

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ УДОБРЕНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

**Материалы международной научно-практической конференции,
посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля
науки БССР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора
Р. Т. Вильдфлуша**

Минск 2007

чества льнопродукции. Данные бактериальные препараты экологически безопасны и позволяют экономить до 15 кг/га минерального азота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селектор Г. ЭМ-технология / Г. Селектор. Казань: Дас, 2002. 32 с.
2. Шаблин П. А. ЭМ-технология / П. А. Шаблин. М.: ЭМ-центр, 2001. 14 с.
3. ЭМ-технология. Рекомендации ПО «ЭМ-технологии», М.: ЭМ центр, 2001. 31 с.

УДК 631.472.71:631.831:631.415.7

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ ДОЗ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ЗОЛЫ НА КИСЛОТНОСТЬ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ

З. ЦЕЦЬКО, габ. доктор, профессор; А. Ц. ЖОЛНОВСКИ, доктор;
А. ХЕЛСТОВСКИ, магистр инж.

Кафедра химии окружающей среды, Варминско-Мазурский университет в г.Ольштын,
plac Łódzki 4, 10-718 Olsztyn, Польша

Я. ЛИСОВСКИ, доктор

Высшая школа агробизнеса, ul. Wojska Polskiego 161, 18-402 Łomża, Польша

Введение. Вследствие изменений в польском законодательстве в области защиты воздуха в последние годы наблюдается систематическое снижение эмиссии пыли в энергетическом секторе. Исходная эмиссия, составлявшая около 570 тыс. т в 1990 г., уменьшилась до около 56 тыс. т в 2000 г. Приведенные данные по эмиссии не учитывают промышленной энергетики и промышленных технологий (Главное статистическое управление 2004) [5]. Указанные изменения связаны с применением все более эффективного пылеочистного оборудования, способного задерживать до 98 % пыли, образующейся в ходе процессов сжигания. Ограничение эмиссии пыли ведет к увеличению объемов летучей золы в предназначенных для ее хранения местах по соседству с энергетическими предприятиями. По оценочным данным, в Польше в 2003 г. было задержано и отложено около 99,2 % пыли, произведенной электростанциями и теплоцентралями, что составило около 13600 тыс. т. В связи с этим все большее значение приобретает проблема освоения и утилизации пыли на этих предприятиях. Накопленная в отвалах пыль, являясь агрессивным фактором, может изменять активность и продуктивность экосистем. Каменноугольная и древесноугольная пыль электростанций, рассматриваемая как отход, который содержит, однако, пригодные для сельскохозяйственного производства элементы и поэтому может использоваться как удобрение [3, 6]. Внося эти отходы в почву, можно улучшать их баланс и ограничивать отрицательное влияние чрезмерной концентрации в местах хранения, т. е. в отвалах. Если влияние летучей золы на урожай и качество растений, а также на свойства почвы уже довольно подробно изучены, то данных по длительности изменений, вызываемых внесением этих веществ в почву, в литературе еще мало.

Целью работы было изучить влияние каменноугольной золы на физико-химические свойства почвы, а именно на активную, обменную и гидролитическую кислотность. Одновременно изучалось взаимодействие золы с органическими добавками, т. е. с навозом, соломой и древесной корой, вносимыми в почву вместе с золой.

Объекты и методы исследований. Исследования были проведены на основе полевого опыта, заложенного в 1984 г. в районе села Ленг Старосциньски, гмина Лелис, Мазовецкое воеводство (Польша), на почве, образованной из пылевато-глинистого песка, содержащей 63 % песка, 30 % пыли и 7 % глины (классификация почв Польского почвоведческого общества VN-78/9180-11) [1]. Почва характеризовалась средним содержанием усвояемого фосфора ($55 \text{ мг P}\cdot\text{кг}^{-1}$) и высоким — усвояемого калия ($152 \text{ мг K}\cdot\text{кг}^{-1}$) и магния ($55 \text{ мг Mg}\cdot\text{кг}^{-1}$). Емкость поглощения составляла $12,5 \text{ сантимоля (+)}\cdot\text{кг}^{-1}$, а реакция, измеряемая в водной вытяжке и в 1 M KCl , составляла соответственно pH 6,5 и 5,6.

Опыт проводили по методу случайных блоков в четырех повторностях с учетом двух опытных факторов. В качестве фактора первого порядка были приняты возрастающие дозы золы из электрофильтров электростанции «Ostrołęka» S. A. в дозах 0, 100, 200, 400, 600 и $800 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$. Используемая в опыте зола в пересчете на 1 кг сухого вещества содержала 491 г SiO_2 , 1700 мг P, 2900 мг K, 1500 мг Ca и 7100 мг Mg, а реакция pH, измеряемая в 1 M KCl , составляла 9,2. Второй фактор составляли добавки, вносимые в почву вместе с золой: навоз, солома и древесная кора в количестве 10 т сухого вещества на 1 га. Площадь каждой делянки составляла 54 м^2 .

В представленном опыте каменноугольную золу и органические добавки внесли осенью 1984 г. под зимнюю вспашку. Выращивали следующие культуры: 1985 г. — картофель, 1986 г. — овес на зеленую массу + люпин на зеленую массу, 1987 г. — рожь на зеленую массу + бобово-злаковую травосмесь на зеленую массу, а в 1988–1991 гг. — бобово-злаковую травосмесь на зеленую массу. Указанные культуры удобряли минеральными удобрениями (NPK) в дозах, соответствующих агротехническим правилам, одинаковых в течение всего опыта. С 1992 г. поле использовалось в качестве постоянного лугопастбищного угодья — без применения минеральных удобрений.

В 2003 г. — через 19 лет после внесения золы — на отдельных опытных объектах были отобраны пробы почвы с глубины 0–25 см. Отбор проб осуществляли с помощью почвенного бура диаметром 50 мм в четырех точках на каждой делянке и объединяли затем в одну пробу с данной делянки. Свежую почву, отобранную для исследований, сушили на воздухе и просеивали через сито с диаметром отверстий 1,0 мм. В подготовленных таким образом пробах определили:

pH в H_2O и 1 M KCl — потенциметрическим методом [9]. Для измерений использовали pH-метр фирмы WTW модель pH 538 и комбинированный электрод этой же фирмы модель SenTix 60. Для калибровки прибора использовали автоматическую систему «AutoCal TEC» с буферами WTW pH=4,01; 7,00 и 10,00;

гидролитическую кислотность Нг — по методу Каппена [9].

Взаимозависимость между дозой золы и рН в H_2O и 1 М КСl, а также гидролитической кислотностью Нг определили с помощью коэффициента линейной корреляции с использованием программы Microsoft Excel 2000 [8].

Результаты и их обсуждение. Рассматривая воздействие различных доз каменноугольной золы на исследуемую почву, констатировали, что в пахотном (гумусовом) горизонте (0–25 см) реакция почвы в воде постепенно росла по мере увеличения дозы этих отходов (табл. 1).

Таблица 1. Активная кислотность пахотного слоя почвы (рН), удобряемого каменноугольной золой, по вариантам опыта

Дозы золы	Без добавки	С добавкой навоза	С добавкой соломы	С добавкой древесной коры	В среднем
0 т·га ⁻¹	6,32	6,37	6,40	6,38	6,37
100 т·га ⁻¹	6,38	6,24	5,95	6,31	6,22
200 т·га ⁻¹	6,36	6,52	6,43	6,24	6,39
400 т·га ⁻¹	7,17	7,20	7,10	6,93	7,10
600 т·га ⁻¹	7,00	6,87	6,83	6,70	6,85
800 т·га ⁻¹	6,97	7,01	7,03	6,80	6,95
в среднем	6,70	6,70	6,62	6,56	6,65
R ²	0,81	0,79	0,78	0,76	0,81

Среднее значение рН в H_2O для указанных вариантов опыта (без добавок, с навозом, с соломой и с древесной корой) в варианте без золы (контрольный вариант) составило 6,37. Внесение золы в дозе 100 т·га⁻¹ привело к незначительному снижению реакции почвы, в среднем до величины 6,22, а затем к росту рН до величины 6,95 при дозе 800 т·га⁻¹. Исключением был вариант с дозой золы 400 т·га⁻¹, в котором реакция почвы, измеряемая в воде, составила рН 7,10. В исследованиях других авторов дозой, в наибольшей степени увеличивающей реакцию почвы, была, как правило, самая высокая доза золы. В опыте Wojcieszczuk и др. [11] реакция почвы, измеряемая в воде, увеличивалась по мере роста количества добавляемой золы. При максимальном количестве золы (120 т·га⁻¹) она возросла до значения рН 7,2–7,3 по сравнению с 6,1–6,3 в почве, не удобряемой этими отходами. Kabata-Pendias и др. [6] при наибольших дозах отметили увеличение реакции почвы даже свыше рН 8. Meller [7] также получил положительные результаты по снижению активной кислотности почвы под влиянием золы, однако, в отличие от представленного здесь опыта, лишь в период с момента внесения золы до уборки первой культуры. В течение этого времени доза 30 т·га⁻¹ изменила реакцию почвы с кислой на нейтральную, а дозы 60 и 120 т·га⁻¹ — даже на щелочную.

В 1985–1991 гг. изменения активной кислотности почвы в представленном опыте исследовали Siećko и др. [2]. Лучшие результаты по нейтрализации кислой почвы под действием топочных отходов авторы

получили через 7 лет после их внесения. При дозе 800 т-га⁻¹ реакция почвы увеличилась на 2 единицы по сравнению с контрольным вариантом, достигая величины рН 7,8. Проведенные в настоящее время исследования также свидетельствуют о подщелачивающем действии золы, однако оно значительно слабее.

Примененные дозы золы привели также к значительному снижению обменной кислотности в верхнем слое почвы во всех вариантах опыта (табл. 2). Реакция почвы, измеряемая в 1М КСl, через 19 лет после внесения топочных отходов составляла в среднем рН 6,41. Разница между контрольным вариантом и максимальной величиной, отмеченной при дозе 800 т-га⁻¹, во всех вариантах составляла около 2 единиц. Средняя величина рН, измеряемая в 1 М КСl, изменилась с 5,3 в варианте без золы до 7,42, т. е. возросла на 40 %. Нейтрализующее действие этих отходов было особенно сильным при дозах 400, 600 и 800 т-га⁻¹. Дозы 100 и 200 т-га⁻¹ не оказывали столь сильного влияния. Полученные результаты показывают отчетливую корреляцию между дозой золы и снижением обменной кислотности. В исследованиях той же почвы, проведенных Сіе́ско и др. [4] на седьмой год после внесения золы, разница величины рН в КСl между вариантом с дозой 800 т-га⁻¹ и контрольным вариантом была подобной, составляя 2,2 единицы. Указанное влияние топочных отходов подтверждают работы других авторов. Сіе́ско и Nowak [2], применяя золу в вегетативном опыте в количестве от 2,5 до 30 % массы почвы, отметили снижение обменной кислотности на 2 единицы. Giedroјć и Fatyга [4] после внесения золы в количестве 150 т-га⁻¹ отметили изменение рН в КСl в горизонте 0–15 см с 3,9 в контрольном варианте до 5,9. Wojcieszczuk и др. [11] наблюдали в своем опыте подобные изменения. В данном случае величина рН в 1 М КСl, составлявшая в контрольном варианте 5,9–6,1, возросла до 7,1–7,2 при максимальной дозе 120 т-га⁻¹. Meller [7] также получил положительные результаты, однако так же, как и в случае активной кислотности, нейтрализующее действие золы было кратковременным. Об интенсивности процесса свидетельствует отмеченная после окончания опыта реакция почвы в вариантах с самым низким уровнем удобрения — значение обменной кислотности было ниже, чем в контрольном варианте.

Применяемая в опыте каменноугольная зола привела к отчетливому снижению гидролитической кислотности в верхнем слое почвы (табл. 3). Через 19 лет после внесения золы она составляла в среднем по всем вариантам, удобряемым золой, 2,12 сантимоль-кг⁻¹ и была самой высокой по сравнению с другими исследуемыми уровнями. При самых высоких дозах золы она уменьшилась в среднем в 2,7 раза по сравнению с контрольным вариантом. Особенно сильное воздействие на гидролитическую кислотность почвы оказывала зола в количестве 400, 600 и 800 т-га⁻¹. В вариантах с навозом, соломой и древесной корой низкие дозы золы не снижали гидролитической кислотности по сравнению с контрольным вариантом. Из этого следует, что зола, внесенная в почву 19 лет назад, по-прежнему влияет на уровень гидроли-

тической кислотности, хотя несколько менее эффективно. Ранее полученные результаты Сіе́ско и др. [3] подтверждают положительное действие золы на снижение гидролитической кислотности. При дозе $800 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ в первые 6 лет проведенного опыта она снизилась в среднем в 3 раза по сравнению с почвой без золы. Наибольшее, шестикратное снижение гидролитической кислотности по сравнению с контрольным вариантом авторы отметили на седьмой год после внесения этих отходов в почву. Подобное шестикратное снижение гидролитической кислотности под влиянием золы по сравнению с контрольным вариантом отметили в своем опыте Сіе́ско и Nowak [2]. Эти результаты были еще более отчетливыми в исследованиях Meller [7], где гидролитическая кислотность снизилась в первом году исследований в 7,4 раза.

Таблица 2. Обменная кислотность ($\text{pH}_{\text{КСП}}$) пахотного слоя почвы, удобряемого каменноугольной золой, по вариантам

Дозы золы	Без добавки	С добавкой навоза	С добавкой соломы	С добавкой древесной коры	В среднем
$0 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	5,22	5,32	5,15	5,51	5,3
$100 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	5,66	5,39	5,36	5,71	5,53
$200 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	5,79	6,15	5,96	5,74	5,91
$400 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	7,21	7,03	7,12	6,96	7,08
$600 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	7,33	7,32	7,31	7,01	7,24
$800 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	7,49	7,49	7,53	7,17	7,42
в среднем	6,45	6,45	6,41	6,35	6,41
R^2	0,94	0,95	0,95	0,93	0,95

Таблица 3. Гидролитическая кислотность пахотного слоя почвы, удобряемого каменноугольной золой, по вариантам, в сантиметрах кг^{-1} почвы

Дозы золы	Без добавки	С добавкой навоза	С добавкой соломы	С добавкой древесной коры	В среднем
$0 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	3,30	3,30	3,38	2,55	3,13
$100 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	3,00	3,45	3,90	3,00	3,34
$200 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	2,90	2,33	2,40	2,85	2,62
$400 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	1,05	1,05	1,20	1,28	1,14
$600 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	1,35	1,35	1,28	1,50	1,37
$800 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$	1,20	1,20	0,90	1,28	1,14
в среднем	2,13	2,11	2,18	2,08	2,12
R^2	-0,88	-0,87	-0,90	-0,85	-0,89

Выводы

1. Примененные в 1984 г. мелиоративные дозы каменноугольной золы привели к длительным изменениям реакции исследуемых почв. Подщелачивающее действие золы отметили по отношению к активной кислотности (pH_{H_2O}) и, особенно, по отношению к обменной кислотности (pH_{KCl}).

2. Примененные дозы золы вызвали линейный рост величины pH, измеряемой в H_2O и $1M KCl$, соответственно с pH 6,22 до 6,95 и с 5,30 до 7,42.

3. Мелиоративные дозы золы изменили гидролитическую кислотность (Нг). Она отчетливо отрицательно коррелировала с величиной внесенных доз золы. Наибольшее снижение Нг (2 сантимольа H^+ kg^{-1} почвы) отметили после применения самой высокой дозы золы $800 t\text{-га}^{-1}$.

4. Через 19 лет после внесения в почву золы с добавками нельзя однозначно говорить о длительном воздействии навоза и соломы, однако можно сказать о незначительном подкисляющем воздействии древесной коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. BN-78/9180-11 Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne. Soil Textural Classification developed by the Polish Society of Soil Science.
2. Ciecicko Z., Nowak G. 1984. Reakcja kukurydzy, owsa i rzepaku na wzrastające dawki popiołu z węgla kamiennego. Roczniki Gleboznawcze, 35 (1): 51–61.
3. Ciecicko Z., Nowak G., Lisowski J. 1993. Właściwości fizykochemiczne gleby w warunkach stosowania popiołu z węgla kamiennego. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln., 409: 97–102.
4. Giedrojć B., Fatyga J. 1985. Wpływ nawożenia popiołem z elektrociepłowni Czechnica na niektóre właściwości gleby piaszczystej i plonowanie roślin. Roczniki Gleboznawcze, 36 (3): 155–163.
5. GUS 2004. Główny Urząd Statystyczny. Rocznik Statystyczny
6. Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Wiącek K. 1987. Wpływ popiołów z węgla kamiennego na gleby i rośliny. Archiwum Ochrony Środowiska, 1–2: 97–107.
7. Meller E. 1999. Zmiany we właściwościach gleby piaszczystej nawożonej zróżnicowanymi dawkami popiołów z elektrowni «Dolna Odra». Folia Univ. Agric. Stet. Agric. AR Szczecin, 78: 189–201.
8. Microsoft 2000. Microsoft Excel 2000 v. 9.0., www.microsoft.com
9. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Methods of analysis and assesment of soil and plant properties. IOŚ, Warszawa.
10. StatSoft 2001. Statistica (data analysis software system) Statsoft Inc., version 6.0 www.statsoft.com
11. Wojcieszczuk T., Niedźwiecki E., Meller E. 1996. Zmiany w składzie chemicznym gleby i uzyskanych z niej przesączów pod wpływem zróżnicowanego nawożenia popiołem z Elektrowni «Dolna Odra». Roczniki Gleboznawcze, 47 (3–4): 213–221.