

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ**3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей****3.5.4. Использование золошлаков для улучшения свойств почв****3.5.4.4. Золошлаки от сжигания биомассы – ценные побочные продукты или отходы?**

С. Станковски, Р. Мацюрковски, М. Гибжинска, Технологический университет Западной Померани, Щецин, Польша

АННОТАЦИЯ

В статье приведен краткий обзор различных направлений применения золы биомассы для сельскохозяйственных целей и лесного хозяйства. Перечислены преимущества и недостатки применения золы от сжигания биомассы в качестве источника питательных веществ для растений.

ВВЕДЕНИЕ

С начала XXI в. в Польше наблюдаются динамические изменения на рынке поставщиков энергии. Проводимая ЕС политика, с учетом серьезного внимания к вопросам охраны окружающей среды, оказывает существенное влияние на диверсификацию источников производства энергии. Из-за установленных квот на выбросы CO₂ энергогенерирующие компании вынуждены вкладывать средства в технологии использования возобновляемых источников для производства электрической и тепловой энергии, в основном, ветровые и тепловые установки со сжиганием растительной биомассы. Последняя технология, основанная, главным образом, на сжигании биомассы в кипящем слое, особенно развивается в электроэнергетике. На рис.1 представлена электростанция в Щецине (Польша) с системой сжигания биомассы в кипящем слое



Рис. 1. Электростанция в Щецине с системой сжигания биомассы в кипящем слое.

Параметры электростанции: "зеленое" производство энергии – 440 тыс. МВт·ч/год; расход топлива – 708 тыс. т/год (древесная стружка или пеллеты из соломы); годовые выходы донной золы – 3,6 тыс. т и летучей золы – 5,0 тыс. т. На рис. 2 представлена часть системы топливоподачи электростанции в Щецине.



Рис. 2. Часть системы топливоподачи электростанции в Щецине.

В последние годы в Польше были приняты в эксплуатацию несколько установок, а некоторые установки находятся в фазе пилотных проектов. Неизбежным следствием совместной или отдельной выработки электрической и тепловой энергии, основанной на сжигании биомассы в качестве топлива, является образование золы. Согласно польскому законодательству утилизация золы биомассы аналогична утилизации золы, образовавшейся в котельных установках при сжигании угля. В настоящее время законами ограниченного применения предписано, чтобы весь объем образованной золы располагался на золоотвалах, что приводит к значительным расходам со стороны владельцев энергетических установок, сжигающих биомассу. Зола биомассы содержит различные макро- и микроэлементы, которые можно успешно использовать в сельскохозяйственных целях для замыкания цикла кругооборота питательных веществ. Использование золы биомассы в тех местах, где она была произведена и собрана, можно рассматривать как вполне приемлемые варианты постоянного полезного применения золы для сельскохозяйственных целей и лесного хозяйства, которые будут нейтральными для агроэкосистем и не приведут к нарушению их равновесия.

СОСТАВ ЗОЛЫ

Количество и элементный состав образовавшейся золы, а также и другие ее свойства зависят от различных факторов. Количество, физические и химические свойства золы существенно зависят от следующих основных факторов:

- a) видов сжигаемой биомассы (виды и происхождение растений; части сжигаемых растений; формы и технологии хранения биомассы для сжигания);
- b) технологии сжигания (сжигание на решетке или в кипящем слое; конструкции камеры сгорания и котлов; параметры процесса сжигания: температура горения, расход воздуха, а также и другие параметры);
- c) технологии улавливания золы из дымовых газов (циклоны, различные фильтры);
- d) дополнительные технологии по предотвращению сверхнормативных выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, используемые при сжигании биомассы (ввод аммиачной воды или доломита в слой сжигания) [1 - 3].

При сжигании древесины и других видов растительной биомассы образуется твердый остаток - зола, составляющая от 2 (например, ивняк) до 20 % (например, шелуха риса) исходного материала по массе [4]. Основным фактором, влияющим на качество золы, является тип сжигаемого материала. Существует мнение, что лучшим решением является использование древесины твердых пород в качестве сырья. Зола, образованная при сжигании незагрязненной древесины, содержит низкий уровень диоксинов и тяжелых металлов, и может быть использована в качестве удобрения даже в сельском хозяйстве [5]. С другой стороны среди побочных продуктов находятся золы, образующиеся в процессе сжигания шламов сточных вод [6]. Зола, образованная при сжигании других источников, по качеству находится между упомянутыми выше побочными продуктами. В Польше работают промышленные установки, сжигающие, в основном, древесную биомассу (около 80 %), а остальные - сжигают агропромышленную биомассу, полученную из различных источников. На рис. 3 представлена летучая зола биомассы.



Рис. 3. Летучая зола биомассы.

Технология сжигания является вторичным фактором, влияющим на качество золы. Использование различных типов сжигающих установок приводит к образованию золы различного качества. По классификации зола, в основном, находится между летучей и донной золой, а также между золой, образованной при сжигании в кипящем слое и на решетке. В установках со сжиганием на решетке образуется донной золы в количестве около 95 %, а остальное составляет летучая зола. Донная зола состоит из шлака, песка, и несгоревшего сырья. При этом фракции летучей золы включали мелкие частицы (белый порошок), проникающие в растворимые соли и тяжелые металлы. При выработке энергии с использованием технологии сжигания в кипящем слое образуются зола совершенно другого качества, чем упомянуто выше. В этой установке образуется такое же количество летучей и донной золы. Донная зола состоит из песка, донного материала, и инертной золы топлива, в то время как летучая зола (серый порошок) топлива является вяжущей золой топлива с фрагментами песка [3]. Данные, представленные в таблице, демонстрируют значительные различия в химическом составе (мг/кг сухой массы золы) в зависимости от типа золы. Это данные, полученные из самой обширной базы данных в Европе [7], которая включала результаты наблюдений за процессами сжигания на различных решетках; улавливания в фильтрах и циклонах при сжигании разных видов биомассы. Летучая зола содержит высокие концентрации кадмия, меди, хрома, свинца и мышьяка, поэтому и польза от применения этого вида золы в качестве удобрений очень ограничена. Концентрация тяжелых металлов в летучей золе, образованной при сжигании в установках с кипящим слоем, в целом представляла большой разброс, но в новых типах сжигающих установок не превышает уровня, характерного для стандартных удобрений. Тем не менее, доля *Mg* и *Ca* в тяжелых металлах является превышенной.

ЗОЛА БИОМАССЫ, КАК ИСТОЧНИК ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Преимущества использования золы в качестве удобрения очевидны. Повторное использование остатков сжигания в сельском хозяйстве может привести к реализации замкнутых циклов питательных веществ и необходимости меньшего применения удобрений в промышленном масштабе [6, 8]. Это имеет особое значение для уменьшения расхода фосфора, так как его мировые ресурсы существенно ограничены [9]. Зола сжигания биомассы является давно известным минеральным удобрением. Зола биомассы практически не содержит азот, а содержит фосфор и другие питательные вещества, необходимые для питания растений [10]. Зола биоэнергетических установок, в основном, рассматривается как известковый материал из-за высокого содержания *Ca*, хотя концентрации *Mg*, *K* и *P* могут быть также важны [11].

Таблица. Предельные содержания элементов в золах различных видов биомассы при различных технологиях сжигания, г/кг сухой массы

Элемент	Все типы золы			Донная зола			Летучая зола			Золовая смесь
	min	max	\bar{x}	min	max	\bar{x}	min	max	\bar{x}	\bar{x}
<i>P</i>	2	409000	15311	11	409000	26073	2	45025	9952	19912
<i>K</i>	24	465000	96058	142	336000	58059	234	417960	207918	60844
<i>Ca</i>	1	683356	219370	60	590000	269906	7	311959	129953	204585
<i>Mg</i>	98	160000	28467	2232	160000	38871	1	46985	17045	30795
<i>Na</i>	297	124715	6416	672	108000	6351	337	36735	9078	8532
<i>S</i>	150	140889	22753	150	137000	7511	2279	128540	45314	14478
<i>Pb</i>	1	48950	694	1	1890	63	12	6989	1066	137
<i>Zn</i>	8	113849	6436	8	3769	416	163	38916	12064	1560
<i>Cd</i>	1	451	40	1	24	2	1	155	57	10
<i>As</i>	1	130	15	1	31	7	2	40	13	24
<i>Cl</i>	2	467218	31014	4	18330	1632	830	351915	108096	3197

Наиболее существенные недостатки зол, образующихся при сжигании биомассы:

- зола не является полноценным удобрением из-за недостатка азота;
- фосфор содержится в формах, нерастворимых в почвах при естественных условиях;
- низкая концентрация питательных веществ по отношению к содержанию тяжелых металлов;
- высокое содержание нежелательных инертных газов;
- низкая консистенция;
- минеральное сырье природного происхождения, используемое для производства удобрений, чище и стабильнее по составу;
- отсутствие интереса промышленности к производству удобрений из золы [3].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЫ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЙ

Золу можно использовать непосредственно как удобрение или как исходный материал для производства удобрений. При проведении ряда исследований [12, 13] был обнаружен положительный эффект применения незагрязненной золы биомассы в лесных и агроэкосистемах. Были исследованы влияние золы на урожайность биомассы, динамику роста, выщелачивание, содержание загрязняющих веществ, фотосинтетический потенциал, а также физические, химические, биологические и микробиологические свойства почвы [14 - 18]. Зола от сжигания древесины применяется для улучшения питания и раскисления почв лесного назначения. Зола может применяться вместе с азотными удобрениями или без них. Зола древесины также применяется взамен извести, обеспечивая увеличение *pH* почвы за счет катионов оснований. Более того, золу биомассы также можно использовать в качестве известкующих агентов, а также можно стимулировать микробную деятельность в почве [19, 20]. Кроме того, золу от сжигания агробиомассы можно использовать в качестве калийсодержащих удобрений (Рис. 4) [21].

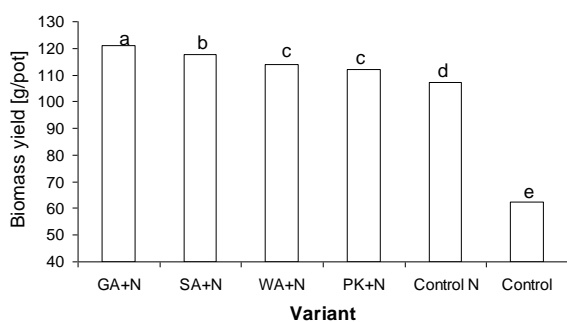


Рис. 4. Урожай Фестуколиума в вегетационных опытах в зависимости от внесения разных видов золы в сочетании с азотом – *N* (GA – зола зерновых, 49 г *K*/кг сухой массы; SA – зола соломы, 32,7 г *K*/кг сухой массы; WA – зола древесины, 13,4 г *K*/кг сухой массы; PK – коммерческие удобрения). В вариантах, отмеченных одинаковой буквой, различия незначительны согласно тесту Тьюки при *p* = 0,05.

СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Существует много возможностей внесения золы в почву. С применением сыпучей золы связан ряд проблем: а) проблемы в обращении с сыпучей золой, б) повышенный риск для здоровья, в) проблемы распределения золы механическим способом, г) зола имеет большой потенциал пагубных последствий для поверхностной растительности, в частности, поверхности и видов сообщества мха [5]. Таким образом, традиционными являются методы переработки золы (размол, изготовление пеллет, грануляция), которые также приводят к изменению содержания питательных веществ [22 - 24]. Как правило, техническая пригодность оборудования возрастает с уменьшением размера частиц золы. Пеллеты и гранулы необходимо использовать только для внесения удобрений на длительный срок. Другим способом использования золы является ее смешивание с органическими отходами, например, осадком сточных вод. Зола можно добавить в компост для стабилизации процесса компостирования (температура, микробиологическая деятельность). Смесь золы с из-

вестняком можно также использовать для улучшения свойств почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зола биомассы, не загрязняющие окружающую среду, нужно утилизировать как побочные продукты, а не отходы, которые складываются на золоотвалах. Зола биомассы является источником питательных веществ (*P*, *K*, *Mg* и *Ca*), которые необходимо возвращать в те места, где происходило выращивание и сбор биомассы, для замыкания цепи естественного круговорота минеральных веществ. Возможными областями применения золы являются: плантации лесохозяйственных, промышленных и энергетических культур. Необходимо изменить законы государственного регулирования. Более того, требуется большая степень приемлемости использования зол биомассы обществом и собственниками земли не только для лесохозяйственных, но и сельскохозяйственных целей. Это же относится и к другим химическим элементам, содержащимся в золах биомассы: *Ni*, *Co*, *Cr* и *Cu*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Van Alkemade M. M. C., Loo S., Sulilatu W. F. 1999. Exploratory investigation into the possibilities of processing ash produced in the combustion of reject wood. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation Apeldoorn, The Netherlands.
2. Obernberger I., Biedermann F., Widmann W., Riedl R. 1997. Concentration of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fraction. *Biomass and Bioenergy* 12(3): 211-224.
3. Pels J. R., De Nie D.S., Kiel J. H. A. 2005. Utilization of ashes from biomass combustion and gasification. 14th European Biomass Conference & Exhibition, Paris, France, 17-21 October 2005.
4. Insam H., Knapp B. A. 2011. Recycling of biomass ashes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
5. Pitman R. M. 2006. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry* 79(5): 563-588.
6. Vance E. D., Mitchell C.C. 2000. Beneficial use of wood ash as an agricultural soil amendment: case studies from the United States forest products industry. In: Power J. F., Dick W. A. (eds) Land application of agricultural, industrial and municipal by-products. SSSA, Madison, pp 567-582.
7. www.ieabcc.nl/database.
8. Demeyer A., Nkana J. C.V., Verloo M. G. 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresour. Technol.* 77: 287-295.
9. Codling E. E., Chaney R. L., Sherwell J. 2002. Poultry litter ash as a potential phosphorus source for agricultural crops. *J. Environ. Qual.* 31: 954-961.
10. Schiemenz K., Eichler-Lobermann B. 2010. Biomass ashes and their phosphorus fertilizing effect on different crops. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 87: 471-482.
11. Ohno T. 1992. Neutralisation of soil acidity and release of phosphorus and potassium by wood ash. *J. Environ. Qual.* 21, 433-438.
12. Park B. P., Yanai R.D., Sahn J.M., Lee D.K., Abrahamson L.P. 2005. Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass Bioenerg.* 28, 355-365.
13. Patterson S.J., Acharya S.N., Thomas J.E. et al. 2004. Integrated soil and crop management: Barley biomass and grain yield and canola seed yield response to land application of wood ash. *Agron. J.* 96(4): 971-977.
14. Mandre M. 2006. Influence of wood ash on soil chemical composition and biochemical parameters of young Scots pine. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.* 55(2): 91-107.
15. Nieminen M., Piirainen S. and Moilanen M. 2005. Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertilisers: field studies in Finnish soils. *Scand. J. For. Res.* 20, 146-153.
16. Perucci P., Monaci E., Casucci C. et al. 2006. Effect of recycling wood ash on microbiological and biochemical properties of soil. *Agron. Sustain. Dev.* 26: 157-165.
17. Perucci P., Monaci E., Onofri O., Vischetti C., Casucci C. 2008. Changes in physico-chemical and biochemical parameters of soil following addition of wood ash: A field experiment. *Europ. J. Agronomy* 28: 155-161.
18. Saarsalmi A., Malkonen E., Piirainen S. 2001. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35(3): 355-368.
19. Taylor A.F. Finlay R.D. 2003. Effects of liming and ash applications on below ground ectomycorrhizal community structure in two Norway spruce forests. *Water Air Soil Pollut. Focus* 3: 63-76.
20. Zimmermann S., Frey B. 2002. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1727-1737.
21. Stankowski S., Wołoszyk Cz., Meller E., Bury M., Bielińska J. E. 2008. Der Einfluss von Asche aus der Biomasse auf Bodeneigenschaften und Erträge von Festulium. 2. Rostocker Bioenergieforum. Innovationen für Klimaschutz und Wirtschaftliche Entwicklung. 29-30 Oktober. Rostock Universität.
22. Kubica K., Robak J., Kubica S. 2003. Otrzymywanie kompaktowych materiałów o charakterze użytkowym z popiołów lotnych i osadów ściekowych. Rekultywacja Trenów Zdegradowanych. 10-11 kwietnia 2003 roku. Big Ltd., pp. 25-31.
23. Rosik-Dulewska Cz., Karwaczyńska U., Ciesielczuk T. 2011. Możliwości wykorzystania odpadów organicznych i mineralnych z uwzględnieniem zasad obowiązujących w ochronie środowiska. *Rocznik Ochrona Środowiska* 13: 361-376.
24. Rotheneder E., Handler F., Holzner H. 2005. Assessment of the utilisation of differently processed Wood-Ashes as fertiliser in Agriculture and Forestry; Proceedings of "Bioenergy 2005" International Bioenergy in Wood Industry Conference and Exhibition from 12th-15th of September 2005, Finland, pp 445-449.

С. Станковски, Р. Мациоровски, М. Гибжинска.

Золошлаки от сжигания биомассы – ценные побочные продукты или отходы? // Материалы IV научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 19–20 апреля 2012 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 106 – 109.