окружающей среды [2]. Сжигание, отходов как метод их утилизации и получения золы, решает сразу две проблемы: обезвреживание отходов и получение удобрения [3]. Это не самый лучший с экологической точки зрения способ утилизации, однако в некоторых случаях – единственно возможный.

За рубежом прямое сжигание отходов распространено довольно широко. Разработаны специальные установки любой тепловой мощности, обеспечивающие низкие уровни выброса загрязняющих атмосферу веществ [8]. Производство позволяет при сравнительно минимальных капитальных вложениях снизить нагрузку на полигоны захоронения твердых бытовых отходов (ТБО), а также улучшить состояние окружающей среды и получить ценное удобрение.

Таким образом, зола органосодержащих отходов, полученная при сжигании биомассы (отходов древесины, льяной костры, отходов животноводческих и птицеводческих предприятий), может рассматриваться как альтернативное удобрение, содержащее комплекс макро- и микроэлементов питания растений. Кроме того, зола имеет щелочную реакцию и при её внесении на кислых почвах возможна нейтрализация [4].

Методика. В 2013-2017 гг. в Удмуртской Республике был проведён полевой опыт по изучению эффективности золы органосодержащих отходов: смеси отходов древесины (ОД) и птичьего помёта (ПП). Зола была получена путём сжигания отходов в установке, разработанной ООО «Энергоремонт» (г. Глазов). Содержание элементов питания в ней представлено в таблице 1.

1. Химический состав золы органосодержащих отходов

Вид золы	pH _{KCl}	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	B	Co	Zn	Cu	Mo
		%					мг/кг				
ПП	12,9	0,36	3,13	11,8	17,1	4,95	3,4	2,97	1255	1,49	0,73
ОД	8,2	-	2,50	6,48	29,8	1,80	Не определяли				

Небольшое количество азота в составе золы птичьего помёта связано, вероятно, с неполнотой сгорания биомассы. Это количество было учтено в схеме опыта. Дозы внесения золы рассчитаны по содержанию в ней фосфора (P_{30-90}). Схема опыта также предусматривала различное соотношение видов золы – ОД:ПП как 0,5:1 и 1:1; это было сделано по предложению ООО «Энергоремонт».

Для сравнения в схему были введены варианты со смесью простых минеральных удобрений (аммиачной

селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия), внесённых в аналогичных дозах (табл. 3, 4). Площадь учётной делянки 14 м²; повторность четырёхкратная; расположение вариантов в повторениях рендомизированное. Статистическая обработка данных урожая проведена методом дисперсионного анализа.

Почва опытного участка - дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на красно-буром опесчанном суглинке, среднекислая, с низким содержанием гумуса; обеспеченность подвижным фосфором повышенная,

обменным калием – средняя. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опытов ($A_{\text{паш}}$) в учхозе «Июльское» Ижевской ГСХА (2013 г.) следующая: гумус - 1,63 %, pH_{KCl} 4,82, S - 9,12, Нг - 3,84 ммоль / 100 г почвы, V - 70 %, P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) 128 и 102 мг/кг почвы, соответственно.

Исследования проводили в звене севооборота: 1 – ячмень; 2 – лён-долгунец; 3 – яровая пшеница с подсевом клевера; 4 – клевер 1-го г. п.; 5 – клевер 2-го г. п. Зола и минеральные удобрения в рассчитанных дозах были внесены в 2013 г. вручную: весной под ячмень и осенью под лён. Остальные культуры возделывали по последствию.

Результаты и их обсуждение. Зола органосодержащих отходов, внесённая в 2013 г., оказала прямое действие на формирование урожайности ячменя (2013 г.) и льна-долгунца (2014 г.). По последствию в 2015 г. возделывали яровую пшеницу с подсевом клевера, которая в условиях данного года не показала существенного увеличения урожайности зерна в зависимости от применения удобрений [1]. Представляло интерес выявление последствия золы на урожайность зелёной массы клевера лугового (табл. 2).

2. Последствие золы органосодержащих отходов на урожайность зелёной массы клевера лугового, т/га (в среднем за 2016-2017 гг.)

Вариант опыта	Клевер 1-го г.п.				Клевер 2-го г.п.	
	(первый укос)		(второй укос)		(первый укос)	
	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка
1. Без удобрений (контроль)	15,7	-	6,02	-	18,3	-
2. Зола (P_{30}) 0,5:	17,4	1,7	6,55	0,53	23,4	5,1
3. Зола (P_{30}) 1:1	17,9	2,2	6,52	0,50	23,2	4,9
4. Зола (P_{60}) 0,5:	19,0	3,3	6,64	0,62	23,3	5,0
5. Зола (P_{60}) 1:1	18,8	3,1	6,60	0,58	25,0	6,7
6. Зола (P_{90}) 0,5:	19,1	3,4	6,97	0,95	24,0	5,7
7. Зола (P_{90}) 1:1	19,4	3,7	6,86	0,84	26,8	8,5
8. NPK (P_{30})	17,1	1,4	6,29	0,27	19,8	1,5
9. NPK (P_{60})	18,4	2,7	6,41	0,39	19,6	1,3
10. NPK (P_{90})	18,9	3,2	6,28	0,26	21,6	3,3
HCP_{05}		2,2		$F_0 < F_7$		3,3

Клевер в оба года исследований показал высокую отзывчивость на внесение удобрений. Так, существенные прибавки урожайности первого укоса от внесения золы по отношению к контролю составили 14-24 %, при этом последствие золы не ниже смеси простых удобрений. Второй укос по уровню урожайности уступал первому, и выражена лишь тенденция к её увеличению по всем вариантам с удобрениями. В благоприятных агрометеорологических условиях 2017 г. клевер второго года пользования дал высокую урожайность; получены достоверные прибавки от внесения золы в пределах 27-46 % по отношению к контролю. Не выявлено существенного изменения урожайности в зависимости от различного соотношения видов золы. В целом эффективность последствия золы существенно превышает последствие смеси минеральных удобрений (суперфосфата и хлористого калия).

По результатам полевых исследований 2013-2017 гг., культуры севооборота показали разную отзывчивость на удобрения. В целом за севооборот средняя продуктивность в год на контроле без удобрений равна 1,58 т з.е/га; достоверные прибавки продуктивности от внесения золы с учётом её последствия составили 0,28-0,44 т з.е/га. Нет существенных различий по про-

дуктивности культур между вариантами с различными соотношениями видов золы. В целом эффективность золы в севообороте достоверно выше действия смеси простых удобрений, включающей суперфосфат и хлористый калий, в связи с более длительным её последствием. Таким образом, золу органосодержащих отходов можно считать одним из альтернативных удобрений в современных условиях.

Внесение золы оказало существенное влияние на изменение ряда агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Так, на третий год после внесения золы содержание подвижного фосфора в почве возросло на 12-20 мг/кг, содержание обменного калия увеличилось на 22 мг/кг относительно контроля (без удобрений). В то же время не установлено существенных изменений суммы обменных оснований и степени насыщенности почвы основаниями; изменение реакции почвы в сторону подщелачивания под влиянием золы выражено лишь на уровне тенденции [9].

Дерново-подзолистые почвы характеризуются, как правило, низким уровнем плодородия и содержат недостаточное количество микроэлементов питания растений. Это ограничивает получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и снижает эффективность применения основных макроэлементов в составе удобрений.

Как было отмечено, в составе золы органосодержащих отходов в значительных количествах содержатся важнейшие компоненты минерального питания растений: фосфор, калий, микроэлементы (Zn, Mo, Cu, B). Таким образом, с внесением золы в почву эти элементы вновь включаются в приходную статью баланса элементов питания. Для более полной характеристики агроэкологического состояния почвы необходима оценка её обеспеченности микроэлементами и содержания тяжелых металлов. Анализ почвенных проб был проведён методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Содержание подвижных форм микроэлементов в почве на третий год после внесения золы представлено в таблице 3.

3. Содержание подвижных форм микроэлементов в дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве под влиянием золы органосодержащих отходов, мг/кг (2015 г.)

Вариант опыта	Cu	Zn	Mo	Mn	Co	B
1. Без удобрений (контроль)	1,82	1,82	0,12	36,0	0,65	0,78
2. Зола (P_{30}) 0,5:1	1,91	1,95	0,12	26,0	0,60	0,96
3. Зола (P_{30}) 1:1	2,49	1,56	0,13	34,0	0,64	1,20
4. Зола (P_{60}) 0,5:1	2,31	2,09	0,11	36,0	0,63	0,73
5. Зола (P_{60}) 1:1	2,51	2,12	0,14	33,0	0,60	0,89
6. Зола (P_{90}) 0,5:1	2,50	1,96	0,14	37,0	0,59	0,26
7. Зола (P_{90}) 1:1	1,85	1,27	0,13	34,0	0,67	0,27
8. NPK (P_{30})	2,18	1,43	0,14	28,0	0,61	0,58
9. NPK (P_{60})	2,17	1,29	0,12	25,0	0,65	0,58
10. NPK (P_{90})	2,42	2,74	0,15	28,0	0,70	0,64

Как видно из полученных данных, применение золы биологических отходов в целом положительно сказалось на обеспеченности дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы подвижными формами микроэлементов, во всех вариантах выражена явная тенденция к повышению их содержания. Обеспеченность медью и молибденом во всех вариантах средняя, кобальтом – низкая. В то же время в большинстве вариантов обеспеченность подвижным цинком низкая, и толь-

ко при внесении золы в дозах по фосфору P_{60} - средняя. Содержание подвижного марганца в почве при использовании смеси минеральных удобрений низкое, а при использовании золы среднее (за исключением варианта 2). Такая же тенденция выражена и по содержанию подвижного бора: в вариантах с внесением NPK обеспеченность этим элементом средняя, а в вариантах с внесением золы (P_{30} и P_{60}) – высокая. В вариантах 6 и 7 (P_{90}) обеспеченность подвижным бором средняя, вероятно, этот элемент был значительно вынесен с урожаем сельскохозяйственных культур.

В целом, отмечено заметное положительное влияние золы биологических отходов на содержание подвижных форм микроэлементов в почве.

Оценка агроэкологического состояния почвы включает также и содержание тяжелых металлов. В таблице 4 приведено валовое содержание в почве тяжелых металлов.

4. Валовое содержание тяжелых металлов в дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве под влиянием золы органосодержащих отходов, мг/кг, (2015 г.)

Вариант опыта	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Hg	As
1. Без удобрений (контроль)	2,86	26,1	0,86	7,2	21,9	0,024	2,3
2. Зола (P_{30}) 0,5:1	4,76	29,2	0,64	7,4	40,6	0,032	2,8
3. Зола (P_{30}) 1:1	3,25	27,4	0,85	7,5	45,3	0,036	3,3
4. Зола (P_{60}) 0,5:1	4,19	31,3	0,89	8,4	41,8	0,033	3,7
5. Зола (P_{60}) 1:1	3,89	30,3	0,85	8,2	34,7	0,034	3,7
6. Зола (P_{90}) 0,5:1	3,81	30,1	1,38	7,9	30,3	0,026	2,8
7. Зола (P_{90}) 1:1	5,28	28,7	1,04	8,5	23,8	0,030	3,0
8. NPK (P_{30})	2,66	30,7	0,98	8,9	22,5	0,024	2,9
9. NPK (P_{60})	2,08	30,5	1,09	8,8	32,2	0,029	3,1
10. NPK (P_{90})	5,76	31,8	0,98	9,2	24,5	0,022	3,2

Валовое содержание большинства химических элементов находится в пределах, соответствующих их низкому и очень низкому содержанию. Лишь содержание никеля следует отнести к среднему уровню [7]. Выражена тенденция к возрастанию валового содержания всех рассматриваемых химических элементов под влиянием применения золы биологических отходов и смеси минеральных удобрений относительно контроля. Однако, если сравнить полученные данные с предель-

ными по фитотоксичности концентрациями тяжелых металлов в почве [6], то можно отметить, что ни один из показателей не превышает ПДК. Таким образом, применение золы биологических отходов не загрязняет почву тяжелыми металлами.

Заключение. Результаты исследований 2013-2017 гг., проведенных в Удмуртской Республике, позволяют считать золу органосодержащих отходов альтернативным удобрением, эффективность применения которого в севообороте не ниже смеси простых минеральных удобрений. Получена высокая отзывчивость клевера лугового на последствие золы; достоверные прибавки урожайности зелёной массы составили в зависимости от агрометеорологических условий 14-24 и 27-46 % относительно контроля. В среднем за севооборот применение золы с учётом её последствия способствовало увеличению продуктивности на 0,28-0,44 т з.е./га в год, что существенно превышает действие смеси простых удобрений. Выявлено положительное влияние золы на содержание в почве подвижных форм микроэлементов; содержание тяжёлых металлов по всем вариантам не превышало ПДК.

Литература

1. Бортник Т.Ю. Эффективность золы органосодержащих отходов в полевом севообороте на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве / Т.Ю. Бортник, Д.В. Яковлев // Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения: Матер. междунауч.-практ. конф. – Н.Новгород: НГСХА, 2017. – С. 164-168.
2. Дабахова Е.В. Оптимальное обращение с отходами как важнейшее условие сохранения экологического потенциала сельских территорий / Е.В. Дабахова, В.И. Титова // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах: Матер. междунауч.-практ. конф. НГСХА. – Н.Новгород: НИУ РАНХиГС, 2014. – С. 64-68.
3. Парфёнов В.И. Утилизация отходов лесной промышленности / В.И. Парфёнов. – М.: Уральский рабочий, 1993. – 59 с.
4. Соловьёв П.П. Зола и её применение на удобрение / П.П. Соловьёв. – М.: Сельхозгиз, 1952. – 112 с.
5. Сычёв В.Г. Прогноз потребности сельского хозяйства России в минеральных удобрениях к 2030 г. / В.Г. Сычёв, С.А. Шафран, Т.М. Духанина // Плодородие. – № 2. – 2016. – С. 5-7.
6. Тяжёлые металлы в системе почва-растение-удобрение / Под ред. М. М. Овчаренко. – М., 1997. – 290 с.
7. Леднёв А.В. Тяжёлые металлы в почвах Удмуртской Республики и приёмы, снижающие их миграцию в системе почва-растение: монография / А.В. Леднёв, А.В. Ложкин, А.И. Безносов. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2016. – 175 с.
8. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе / сост. Норберт Вильдбахер / Norbert Wildbacher. – Минск, 2007. – 28 с.
9. Яковлев Д.В. Эффективность использования золы как продукта термической переработки органосодержащих отходов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах / Д.В. Яковлев, Т.Ю. Бортник // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 4 (16). – С. 65-71.

THE USE OF ORGAN-CONTAINING WASTE ASHES IN THE FIELD CROP ROTATION

T.Yu. Bortnik, O. G. Dolgovykh, E.V. Lekomtseva, I.M. Kudryavtsev

Izhevsk State Agricultural Academy, Kirova ul. 16, 426033 Izhevsk, Udmurt Republic, E-mail: agrohim@izhgsha.ru

In 2013-2017 we conducted a field experiment on the study of the effectiveness of organo-containing ash wastes utilization as a fertilizer for crops cultivated on sod-medium-podzolic soil of Udmurt Republic. The object of research was the ash of bird guano and wood waste. Schemes of experiments included variants with different doses of ash (equivalent to phosphorus P_{30-90}) and with the addition of a mixture of simple mineral fertilizers in similar doses. Significant aftereffect of ash on the meadow clover yield of 1st and 2nd years of use is revealed; significant increases in the yield of green mass in different years fall inside the range from 14 to 24 and from 27 to 46% compared to the control. The efficiency of the ash of organo-containing waste, taking into account its aftereffect, was expressed in a statistically significant increase in the crops productivity of crop rotation on average by 0.28-0.44 tons of grain units per hectare in comparison with control. The tendency of positive effect of ash on the content of mobile forms of microelements in the soil is revealed. The content of heavy metals in the soil in all variants does not exceed the MPC. Ashes of organic waste can be considered as an alternative complex fertilizer.

Keywords: utilization of organo-containing wastes, ash, clover meadow, productivity of crop rotation, sod-podzolic soils, microelements, heavy metals.