

DOI 10.22363/2313-2310-2019-27-2-91-104
УДК 504:691.5:628.35

Научная статья

Формирование кластера золошлаковых отходов для производства строительных материалов как мера подавления очагов накопленного вреда окружающей среде

А.М. Дрегуло^{1,2,3}, В.М. Питулько²

¹Санкт-Петербургский государственный университет

Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7–9

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН

Российская Федерация, 197110, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18

³Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Российская Федерация, 198095, Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 17

Аннотация. Наиболее перспективной схемой утилизации объектов накопленного вреда окружающей среде в системе водоотведения является их совместная инсинерация с твердыми бытовыми отходами для получения золошлаков, используемых в качестве добавки в производстве строительных материалов. Последнее становится стратегическим ресурсом в реализации программы ликвидации объектов накопленного экологического ущерба. В ходе исследования были проанализированы различные виды золошлаков, полученные от сжигания отходов водоотведения и твердых бытовых отходов. Полученные данные дают основания считать пригодным использование золошлаков от отходов водоотведения по токсикологическим параметрам, в том числе и ввиду позитивной практики за рубежом. Следовательно, возможно формирование кластера совместной инсинерации отходов для получения золошлака, используемого в качестве добавки в строительные материалы. Результаты исследования указывают на потенциальную эффективность и своевременность реализации подавления очагов накопленного экологического ущерба, связанного со свалками твердых бытовых отходов, через формирование кластера совместной инсинерации отходов для получения золошлаков.

Ключевые слова: осадки сточных вод; твердые бытовые отходы; накопленный вред окружающей среде; золошлаковые отходы; кластер отходов; строительные материалы

Введение

Использование безотходной технологии в получении вторичного продукта из осадков сточных вод (ОСВ) весьма затруднительно (за исключением биогаза) [1]. Основную проблему несут тяжелые металлы и связанные с ними процессы биоалкилирования, наличие патогенной и специфической микрофлоры, способной даже после длительной стабилизации отходов на иловых площадках, полигонах, в геотубах к проявлению негативного воздействия [2].

© Дрегуло А.М., Питулько В.М., 2019



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Поэтому использование их в качестве биосубстрата для сельского хозяйства (как наиболее рационального этапа целевой утилизации осадков) невозможно для осадков сточных вод общесплавной канализации. Последнее обуславливает пути их утилизации задаваемыми критериями общепринятой практики – утилизации на полигонах, жизненный цикл эксплуатации которых становится фактором накопленного вреда окружающей среде (НВОС).

Цель статьи – определение основных физико-химических и токсикологических параметров экологической безопасности золошлаковых отходов от сжигания осадков сточных вод и цивилизованных путей их утилизации в виде кластерного подхода как превентивной меры ликвидации объектов НВОС.

Материалы и методы

В качестве золошлакового материала была исследована зола от сжигания осадков сточных вод Северной станции аэрации Санкт-Петербурга. Компонентный состав тяжелых металлов проводился по стандартизированным методикам М-МВИ-80-2008, ПНД Ф 16.1:2.23-2000, ПНД Ф 16.3.24-2000; влажность согласно ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.58-08; сульфат-ион согласно ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:53-08; хлориды согласно ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.28-02; зольность согласно ПНД Ф 16.2.2:2.3:29-02. Токсикологический анализ проводился на тест-объектах основных трофических звеньев водной экосистемы: водорослей *Chlorella vulgaris Beijer* согласно ПНД Ф Т 16.1:2.2:3:3.7-04 и ракообразных *Daphnia magna Straus* согласно ПНД Ф Т 16.1:2.2:3:3.9-06. Дополнительно исследовали золошлаки жженого сланца известных марок, используемые в качестве добавки в строительные смеси. На основании полученных результатов был проведен сравнительный анализ компонентного состава золошлаков различной типологии, предложены наиболее перспективные пути их утилизации.

Результаты и обсуждение

Кластерная принадлежность определенных видов отходов может со временем (при наличии инфраструктуры) приобрести позитивные перспективы, поскольку кластеры имеют две формы ранжирования: по региональному и по производственному признакам [3]. Наиболее вероятным, учитывая современные реалии получения целевого продукта, если и не конкурентным, то хотя бы имеющим потенциал для дальнейшей рыночной конвертации, является сжигание осадков сточных вод и твердых бытовых отходов (ТБО) для получения золошлаков, используемых в качестве добавки в стройматериалах.

Применительно к Санкт-Петербургу (и городам, в которых уже функционируют заводы по сжиганию отходов) такой подход может быть логичным как для регионального, так и для отраслевого вида кластера. Необходимо пояснить, что выбор именно этой технологии утилизации как единственно приемлемой в настоящее время продиктован отсутствием предварительной локальной очистки стоков на предприятиях и объемом самих осадков, характерным для мегаполисов.

В других случаях, когда в технологии не предусматриваются наличие или образование токсичных поллютантов в составе стоков и, соответственно, их аккумуляция в твердой фазе осадков, наиболее эффективным будет

использование иловых площадок именно для обработки осадков, применяемых в сельском хозяйстве. Выбор технологии утилизации рано или поздно придется сделать. Это будет или относительно дешевый метод почвенного депонирования и все сопряженные с ним экологические риски, или экономически емкие, но, возможно, более перспективные с точки зрения социально-экологического климата термические методы утилизации.

Безусловно, выбирая второй вариант, следует тщательным образом проанализировать наиболее уязвимые точки этого решения. Термическая обработка отходов является многообещающей технологией как с экологической, так и с экономической точек зрения. Тем не менее возникают серьезные проблемы, когда различные типы отходов с различными свойствами (содержание влаги, теплота горения и т.д.) утилизируют в едином процессе [4]. Поэтому одной из первоочередных задач данного направления является определение наиболее эффективной технологии термической переработки (табл. 1) [5].

Таблица 1

Сравнительная характеристика работы печей при огневом обезвреживании отходов

Печь	Температура отходящих газов, °С	Удельная нагрузка рабочего объема по уничтожаемому до ПДК веществу, кг/(м ³ *час)	Кэф-фициент избытка воздуха	Кэф-фициент неравномерности пребывания в зоне горения	Недостатки
Много-подовая	310–520	200–400	1,08–1,2	1	Загрязнение газов органическими продуктами от свежих порций ОСВ в верхней части печи; низкие удельные тепловые нагрузки; вращающиеся элементы в высокотемпературной зоне; использование дорогостоящих материалов для полого вала и скребковых мешалок; высокие капитальные и эксплуатационные затраты
Камерная	650–900	250	1,08–1,2	1	Низкие весовые нагрузки; громоздкость; высокая металлоемкость; повышенные требования к коррозионной устойчивости материала колосниковой решетки и механизации топочных устройств; большие капитальные затраты
Барабанная	650–1000	10–80	1,1–1,6	Возможно 1	Самая низкая удельная тепловая и весовая нагрузки топочного объема; разрушение футеровки, быстрый выход печи из строя из-за резкой смены температуры при вращении печи и эрозии; высокие капитальные и эксплуатационные затраты
Распылительная	650–850	80–100	1,1–1,8	1	Низкая производительность; сложность в эксплуатации; высокие капитальные затраты
Циклонная	1200	600–850	1,04–1,6	Возможно 1	Необходимость установки мощных пылеулавливающих устройств и дополнительного оборудования для выгрузки
С псевдоожиженным слоем	600–850	300–800	1,04–1,3	При подаче на слой 1	Неравномерность распределения и времени пребывания в слое частиц твердой фазы; необходимость пылеулавливания

Table 1

Comparative characteristics of the operation of furnaces for fire neutralize of waste

Furnace	Exhaust gas temperature °C	Specific load of the working volume on the substance destroyed to the maximum permissible concentrations (MPC) kg/(m ³ *H)	Air excess factor	The coefficient of irregularity of stay in the combustion zone	Disadvantages
Multiple hearth	310–520	200–400	1.08–1.2	1	Pollution of gases with organic products from fresh portions of sewage sludge in the upper part of the furnace; low specific heat loads; rotating elements in the high-temperature zone; the use of expensive materials for the hollow shaft and scraper agitators; high capital and operating costs
Chamber	650–900	250	1.08–1.2	1	Low weight load; bulkiness; high metal content; high demands to corrosion resistance of the material to the grate and mechanization combustion equipment; large capital expenditures
Drum	650–1000	10–80	1.1–1.6	Possible 1	The lowest specific heat and weight load of the furnace volume; the destruction of the lining, the rapid failure of the furnace due to a sharp change in temperature during the rotation of the furnace and erosion; high capital and operating costs
Spray	650–850	80–100	1.1–1.8	1	Low productivity; complexity in operation; high capital costs
Cyclonic	1200	600–850	1.04–1.6	1	The need to install powerful dust – trapping devices and additional equipment for unloading
Fluidized bed	600–850	300–800	1.04–1.3	When applying to layer 1	Uneven distribution and residence time in the layer of solid phase particles; the need for dust collection

Процессы инсинерации отходов ТБО и ОСВ достаточно хорошо изучены, и технологии на их основе уже порядка 40 лет применяются на Западе [10]. SWOT-анализ термических методов утилизации отходов показал, что пиролиз с сжиганием и газификацией отходов представляется наиболее оптимальной формой их термохимической обработки [11]. При этом пиролиз осадка сточных вод обеспечивает экономию энергии и минимизацию количества золошлаковых отходов после сжигания. Изменение характеристик отходов с целью увеличения его нижнего предела тепла горения зависит от многих факторов: удаления стекла, металлов и других инертных материалов. Ввиду того, что отходы ТБО являются поликомпонентными, увеличивается экономическое обременение на подготовку отходов в качестве альтернативного топлива, включающую целый ряд технологических процессов.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики технологий и аппаратов термической обработки отходов. Следует отметить, что авторы многих публикаций единогласно отдают приоритет печам с псевдоожиженным слоем из-за высокой эффективности сгорания, компактности, относительно

низких затрат на эксплуатационные расходы и простоты обслуживания. Однако в любом случае выбор наиболее приемлемых технологических решений остается за конкретным заказчиком.

Успешным примером использования метода пиролиза осадков сточных вод) является ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», применяющее данный метод, разработанный фирмой BAMAG GmbH (Германия), с начала 2000-х гг.

Сравнительный анализ компонентного состава золошлаковых отходов, перспективных для использования в качестве добавки в строительные материалы, показал широкий диапазон тяжелых металлов, имеющих следующий ряд: зола ТБО > зола осадков сточных вод > зола от жженого сланца (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительный анализ компонентного состава золошлаковых отходов для использования в качестве добавки к строительным материалам

Наименования показателя	Камк ¹	Золест оил ²	Золест бет ³	Зола ССА ⁴	Зола ТБО [6] ⁵	Зола ТБО [7] ⁶	Зола ТБО [8] ⁷	Зола ТБО [9] ⁸
	Концентрация, мг/кг							
Никель (валовая форма)	13,0	16,0	22,0	51	95–240	10–1970	60,8	124
Кобальт (валовая форма)	4,4	4,8	5,5	8,3	23–69	2,3–1671	–	–
Медь (валовая форма)	6,5	7,0	12,0	640	860–1400	187–2381	313	1300
Марганец (валовая форма)	320,0	310,0	600,0	1400	0,8–1,7	171–8500	–	1600
Хром (валовая форма)	15,0	25,0	17,0	78	140–530	21–1901	118	863
Свинец (валовая форма)	39,0	42,0	31,0	52	7400–19000	200–2600	1496	10900
Кадмий (валовая форма)	0,37	0,24	0,30	11	250–450	5–2211	25,5	470
Мышьяк (валовая форма)	12,0	14,0	12,0	–	3195	15–751	–	93
Цинк (валовая форма)	99,0	61,0	83,0	850	19000–41000	2800–152000	1386	25800
Ртуть	0,089	0,10	0,10	0,05	0,8–7	0,9–73	52	–
Алюминий	27200	37300	37300	36000	–	–	–	–
Железо	13900	32600	32600	35000	–	–	–	–
Магний	12500	32500	32500	7100	–	–	–	–
Калий	37500	38000	38000	6300	–	–	–	–
Натрий	800,0	700,0	700,0	1900	–	–	–	–
Кальций	180000	355000	355000	36000	–	–	–	–
Бенз(а)пирен	0,0054	0,072	0,072	–	–	–	–	–
Сульфат-ион	6400	4500	4500	3500	–	–	–	–
Хлориды	27200	19200	19200	–	–	–	–	–
Кремний диоксид	28000	310000	19000	740000	–	–	–	–

Примечание: 1, 2, 3 – зола сожженного сланца; 4 – зола от сжигания осадков сточных вод; 5, 6, 7, 8 – зола от сжигания ТБО; ССА – Северная станция аэрации (ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»).

Table 2

**Comparative analysis of the component composition of ash
and slag waste for use as an additive to building materials**

Indicator	Kamk ¹	Zolest oil ²	Zolest bet ³	Ash NWTP ⁴	Ash MS [6] ⁵	Ash MS [7] ⁶	Ash MS [8] ⁷	Ash MS [9] ⁸
	Concentration, mg/kg							
Nickel (gross form)	13.0	16.0	22.0	51	95–240	10–1970	60.8	124
Cobalt (gross form)	4.4	4.8	5.5	8.3	23–69	2.3–1671	–	–
Copper (gross form)	6.5	7.0	12.0	640	860–1400	187–2381	313	1300
Manganese (gross form)	320.0	310.0	600.0	1400	0.8–1.7	171–8500	–	1600
Chrome (gross form)	15.0	25.0	17.0	78	140–530	21–1901	118	863
Lead (gross form)	39.0	42.0	31.0	52	7400–19000	200–2600	1496	10900
Cadmium (gross form)	0.37	0.24	0.30	11	250–450	5–2211	25.5	470
Arsenic (gross form)	12.0	14.0	12.0	–	3195	15–751	–	93
Zinc (gross form)	99.0	61.0	83.0	850	19000–41000	2800–152000	1386	25800
Mercury	0.089	0.10	0.10	0.05	0.8–7	0.9–73	52	–
Aluminum	27200	37300	37300	36000	–	–	–	–
Iron	13900	32600	32600	35000	–	–	–	–
Magnesium	12500	32500	32500	7100	–	–	–	–
Potassium	37500	38000	38000	6300	–	–	–	–
Sodium	800.0	700.0	700.0	1900	–	–	–	–
Calcium	180000	355000	355000	36000	–	–	–	–
Benz(a)pyrene	0.0054	0.072	0.072	–	–	–	–	–
Sulfate	6400	4500	4500	3500	–	–	–	–
Chlorides	27200	19200	19200	–	–	–	–	–
Silicon dioxide	28000	310000	19000	740000	–	–	–	–

Note: 1, 2, 3 – ash of shale; 4 – ash from the incineration of sewage sludge; 5, 6, 7, 8 – ash from the incineration of municipal sludge (MS); NWTP – Northern wastewater treatment plant (SUE “Vodokanal of Saint Petersburg”).

Таблица 3

Токсикологическое исследование золы от сжигания осадков сточных вод

Условия приготовления водной вытяжки	Тест-объект	Кратность разбавления (Кр)	Класс опасности	Л, %	D, %	Критерий токсичности
10 см ³ /1,0 г; продолжительность наблюдения – 48 ч.; Т 20,5 °С; рН кон. – 7,80	<i>Daphnia magna</i> Straus (3 поколение, возраст молоди 6–24 ч.)	Кр = 1	V	13,3	–	Л > 10
Т 20,6 °С; рН кон. – 7,63		1 < Кр ≤ 100	IV	6,7	–	
Т 20,6 °С; рН кон. – 7,45		100 < Кр ≤ 1000	III	3,3	–	
10 см ³ /1,0 г; продолжительность наблюдения – 22 ч.; Т 20,5 °С; рН кон. – 7,80	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer	Кр = 1	V	–	52,3	–20 < D > 30
Т 20,6 °С; рН кон. – 7,63		1 < Кр ≤ 100	IV	–	15,8	
Т 20,6 °С; рН кон. – 7,45		100 < Кр ≤ 1000	III	–	6,5	

Table 3

Toxicological study of ash sewage sludge incineration

Conditions of preparation of water extract	Test object	Dilution ratio (DR)	Hazard class	L, %	D, %	Toxicity criterion
10 cm ³ /1.0 g; duration of observation – 48 h; T 20.5 °C ; pH – 7.80	<i>Daphnia magna</i> Straus (3 generation, age of juveniles 6–24 h)	DR = 1	V	13.3	–	L > 10
T 20.6 °C; pH – 7.63		1 < DR ≤ 100	IV	6.7	–	
T 20.6 °C; pH – 7.45		100 < DR ≤ 1000	III	3.3	–	
10 cm ³ /1.0 g; duration of observation – 22 h; T 20.5 °C ; pH – 7,80	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer	DR = 1	V	–	52.3	–20 < D > 30
T 20.6 °C; pH – 7,63		1 < DR ≤ 100	IV	–	15.8	
T 20.6 °C; pH – 7,45		100 < DR ≤ 1000	III	–	6.5	

Исследования токсикологической опасности золы от сжигания отходов позволяют отнести золошлаки от осадков сточных вод к V классу опасности (табл. 3). Это дает возможность использовать золошлаки из осадков сточных вод для получения целевого продукта при условии минимизации выщелачивания тяжелых металлов из его фракционного состава, например в композиции с вяжущими материалами.

Примером полезного использования золы от сжигания осадков сточных вод в качестве вторичного ресурса служит ряд патентных заявок и научных публикаций, например «Способ получения композиционных материалов для дорожно-транспортного строительства на основе переработанных осадков сточных вод предприятий коммунального хозяйства» [12]. Наряду с позитивной практикой использования золошлаков многие исследователи отмечают как конкурентные преимущества продукции на их основе, так и приемлемые эколого-токсикологические показатели при их использовании.

Бетон, полученный с внесением в общий состав 10 % золы биомассы, имел более высокие значения прочности на сжатие для эталонного состава [13]. Полученные элюаты исследовали по компонентному составу и агрессивности среды: pH, тяжелые металлы (19 металлов), растворенный органический углерод, хлориды, соединения фенола, соединения и полные растворенные твердые вещества, и далее проводили токсикологическую оценку на различных биотестах.

Для элюатов морской воды (при использовании материала в железобетонных конструкциях в условиях повышенной солености) оценивали ингибирование биолюминесценции бактерии *Vibrio fischeri*, микроводорослей *Phaedactylum tricorutum*, ингибирование подвижности микрокрупцаата *Artemia franciscana*, а для пресноводных элюатов – ингибирование подвижности *Daphnia magna*, *Pseudokirchneriella subcapitata*. Уровни выщелачивания химических веществ в условиях морских и пресноводных водоемов были аналогичны с эталонными образцами.

Учитывая различие в компонентных составах золошлаковых отходов, наиболее перспективными с точки зрения экологической безопасности представляются исследования по получению бетона, в процессе производства которого соединения тяжелых металлов встраиваются в силикатную и алюмосиликатную структуру исходных материалов (глины и шламы) при температу-

ре 1110 °С [14]. Матричная структура материала с использованием осадков сточных вод представлена на рис. 1 [14].

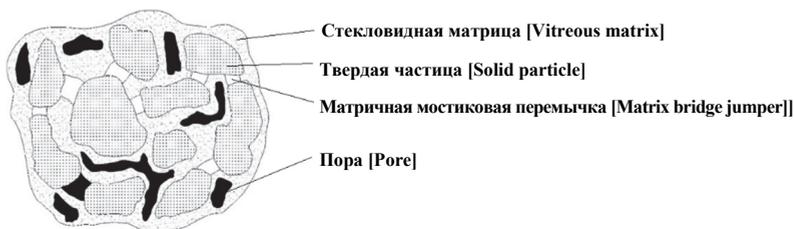


Рис. 1. Матричная структура материала с использованием осадков сточных вод
[Figure 1. Matrix structure of the material using sewage sludge]

Однако даже при наличии перечня перспективных технологий, имеющих высокий потенциал завоевания рынка продукции из вторичного сырья, действия, направленные на консолидацию усилий по формированию кластера, не будут иметь желаемого эффекта без участия государственного субсидирования и/или законодательской поддержки.

На сегодняшний день актуальность такого кластера сложно переоценить. Тем не менее исследование кластеров, локализованных в Санкт-Петербурге и развиваемых в рамках федеральных и региональных целевых программ [15] (к ним относятся и промышленные кластеры, табл. 4), показало отсутствие данного кластера как такового.

Таблица 4

Кластерная структура Санкт-Петербурга и регионов

Кластеры, локализованные на территории Санкт-Петербурга		Кластеры, не локализованные в регионе, но развиваемые государством
<i>С государственной поддержкой</i>	<i>Без государственной поддержки</i>	
Аналитические инструменты; информационные технологии; освещение и электрооборудование; биофармацевтика; медицинские инструменты; пластмассы; ювелирные изделия; производство и передача энергии; транспорт и логистика	Наука и образование; торговля; бизнес услуги; туризм	Строительство; тяжелое машиностроение; металлургическая промышленность; аэрокосмическая техника; автомобилестроение; одежда, обувь, текстиль; телекоммуникации

Table 4

Cluster structure of Saint-Petersburg and regions

Clusters localized in the Saint-Petersburg territory		Clusters, not localized in the region, but developed by the state
<i>With state support</i>	<i>Without state support</i>	
Analytical tool; information technology; lighting and electrical equipment; biopharmaceutics; medical instrument; plastics; jewelry; energy production and transmission; transport and logistics	Science and education; trade; business services; tourism	Building; heavy machinery; metallurgy; aerospace; automotive; clothing, footwear, textiles; telecommunications

Вероятно, это связано с тем, что некоторые исследователи в процессе кластеризации отрасли рассматривают экономическую составляющую как более важную в сравнении с экологической [16]. Однако с этим тезисом нельзя согласиться. Определяющим фактором здесь будет являться степень заинтересованности прежде всего государственной власти в продвижении политики безотходного производства, что, в свою очередь, может служить популяризацией философии zero waste, имеющей в своем корне именно нравственную компоненту как более значимую [17], но в то же время не отвергающую сложный путь экономической стороны.

При отсутствии экономической составляющей (финансовой выгоды) для всех участников такого бизнес-проекта, в первую очередь для производителя и потребителя, экологический фактор неминуемо отразится на административной политике управления городским хозяйством. Вопрос в этом случае всегда будет решаться не как утилизировать, а где, что еще больше обострит проблемы территориального планирования и социализации городской среды. Но учитывая темпы урбанизации пригородных территорий, появление на них объектов для размещения опасных отходов надолго стагнирует развитие данной территориально-экономической единицы. Именно поэтому государственная структура должна объединить операторов кластера: поставщика вторичного ресурса из отходов (зола от сжигания, используемой в качестве сырья для стройматериалов) и производителя стройматериалов, оказать им поддержку в формировании долгосрочной перспективы, гарантировать инвестиции.

В данном случае госструктура должна выполнять функции гаранта этих взаимоотношений, условием которых должна стать договоренность об использовании вторичного ресурса в технологии производителя. Схема подобного взаимодействия представлена на рис. 2.

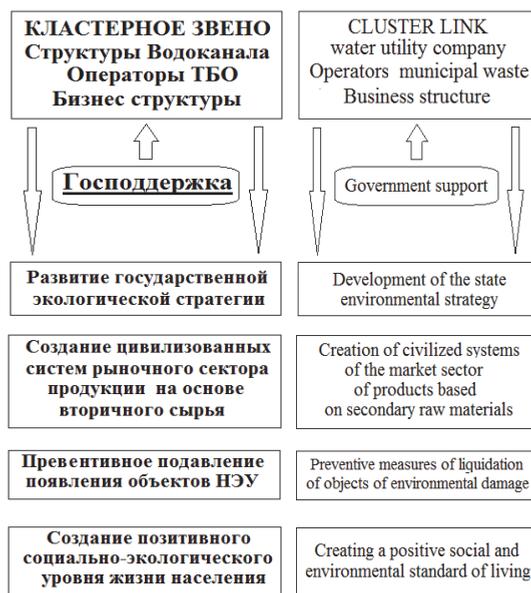


Рис. 2. Формирования кластерного подхода совместной утилизации осадков сточных вод и твердых бытовых отходов

[Figure 2. Formation of cluster approach for joint utilization of sewage sludge and municipal waste]

Экономические инструменты при создании такого кластера или составной части единого кластера отходов используются для достижения трех основных целей:

- устойчивого развития государственной экологической стратегии;
- покрытия расходов на утилизацию отходов;
- получения прибыли.

Первые две позиции достаточно понятны, вопрос остается за получением прибыли. Затраты на инфраструктуру редко покрываются местными властями. Инвестиционные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, таким образом, окажутся обременительными для операторов отходов.

Относительно несложно найти инвесторов для инфраструктуры, но зачастую невозможно найти желающих принять участие в покрытии расходов на эксплуатацию и техническое обслуживание. И здесь вовлеченность государственных структур будет играть решающую роль, используя экономические инструменты поддержки в становлении данного кластера.

Экономическим инструментом может стать разработка национальной программы субсидирования по примеру Индии (введена в 2009 г. и реализована на основе системы бенчмаркинга) [18]. Сюда же можно отнести налоговые льготы, субсидирование или акционирование предприятий кластера, закрепление кластерной политики (например, законодательно закрепленная обязанность использования только наилучших доступных технологий (НДТ) в области обращения с отходами на предприятиях водоканала и операторов ТБО), региональная поддержка коммунальных служб раздельного сбора ТБО и т.д.

Несомненно, бенефициаром в конечном итоге при формировании данного кластера будет являться социально-экономический сектор государства. Последнее не лишает выгоды остальных участников кластера – систему ЖКХ в целом (отсутствие объектов депонирования отходов) и бизнес-структуры (государственная поддержка, налоговые льготы).

Выводы

Необходимость формирования кластера не утилизируемых отходов сточных вод совместно с отходами ТБО путем совместной инсинерации является перспективным направлением для реализации общей государственной политики по предупреждению и ликвидации объектов НВОС, имеющей перспективы позитивного социально-экономического развития.

Список литературы

- [1] *Demirbas A., Edris G., Alalayah W.M.* Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant // *Energy Sources. Part A. Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 2017. Vol. 39. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1283551>
- [2] *Dregulo A.M., Vitkovskaya R.F.* Microbiological evaluation of soils of sites with accumulated ecological damage (sewage dumps) // *Fibre Chemistry*. 2018. Vol. 50. Issue 3. Pp. 243–247.
- [3] *Ксенофонтова О.Л., Абрамова Е.А.* Региональные кластеры: методические аспекты идентификации, формирования и результатов функционирования // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2015. № 3 (43). С. 91–99.

- [4] Меллер В.Я. Твердые бытовые отходы – источник тепловой и электрической энергии // Научно-технические проблемы использования альтернативных видов топлива в строительном комплексе Республики Беларусь: материалы VII Международной научно-технической конференции, Минск, 30 октября 2013 г. / редкол.: А.В. Вавилов и др. Минск, 2013. С. 10–14.
- [5] Янин Е.П. Сжигание осадков городских сточных вод (проблемы и способы) // Ресурсосберегающие технологии. 2006. № 24. С. 3–29.
- [6] Reijnders L. Disposal, uses and treatments of combustion ashes: a review // Resour. Conserv. Recycl. 2005. Vol. 43. Pp. 313–336.
- [7] Waste and Recycled Materials Use in the Transportation Industry // National Cooperative Highway Research Program / Transportation Research Board, National Research Council. Washington, 2000.
- [8] Youcai Z., Lijie S., Guojian L. Chemical stabilization of MSW incinerator fly ashes // J. Hazard. Mater. 2002. Vol. 95. Pp. 47–63.
- [9] Chang C.Y., Wang C.F., Mui D.T., Cheng M.T., Chiang H.L. Characteristics of elements in waste ashes from a solid waste incinerator in Taiwan // J. Hazard. Mater. 2008. Vol. 165. Pp. 766–773.
- [10] Conversion of Existing Municipal Sludge Incinerators for Codisposal / United States Environmental Protection Agency. SW 743. February 1979. P. 51.
- [11] Optimization of the treatment and disposal of sewage sludge in the district of Como: options and scenarios assessment – Scientific Figure on ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/figure/SWOT-analysis-for-pyrolysis_tbl37_269867833 (дата обращения: 22.04.2017).
- [12] Заявка на патент № 2012130032/05. Способ получения композиционных материалов для дорожно-транспортного строительства на основе переработанных осадков сточных вод предприятий коммунального хозяйства / Лобанов Ф.И., Кармазинов Ф.В., Кинебас А.К., Козлов Л.Н., Могильный К.В., Рублевская О.Н., Чукалина Е.М. URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2494985&TypeFile=html (дата обращения: 22.04.2017).
- [13] Barbosa R., Lapa N., Dias D., Mendes B. Concretes containing biomass ashes: mechanical, chemical, and ecotoxic performances // Construction and Building Materials. Nov. 2013. Vol. 48. Pp. 457–463.
- [14] Franus M., Barnat-Hunek D., Wdowin M. Utilization of sewage sludge in the manufacture of lightweight aggregate // Environ. Monit. Assess. 2015. Vol. 188. No. 1. P. 10. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4669375/> (дата обращения: 20.10.2018).
- [15] Кудрявцева Т.Ю. Теория, методология и инструментарий формирования кластерной промышленной политики: дис. ... д-ра эконом. наук. СПб.: СПбГПУ, 2018. С. 358–359. URL: <https://www.spbstu.ru/dsb/0727-thesis.pdf> (дата обращения: 22.11.2018).
- [16] Макарова И.Р., Тарбаева В.М. Кластерный подход в формировании региональной системы управления промышленными отходами. URL: http://www.ngtp.ru/7/26_2009.pdf (дата обращения: 27.10.2018).
- [17] Zero Waste Special Event Planning Guide. URL: https://epa.ohio.gov/portals/29/documents/1786_zerowaste_guide_final.pdf (дата обращения: 11.11.2018).
- [18] Economic instruments in solid waste management. Applying economic instruments for sustainable solid waste management in low and middle-income countries. URL: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2015-en-waste-management-economic-instruments.pdf> (дата обращения: 11.11.2018).

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 18.06.2019

Дата принятия к печати: 26.06.2019

Для цитирования:

Дрегуло А.М., Питулько В.М. Формирование кластера золошлаковых отходов для производства строительных материалов как мера подавления очагов накопленного вреда окружающей среде // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. Т. 27. № 2. С. 91–104. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2019-27-2-91-104>

Сведения об авторах:

Дрегуло Андрей Михайлович – кандидат биологических наук, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет; старший научный сотрудник лаборатории геоэкологических проблем природно-хозяйственных систем и урбанизированных территорий, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». ORCID iD: 0000-0003-4696-3147. *Контактная информация:* e-mail: a.dregulo@spbu.ru; adregulo@bk.ru

Питулько Виктор Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, заместитель директора по научной работе, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН. *Контактная информация:* e-mail: pitulko@rambler.ru

Research article

Cluster formation of ash and slag waters for production of building materials as a measure of environmental damage

Andrey M. Dregulo^{1,2,3}, Viktor M. Pitulko²

¹Saint Petersburg State University

7–9 Universitetskaya embankment, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

²Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences

18 Korpusnaya St., Saint Petersburg, 197110, Russian Federation

³National Research University “Higher School of Economics”

17 Promyshlennaya St., Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

Abstract. The most promising scheme of disposal of objects of accumulated environmental damage in the wastewater system is their joint incineration with solid waste to produce ash used as an additive in the production of building materials. The latter becomes a strategic resource in the implementation of the program of liquidation of objects of accumulated environmental damage. Various types of ash and slag obtained from the incineration of wastewater and municipal solid waste are analyzed. The data obtained give grounds to consider the use of ash from wastewater waste suitable for toxicological parameters, but also in view of positive foreign practice. This basis makes it possible to consider the formation of a cluster of joint incineration of waste to produce ash used as an additive in building materials. The results of the study indicate the potential effectiveness and timeliness in the implementation of the suppression of foci of accumulated environmental damage associated with landfills of solid waste through the formation of a cluster of joint incineration of waste for ash.

Keywords: sewage sludge; solid waste; accumulated environmental damage; ash and slag waste; waste cluster; building materials

References

- [1] Demirbas A, Edris G, Alalayah WM. Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 2017;39. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1283551>
- [2] Dregulo AM, Vitkovskaya RF. Microbiological evaluation of soils of sites with accumulated ecological damage (sewage dumps). *Fibre Chemistry*. 2018;50(3): 243–247.
- [3] Ksenofontova OL, Abramova YA. Regional'nyye klasteri: metodicheskiye aspekty identifikatsii, formirovaniya i rezul'tatov funktsionirovaniya [Regional clusters: methodical aspects of identification, formation and results of functioning]. *Sovremennyye nauko-yemkiye tekhnologii. Regional'noye prilozheniye*. 2015;3(43): 91–99. (In Russ.)
- [4] Meller VY. Tverdye bytovyye otkhody – istochnik teplovoy i elektricheskoy energii. *Nauchno-tekhnicheskkiye problemy ispol'zovaniya al'ternativnykh vidov topliva v stroitel'nom komplekse Respubliki Belarus': Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Minsk, 30 oktyabrya 2013*. p. 10–14. (In Russ.)
- [5] Yanin YeP. Szhiganiye osadkov gorodskikh stochnykh vod (problemy i sposoby) [Incineration of urban sewage sludge (problems and methods)]. *Resource-saving technologies*. 2006;(24): 3–29. (In Russ.)
- [6] Reijnders L. Disposal, uses and treatments of combustion ashes: A review. *Resour. Conserv. Recycl.* 2005;43: 313–336.
- [7] Transportation Research Board, National Research Council. Waste and Recycled Materials Use in the Transportation Industry. *National Cooperative Highway Research Program*. Washington; 2000.
- [8] Youcai Z, Lijie S, Guojian L. Chemical stabilization of MSW incinerator fly ashes. *J. Hazard. Mater.* 2002;95: 47–63.
- [9] Chang CY, Wang CF, Mui DT, Cheng MT, Chiang HL. Characteristics of elements in waste ashes from a solid waste incinerator in Taiwan. *J. Hazard. Mater.* 2008;165: 766–773.
- [10] United States Environmental Protection Agency. *Conversion of Existing Municipal Sludge Incinerators for Codisposal*. SW 743. February 1979. p. 51.
- [11] *Optimization of the treatment and disposal of sewage sludge in the district of Como: options and scenarios assessment – Scientific Figure on ResearchGate*. Available from: https://www.researchgate.net/figure/SWOT-analysis-for-pyrolysis_tb137_269867833 (Accessed: 22 April 2017).
- [12] Lobanov FI, Karmazinov FV, Kinebas AK, Kozlov LN, Mogil'nyy KV, Rublevskaya ON, Chukalina YeM. *Zayavka na patent No. 2012130032/05. Sposob polucheniya kompozitsionnykh materialov dlya dorozhno-transportnogo stroitel'stva na osnove pere-rabotannykh osadkov stochnykh vod predpriyatiy kommunal'nogo khozyaystva [Application for patent No. 2012130032/05. A method for producing composite materials for road construction based on recycled sewage sludge from utilities]*. Available from: http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2494985&TypeFile=html (Accessed 22 April 2017). (In Russ.)
- [13] Barbosa R, Lapa N, Dias D, Mendes B. Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances. *Construction and Building Materials*. 2013;48: 457–463.
- [14] Franus M, Barnat-Hunek D, Wdowin M. Utilization of sewage sludge in the manufacture of lightweight aggregate. *Environ. Monit. Assess.* 2015;188(1): 10. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4669375/> (Accessed 20 October 2018).
- [15] Kudryavtseva TYu. *Teoriya, metodologiya i instrumentariy formirovaniya klatsernoy promyshlennoy politiki [Theory, methodology and tools for the formation of a clutter industrial policy]* (Dissert. dok. ekonom. nauk). Saint Petersburg: SPBGPU; 2018. p. 358–359. Available from: <https://www.spbstu.ru/dsb/0727-thesis.pdf> (Accessed 22 November 2018). (In Russ.)

- [16] Makarova IR, Tarbayeva VM. *Klasternyy podkhod v formirovanii regional'noy sistemy upravleniya promyshlennymi otkhodami* [Cluster approach in the formation of a regional industrial waste management system]. Available from: http://www.ngtp.ru/7/26_2009.pdf (Accessed 27 October 2018).
- [17] *Zero Waste Special Event Planning Guide*. Available from: https://epa.ohio.gov/portals/29/documents/1786_zerowaste_guide_final.pdf (Accessed 11 November 2018).
- [18] *Economic instruments in solid waste management. Applying economic instruments for sustainable solid waste management in low and middle-income countries*. Available from: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2015-en-waste-management-economic-instruments.pdf> (Accessed 11 November 2018).

Article history:

Received: 18.06.2019

Revised: 26.06.2019

For citation:

Dregulo AM, Pitulko VM. Cluster formation of ash and slag waters for production of building materials as a measure of environmental damage. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2019;27(2): 91–104. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2019-27-2-91-104>

Bio notes:

Andrey M. Dregulo – PhD in Biology, Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg State University; senior researcher, Laboratory of Geoecological Problems of Natural and Economic Systems and Urban Territories, Saint Petersburg Research Center of Ecological Security (Russian Academy of Science); National Research University “Higher school of Economics”. ORCID iD: 0000-0003-4696-3147. *Contact information:* e-mail: a.dregulo@spbu.ru; adregulo@bk.ru

Viktor M. Pitulko – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, chief researcher, Deputy Director for Research, Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences. *Contact information:* e-mail: pitulko@rambler.ru