

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ**3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей****3.5.4. Использование золошлаков для улучшения свойств почв****3.5.4.1. Использование золы каменных углей для грунтового биологического слоя с целью рекультивации деградированных почв**

Я. Верещака, С. Пузински, К. Кугларз, И. Глуба, Технологический университет Западной Померании, Щецин, Польша

АННОТАЦИЯ

Проведен эксперимент на рекультивированном золоотвале (координаты: N 53°13'10'', E 14°26'53''). По рекомендациям, подготовленным научными сотрудниками Технологического университета Западной Померании в Щецине, проведен анализ образцов золы каменных углей, сточных шламов и смеси этих двух компонентов, образовавшихся в 2009 г.,

В результате анализа физических свойств в сечении верхнего слоя (0...30 см) смеси, применяемой в качестве поверхностного слоя золоотвала, получен высокий показатель общей порозности (56,9 %), низкие величины насыпной плотности (1,14 т/м³) и сухой насыпной плотности (0,92 т/м³). Установлено, что зола, как компонент смеси со шламом сточных вод, подходит для развития корневой системы растений.

ВВЕДЕНИЕ

Рекультивация почвы – процесс, при котором существенно деградированные почвенные слои стабилизируются несмотря на опасность ветровой и водной эрозии. Вследствие изменений химических и физических свойств часто создаются неблагоприятные окружающие условия для прорастания семян и последующего роста растений. Если растительный покров не сформирован немедленно, то эродированная почва подвергается ветровой и водной эрозии, из-за чего образуются отложения в окружающих потоках. В этом тысячелетии проекты рекультивации и восстановления земель должны отражать совокупность экологических, экономических и социальных аспектов. Экологические аспекты рекультивации играют главную роль в этой деятельности и обеспечивают расширение площади, доступной для биологического разнообразия окружающей среды. Согласно закону польского правительства (Dz. U. 2004 Nr 121 roz. 1266) деградированные земли – это те, чья сельскохозяйственная ценность или ценность с точки зрения лесопользования уменьшены, особенно, из-за ухудшения естественных условий или изменений в окружающей среде, промышленной деятельности, а также неправильном земледелии. Земли, которые полностью потеряли свою сельскохозяйственную или лесопользовательскую ценность, называют опустошенными.

Согласно польскому закону рекультивация земли означает проведение мероприятий по ее восстановлению с целью возвращения деградированной или опустошенной земле ее природную или хозяйственную ценность с помощью формирования соответствующего рельефа местности, улучшения физических и химических свойств почвы, регулирования водного баланса почв, укрепления берегов и восстановления или строительства необходимых дорог. Рекультивация земель может быть осуществлена для сельскохозяйственных, лесопользовательских или развлекательных целей.

Метод рекультивации земель выбирается исходя из причин их деградации или опустошения. Например, в почвы, окисленные или загрязненные тяжелыми металлами, можно внести известь, чтобы вернуть им необходимый показатель рН или блокировать попадание из них вредных частиц. Кроме того, внося в почву сорбционный комплекс с органическим веществом [6] или глину, можно блокировать попадание тяжелых металлов из почвы. Можно также применять фиторекультивацию почвы, при которой растения накапливают тяжелые металлы для их удаления из почвы. В случаях, когда имеет место чрезмерное загрязнение почвы, применяется внешнее оборудование. Слой почвы удаляется и очищается посредством различных физических и химических процессов [13, 14]. Одно из главных преимуществ фиторекультивации – относительно низкая цена по сравнению с другими восстановительными методами, такими как выемка грунта.

Другая причина опустошения земель – разрушение и удаление вышележащего плодородного гумусного слоя вместе с отходами. Наряду с прочим, такое опустошение земель происходит в карьерах или на отвалах (включая отвалы угольной золы). В этих случаях цель рекультивации состоит в том, чтобы восстановить плодородие почвы, покрывая поверхность грунта плодородным слоем или внося в существующую почву органические вещества [9, 10].

Углубления, образовавшиеся после разработки карьера, также представляют серьезную проблему. Их необходимо выровнять. Польский закон об отходах (Dz. U. Nr 62, roz. 628) разрешает применение отходов для выравнивания земли, как способ их утилизации.

При сжигании каменных углей, являющихся основным источником производства энергии в Польше, образуется большое количество золошлаков, которые необходимо складировать на золошлакоотвалах или находить им полезное применение. Есть несколько способов полезного применения золы каменных углей. Они могут использоваться для укрепления дорожных насыпей или отвалов [4, 11]. Летучую золу можно использовать как добавку для производства цемента [3]. Одним из предложенных решений является использование золы каменных углей для рекультивации опустошенных и деградированных земель [1]. Этот способ утилизации золы позволяет выравнивать выемки, образовавшиеся в процессе мероприятий по разработке карьеров, а также использовать золу каменных углей взамен вскрышных пород.

Низкие концентрации азота, фосфора и органического углерода наряду с высокими концентрациями кальция и натрия делают золу каменных углей непригодной для нижних слоев, на которых произрастают растения и живут микроорганизмы (табл. 1). Добавление органического вещества в золу каменных углей является хорошим решением этой проблемы [1, 5, 12].

Таблица 1. Свойства остатков сжигания каменных углей

Свойства	Зола	Шлак
Химический состав		
Компонент	Содержание, [%]	
SiO ₂	46,94	55,54
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	22,92	17,98
Fe ₂ O ₃	8,50	11,80
Na ₂ O	1,61	1,00
K ₂ O	2,05	1,85
CaO	5,52	3,14
MgO	2,42	1,85
SO ₃	1,24	0,24
Объемная плотность [г/см ³]	1,82	1,83

Источник: Brylska 2008

Шлам сточных вод может быть хорошим источником органических веществ для целей рекультивации почвы. В 2006 г. согласно данным главного статистического управления [8], на установках по очистке сточных вод в Польше производилось свыше одного миллиона тонн шламов сточных вод, из которых 106 тысяч тонн было использовано для сельскохозяйственных целей, а 287 тысяч тонн – для рекультивации земель. Более 36 % от общего объема образованных шламов сточных вод отправлялось на отвал. За счет высокого содержания органических веществ и питательных элементов после предварительной стабилизации шламы сточных вод можно использовать в качестве удобрения или для рекультивации нижних слоев почвы. Авторы [7] выявили, что шламы, образовавшиеся на городской станции очистки сточных вод в Любартово, содержали большое количество питательных веществ, и по этому показателю их можно сравнить с навозом (табл. 2).

Высокое содержание тяжелых металлов в шламах сточных вод является очень серьезной проблемой. Кроме того, низкое содержание калия в шламах сточных вод может представлять угрозу растущей зеленой массе [7]. Не считая этого, применение шлама сточных вод для рекультивации земель является прекрасным решением. Утилизируя шламы, можно рекультивировать опустошенные и деградированные земли.

Таблица 2. Химический состав шламов сточных вод, образовавшихся на городской станции очистки сточных вод в Любартово

Элемент	Годы	
	2001	2002
	Содержание в % на с.м.	Содержание в % на с.м.
N-NH ₄	5,63	6,06
P	0,04	0,22
K	2,54	2,52
Ca	0,39	0,37
Mg	2,28	1,98
Азот, всего	0,33	0,53
Органические вещества	66,9	69,0
Зола, всего	33,11	31,0
Сухая масса (с.м.)	12,8	12,0

Источник: Jackowska & Olejsiuk 2004

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на рекультивированном золоотвале вблизи ТЭС Долна Одра, Польша, Новое Чарново (координаты: N 53° 13' 10'', E 14° 26' 53''). Среднегодовое количество осадков составляет 530 мм, среднегодовая температура - 8,1 °С.

Область исследования состоит из шести случайно выбранных типовых карт (10 м x 10 м) золоотвала общей площадью 21 га, покрытого в сентябре 2009 г. слоем смеси толщиной 30 см, подготовленной по рекомендации научных сотрудников отделения агрономии технологического университета Западной Померании в Щецине.

В качестве исходного нижнего слоя для рекультивации почвы была зола ТЭС, смешанная со шламом сточных вод в объемном соотношении 1:1. Смесь подготовлена в июне 2009 г. В мае 2009 г. для определения характеристик золы, шламов сточных вод и смеси этих двух компонентов были взяты шесть образцов (n=6) золы из золоотвала, восемнадцать образцов (n=18) сыпучей золы, пятнадцать образцов (n=15) шлама сточных вод и восемнадцать (n=18) образцов смеси исходного материала для рекультивации почвы.

Результаты дают общее представление о чувствительности и безопасности смеси золы и шлама согласно рекомендуемой методике.

Насыпная плотность, сухая объемная плотность и гравиметрическое водосодержание в золе были вычислены с помощью базового метода и представлены в табл. 3. Сухая масса (с.м.) и показатель pH шлама сточных вод (фактическая кислотность была определена pH-метром с использованием стеклянных электродов в 1/2,5 дистиллированной воде) были измерены, результаты измерений даны в табл. 4. Определены насыпная плотность, сухая объемная плотность и гравиметрическое водосодержание в смеси золы и шлама сточных вод, показатели представлены в табл. 5. В пределах области исследования в выбранных местах было вырыто по одному углублению в каждой типовой карте. Образцы почвы были взяты стальным цилиндром (100 см³) из трех различных слоев (0...10, 10...20, и 20...30 см). Все образцы были отобраны в ноябре 2009 г. и были принесены в лабораторию отделения агрономии, где были взвешены и высушены при температуре 105 °С до достижения ими постоянной массы. Насыпная плотность, сухая объемная плотность, общая порозность и гравиметрическое водосодержание в нижнем слое были вычислены по базовому методу, результаты представлены в табл. 6. Величины и содержание описываемых компонентов были сравнены статистически при уровне достоверности 0,05, используя непараметрический опытный статистический анализ. Кроме того, была рассчитана величина отношения изменения (V) для соответствующей реплики эксперимента. Средние величины, определенные для всех свойств, представлены в соответствующих таблицах.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

Средняя фактическая насыпная плотность (табл. 3) была выше для образцов золы, взятых от золоотвала (1,57 т/м³). Этот показатель менялся с 1,51 до 1,72 т/м³, в то время как фактическая насыпная плотность золы для смеси колебалась от 1,13 до 1,25 т/м³ со средней величиной 1,18 т/м³.

К тому же, средняя величина сухой насыпной плотности золы была выше у образцов золы, отобранных из золоотвала (1,03 т/м³), варьируясь от 0,93 до 1,21 т/м³, тогда как средняя сухая плотность сыпучей золы имела

более низкий показатель (0,87 т/м³). Измеренный диапазон сухой насыпной плотности золы, подготовленной для смешивания, менялся от 0,80 до 1,20 т/м³. Зола из золоотвала имела также более высокое влагосодержание (52,2 %), при этом влагосодержание менялось с 41,8 до 63,9 %, тогда как средняя величина влагосодержания сыпучей золы была ниже - 38,9 % (диапазон показателя менялся с 35,6 до 43,3 %).

Таблица 3. Величины средней фактической насыпной плотности, сухой насыпной плотности (т/м³) и влагосодержания (%) образцов золы каменных углей, отобранных из сыпучей золы (n=18), подготовленной для смешивания, а также образцов золы из золоотвала (n=6)

Образец		Фактическая насыпная плотность (т/м ³)	Сухая насыпная плотность (т/м ³)	Гравиметрическое влагосодержание (%)
Сыпучая зола (n=18)	Средняя величина	1,18 a	0,87 a	38,9 a
	Влагосодержание (%)	2,9	10,0	6,0
Зола из золоотвала (n=6)	Средняя величина	1,57 b	1,03 b	52,2 b
	Влагосодержание (%)	13,2	10,6	17,7
Средняя величина		1,27	0,91	42,2
Влагосодержание (%)		13,9	12,4	16,6
Наименьшая значимая разница (НЗР _{0,05})		0,075	0,144	6,203

Общая характеристика образцов шлама сточных вод, отобранных из различных мест, представлена в табл. 4. Оказалось, что шлам сточных вод - очень неоднородный материал. Среднее содержание сухой массы составляло 24,12 %, но диапазон был очень широк - от 16,54 % до 31,13 %. Измерение показателя рН в шламе сточных вод оказалось проблематичным. Средняя величина показателя рН, измеренного в воде, составила 7,84. Минимальная величина рН_{H2O} равна 7,37, а максимальная - 8,21. Средний показатель рН_{KCl} был немного выше 7,85.

Характеристика смеси золы каменного угля со шламом сточных вод, подготовленной в мае 2009 г., приведена в табл. 5. Средняя фактическая насыпная плотность новой смеси равна 1225 т/м³, тогда как средняя сухая насыпная плотность составляла 0,75 т/м³. Среди измеренных параметров смеси больше всего различались данные по влажности образцов. Отношение изменения гравиметрической влажности составляло 29,0 %, в то время как средняя величина была 65,7 %.

Свойства поверхностного слоя золоотвала, рекультивированного золой каменных углей через 6 месяцев после естественного закрепления, представлены в табл. 6. Естественные процессы закрепления слоя привели к росту насыпной плотности и снижению уровня влаги в покрывающем слое. Принимая во внимание различие свойств поверхностного слоя на разной глубине, выявлены существенные различия измеренной насыпной плотности в разных местах. Верхний слой толщиной 10 см были значительно более плотным по сравнению с двумя нижними слоями - насыпная плотность сухого материала составляла 0,95 т/м³, тогда как в средних (10...20 см) и нижних слоях (20...30 см) эти величины были равны 0,90 и 0,91 т/м³ соответственно. Уровень влажности и общая порозность поверхностного слоя не зависели от глубины взятого образца, однако, отношение изменения

этих параметров указывает на достаточно большую разницу у образцов, взятых из двух более глубоких слоев.

Таблица 4. Средние показатели содержания сухой массы (%), рН_{H2O} и рН_{KCl} в образцах шлама сточных вод, отобранных в различных местах (n=15) как компонент для подготовки смеси с золой каменных углей

Образец	Содержание сухой массы (%)	Величина рН _{H2O} в шламе	Величина рН _{KCl} в шламе	
Шлам сточных вод	1	28,49 b	8,06	8,06
	2	17,17 a	7,55	7,65
	3	29,67 b	7,81	7,71
	4	20,59 a	7,87	7,85
	5	24,70 a	8,19	8,26
Средняя величина		24,12	7,84	7,85
Влагосодержание (%)		20,8	65,5	48,9
НЗР _{0,05}		3,612	.	.

Таблица 5. Средние показатели насыпной плотности (n=18), фактической насыпной плотности, насыпной плотности сухой золы т/м³ и влагосодержания (%) смеси для рекультивации золоотвала, май 2009 г.

Готовая смесь	Фактическая насыпная плотность (т/м ³)	Насыпная плотность сухой смеси (т/м ³)	Гравиметрическое влагосодержание (%)
A	1,265 ab	0,68 a	87,6 b
B	1,280 b	0,85 b	50,4 a
C	1,177 a	0,71 a	66,5 ab
D	1,178 ab	0,75 ab	58,1 a
Среднее	1,225	0,75	65,7
Влагосодержание (%)	6,2	11,8	29,0
НЗР _{0,05}	0,102	0,102	22,007

Таблица 6. Средние показатели фактической насыпной плотности (n=18), насыпной плотности сухой золы т/м³, влагосодержания (%) и общей порозности (%) в трех слоях смеси (0...10, 10...20 и 20...30 см), покрывающей золоотвал, ноябрь 2009 г.

Глубин покрывающего слоя (см)		Фактическая насыпная плотность (т/м ³)	Насыпная плотность сухой смеси (т/м ³)	Гравиметрическое влагосодержание (%)	Общая порозность (%)
0-10	Средняя величина	1,45 b	0,95 b	52,7	56,5
	Влагосодержание (%)	4,0	1,7	7,6	1,0
10-20	Средняя величина	1,41 ab	0,90 a	56,8	58,8
	Влагосодержание (%)	2,7	4,8	16,8	5,0
20-30	Средняя величина	1,36 a	0,91 ab	50,9	55,4
	Влагосодержание (%)	5,4	6,9	12,3	7,6
0-30	Средняя величина	1,41 ab	0,92 ab	53,4	56,9
	Влагосодержание (%)	3,4	3,4	10,6	3,9
	НЗР _{0,05}	0,06	0,043	n. s.	n. s.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Оказывается, что зола, как компонент смеси со шламом сточных вод, подходит для развития корневой системы растений. Более высокие величины насыпной плотности, сухой насыпной плотности и гравиметрического водосодержания имели место в образцах золы, отобранных из золоотвала, по сравнению с образцами, отобранными из сыпучей золы для смеси.
2. Выявлено, что шлам сточных вод, как компонент смеси сложно использовать для осуществления правильной методики введения нужных компонентов в поверхностный слой золоотвала.
3. Зола ТЭС и шлам сточных вод, смешанный с золой в соотношении 1:1, можно рекомендовать использовать в качестве исходных компонентов нижнего слоя для рекультивации почвы. Результаты насыпной плотности полученной смеси (1,18...1,27 т/м³) и сухой насыпной плотности (0,68...0,85 т/м³) различались.
4. Физические свойства смеси, использованной в качестве поверхностного слоя золоотвала, в расчете на толщину верхнего слоя 0-30 см, отличаются высоким показателем общей порозности и низкими величинами насыпной плотности и сухой насыпной плотности.
5. Смесь, подготовленная по рекомендации научных сотрудников отделения агрономии Технологического университета Западной Померании в Щецине, можно использовать для рекультивации опустошенных земель.

Статья может быть опубликована в открытой печати.
Адрес электронной почты автора:

Jacek.Wereszczaka@zut.edu.pl

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bielińska E. J.**, Stankowski S. 2004. Wpływ popiołów i odpadów organicznych na właściwości biochemiczne gleb na modelu reкультивacji w ZE Dolna Odra SA w Nowym Czarnewie. XI Międzynarodowa Konferencja Popioły z energetyki Zakopane, 13-16 października 2004 s. 289-298.
2. **Brylska E.** 2008. Badanie przydatności popiołów z nowych systemów spalania węgla dla technologii ceramiki budowlanej. Materiały ceramiczne, 60, 4, s. 191-194.
3. **Feuerborn H.J.**, von Berg W. 2004. Popiół lotny w betonie – doświadczenie niemieckie. XI Międzynarodowa Konferencja Popioły z energetyki Zakopane, 13-16 października 2004 s. 21-36.
4. **Fromm J.**, Ciszek J., Wyrzykowski S. 2008. Road construction with use of coal combustion products – alternative or necessity?

Unusual applications of ash-bottom ash-cement mixtures carried out by VKN Polska. International Conference EuroCoalAsh 2008 Warsaw, October 6-8, 2008 s. 175-180.

5. **Gibczyńska M.**, Meller E., Stankowski S., Romanowski M., Lewandowska L., Wicher J. 2008. The reaction of *Festulolium braunii* cv. felopa grass on the content of different fertilizer combinations containing fluidal ash from hard coal. International Conference EuroCoalAsh 2008 Warsaw, October 6-8, 2008 s. 361-374.
6. **Gondek K.**, Filipek-Mazur B. 2003. Wiązanie metali ciężkich przez próchnicę w glebach narażonych na oddziaływanie zanieczyszczeń komunikacyjnych, Acta Agrophysica, 2(4), s. 759-770.
7. **Jackowska I.**, Olesiejuk A. 2004. Ocena przydatności osadów ściekowych z Oczyszczalni Ścieków w Lubartowie do rolniczego wykorzystania Annales Universitatis Marie Curie Skłodowska. Vol. LIX, Nr 2 Sectio E, s.: 1001-1006.
8. **Main** Statistical Office. 2008 Poland.
9. **Siuta J.** 2005. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowiskach odpadów przemysłowych, Acta Agrophysica, 5(2) s. 417-425.
10. **Strzyszczyński Z.**, Łukasik A. 2008. Zasady stosowania różnorodnych odpadów do rekultywacji biologicznej terenów poprzemysłowych na Śląsku, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 24, Zeszyt 2, s. 41-49.
11. **Wagner-Kalotka K.T.**, Konopka K. 2004. Mieszanki popiołowo-żużlowo-cementowe do budowy nasypów i dróg gminnych. XI Międzynarodowa Konferencja Popioły z energetyki Zakopane, 13-16 października 2004 s. 249-254.
12. **Wereszczaka J.**, Pużyński S., Śnieg M., Stankowski S., Gluba I. 2006. The changes in physical properties of ground prepared for biological reclamation store of ash-slag. In: Ashes from Power generation, edited by: Myszkowska A., Szczygielski T., p. 253- 262.
13. **Wereszczaka J.** 2007. Wykorzystanie rdestu ostrokończastego (*Polygonum cuspidatum* Siebold&Zuch.) do rekultywacji gruntów zdewastowanych. Biomasa dla elektro-energetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy s.110-115.
14. **Żurek G.** 2003. Rośliny alternatywne w fitoekstrakcji metali ciężkich z obszarów skażonych, Problemy inżynierii rolniczej, nr 3 s. 83-89.

Использование золы каменных углей для грунтового биологического слоя с целью рекультивации деградированных почв. Я. Верещака, С. Пузински, К. Кугларз и др. // Материалы III научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 22-23 апреля 2010 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 72 – 75.