

УДК 504.064.47

DOI: 10.18384/2712-7621-2020-3-154-169

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРОБ ИЗ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ПРИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Каплина С. П.¹, Каманина И. З.¹, Густова М. В.²

¹ Государственный университет «Дубна»

141980, Московская обл., Дубна, ул. Университетская, д. 19, Российская Федерация

² Объединённый институт ядерных исследований

141980 Московская область, Дубна, ул. Жолио Кюри, д. 6, Российская Федерация

Аннотация.

Цель. Изучить элементный состав проб из системы газоочистки автотермической установки для обезвреживания медицинских отходов и определить их класса опасности.

Процедура и методы исследования. Ключевым исследовательским методом стал анализ образцов зол-уноса с элементов системы газоочистки (системы барботажа, «мокрого скруббера», крыльчатки дымососа) автотермической установки для обезвреживания медицинских отходов, выполненный рентгенофлуоресцентным методом. Образцы были проанализированы на содержание 30 элементов, в том числе токсичных (Pb, Cd, As). На основе результатов химического анализа образцов с элементов системы газоочистки был рассчитан класс опасности отходов.

Результаты исследования. Проведённый анализ показал, что в составе золы с элементов системы барботажа отмечаются: Cl, Fe, Ca, K, Ti, Zn, Cr, Mn, Pb, Ni, Sn, Sb. Максимальное содержание металлов (Fe, Ti, Zn, Mn, Pb, Ni, Cu, Mo) абсорбируется системой очистки скруббера. В золе, отобранной с элементов крыльчатки дымососа, отмечается высокое содержание галогенов (Cl, Br, I) и As. Присутствие Cr, Zn, Ni, Pb, Cu в составе золы, отобранной с элементов крыльчатки дымососа, свидетельствует о неполной очистке отходящих газов от тяжёлых металлов. Отходы системы газоочистки автотермической установки для обезвреживания медицинских отходов соответствуют II классу опасности (высокоопасные).

Теоретическая/практическая значимость. Обобщён материал по исследуемой теме. Присутствие Cr, Zn, Ni, Cu, Pb в составе золы, отобранной с элементов крыльчатки дымососа, свидетельствует о неполной очистке отходящих газов от тяжёлых металлов, высокое содержание галогенов (Cl, Br, I) и As указывает на возможность загрязнения окружающей среды и риск для здоровья человека. Отходы системы газоочистки автотермической установки для обезвреживания медицинских отходов соответствуют II классу опасности (высокоопасные) и должны передаваться специализированной организации для обезвреживания или утилизации методом, безопасным для окружающей среды и здоровья человека.

Ключевые слова: медицинские отходы, обезвреживание, термический метод, система газоочистки, элементный состав, рентгенофлуоресцентный анализ

STUDY OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SAMPLES FROM THE GAS CLEANING SYSTEM UPON MEDICAL WASTE DISPOSAL BY THERMAL METHOD

S. Kaplina^{1,2}, I. Kamanina^{1,2}, M. Gustova²

¹ *Dubna State University*

19, Universitetskaya ul. 19, 141980 Dubna, Moscow Region, Russian Federation

² *Joint Institute for Nuclear Research,*

ul. Zholio-Kyuri 6, 141980 Dubna, Moscow Region, Russian Federation

Abstract.

Aim. We study the elemental composition of samples from the gas cleaning system of an autothermal plant for the disposal of medical waste and determine their hazard class.

Methodology. Fly ash samples from the elements of the gas cleaning system (air sparging system, “wet scrubber”, impeller of smoke exhaust) of an autothermal unit disposing medical waste were analyzed by an X-ray fluorescence method. The content of 30 elements, including toxic ones (Pb, Cd, As) was measured in samples. Based on the results of chemical analysis of samples from the elements of the gas cleaning system, the hazard class of the waste was calculated.

Results. The analysis showed that ash from the elements of the air sparging system contains such elements as Cl, Fe, Ca, K, Ti, Zn, Cr, Mn, Pb, Ni, Sn, and Sb. The maximum metal content (Fe, Ti, Zn, Mn, Pb, Ni, Cu, and Mo) is absorbed by the scrubber cleaning system. The ash sampled from the elements of the impeller contains a high content of halogens (Cl, Br, I) and As. The presence of Cr, Zn, Ni, Pb, and Cu in the ash sampled from the elements of the impeller indicates incomplete cleaning of exhaust gases from heavy metals. The waste from the gas cleaning system of the autothermal plant for the disposal of medical waste corresponds to hazard class II (highly hazardous).

Research implications. The presence of Cr, Zn, Ni, Cu, and Pb in the composition of ash taken from the elements of the impeller indicates incomplete cleaning of exhaust gases from heavy metals, a high content of halogens (Cl, Br, and I) and As indicates the possibility of environmental pollution and the risk for human health. The waste from the gas cleaning system of an autothermal plant for the disposal of medical waste corresponds to hazard class II (highly hazardous) and must be transferred to a specialized organization for neutralization or disposal in a manner that is safe for the environment and human health.

Keywords: medical waste, thermal method, gas cleaning system, elemental composition, X-ray fluorescence method

Введение

В последнее время в России большое внимание уделяется проблеме обращения с отходами. Ежегодно в стране образуется порядка 3,5 млн т медицинских отходов [10]. Медицинские отходы представляют серьёзную опасность в эпидемиологическом и экологическом

отношениях, так как содержат в своём составе разнообразные болезнетворные микроорганизмы и вирусы, а также различные токсические вещества. Неправильное обращение с медицинскими отходами может привести не только к распространению внутрибольничных инфекций, но и выносу

инфекции за пределы лечебно-профилактических учреждений, к угрозе распространения патогенных микроорганизмов, заражению граждан (особенно детей) вирусами гепатита В и С, другими вирусными инфекциями, а также загрязнению окружающей среды¹. Недопустимо попадание медицинских отходов, несущих эпидемиологическую опасность, в общий поток твёрдых коммунальных отходов (ТКО).

Проблема обращения с отходами лечебно-профилактических учреждений в Российской Федерации в современных условиях рассматривается как важная гигиеническая, эпидемиологическая и экологическая компонента безопасности населения страны [1; 5]. В настоящее время основным нормативным документом в области обращения с медицинскими отходами является СанПиН 2.1.7.2790-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами»². Медицинские отходы, в зависимости от степени их эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности, а также негативного воздействия на среду обитания, подразделяются на пять классов опасности: класс А – эпидемиологически безопасные отходы, приближенные по составу к ТКО, класс Б – эпидемиологически опасные отходы, класс В – чрезвычай-

но эпидемиологически опасные отходы, класс Г – токсикологически опасные отходы 1–4 классов опасности, класс Д – радиоактивные отходы.

По данным Ропотребнадзора за 2016 г. всего количество накопленных медицинских отходов в Московской области составило 47548 т, в 2015 г. – более 45000 т. По сравнению с 2015 г. уменьшилось количество чрезвычайных эпидемиологически опасных отходов класса Б с 240 т в год до 216 т в год. Отмечено, что ежегодно учреждениями здравоохранения затрачивается более 73 млн руб. на утилизацию медицинских отходов класса Б, более 43 млн руб. – на медицинские отходы класса В, а также более 4 млн руб. – на медицинские отходы класса Г³.

В настоящее время нет универсальных методов обезвреживания и утилизации медицинских отходов [6, 12, 14]. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) рекомендовано во всех государствах создавать специализированные службы по утилизации медицинских отходов с учётом национальных особенностей системы здравоохранения и экономики. Одним из методов утилизации твёрдых отходов является их сжигание [15]. Долгие годы считалось, что термические технологии, широко используемые в индустриально развитых странах для уничтожения твёрдых коммунальных отходов, а также установки для уничтожения токсичных отходов – наи-

¹ Акимкин В. Г., Зудинова Е. А. Организационные, эпидемиологические и методические аспекты проблемы обращения с медицинскими отходами в Российской Федерации [Электронный источник]. URL: <https://docplayer.ru/28309081-V-g-akimkin-e-a-zudinova.html> (дата обращения 11.06.2020).

² СанПиН 2.1.7.2790-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами». М.: Минздрав России, 2010. 21 с.

³ Московская областная дума. Пресс-центр. Рабочая группа по законодательному регулированию сферы обращения с медицинскими отходами будет создана в Мособлдуме [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mosoblduma.ru/Press-centr/news/76362#tab-text> (дата обращения 15.01.2020).

более эффективный способ их обезвреживания [3; 7; 9]. Метод не требует особой сортировки по типам полимеров или жидких отходов, однако при сжигании медицинских отходов образуются больше токсичные газообразные продукты, чем при сжигании твёрдых бытовых отходов [11; 13; 17] и высокотоксичная зола, требующая дополнительной обработки [18; 16].

Целью настоящего исследования является изучение элементного состава проб из системы газоочистки автотермической установки для обезвреживания медицинских отходов, поступающих на предприятие ООО «СИС – НАТУРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ», и определение их класса опасности.

Объект исследования

Предприятие Обособленное подразделение ООО «СИС-НАТУРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ» расположено по адресу: Московская область, Дубна, Коммунальный переулок, д. 21, ведёт работу с 01 декабря 2011 г. и осуществляет централизованный сбор и транспортировку, обезвреживание отходов I–IV класса опасности в том числе: медицинских, биологических, химических, фармацевтических отходов. Унифицированный завод по обезвреживанию медико-биологических и отходов ветеринарии с использованием высокотемпературных термических методов является уникальной отечественной разработкой, экологически чистой и не имеющей аналогов в мировой практике¹. Максимальная производительность по переработке медико-биологических

и отходов ветеринарии – 60000 т в год. Предприятие относится к 2 классу опасности. Санитарно-защитная зона предприятия составляет 500 метров.

При обезвреживании отходов используется метод термического пиролиза с помощью автотермических установок «ИМА2006». На установках предусмотрена многоступенчатая система газоочистки. Степень очистки составляет от 50 до 98% в зависимости от вещества² и полностью соответствует российским и зарубежным стандартам. Система газоочистки представляет группу последовательных устройств: барботажная система, «мокрый» скруббер, дымосос.

Отбор проб был произведён в 2016 г. из системы газоочистки установки «ИМА2006». Проба № 1 была взята из осадка системы барботажа, проба № 2 – из «мокрого» скруббера и проба № 3 – с крыльчатки дымососа. Местоположение отбора проб с системы газоочистки установки показано на рис. 1. Каждая проба представляла собой образец массой 500–700 г. По данным предприятия, масса отходов, обезвреженных на установке за период эксплуатации системы газоочистки до момента взятия проб составляет 70 тонн.

Методы исследования

Для проведения анализа образцы были высушены до воздушно-сухого состояния при температуре 105 °С, измельчены, гомогенизированы и под-

¹ Обособленное подразделение ОАО «СИС-НАТУРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ» [Электронный ресурс]. URL: <http://dubna.medwaste.ru> (дата обращения 15.01.2020).

² Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 50.03.03.000. Т. 000750.06.10 от 21.06.2010. URL: <http://dubna.medwaste.ru/documents/licenses> (дата обращения 05.01.2020).

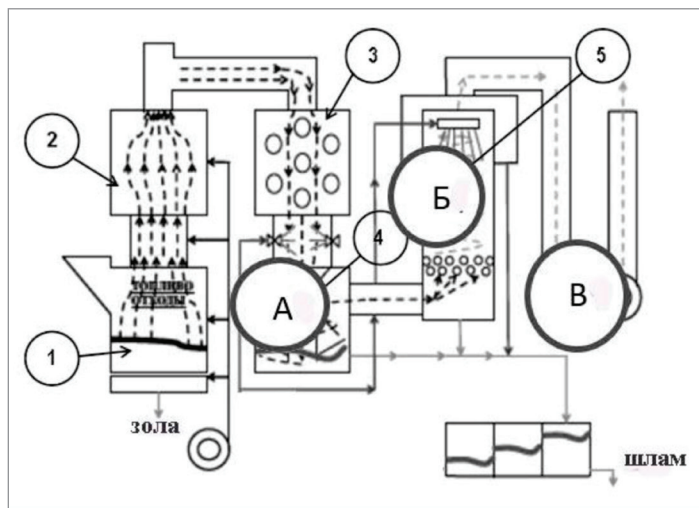


Рис. 1. /Fig. 1. Принципиальная схема работы установки и точки отбора проб.

Условные обозначения: 1 – камера сгорания; 2 – камера «дожигания»; 3 – теплообменник; 4 – система барботажа; 5 – скруббер. А – точка пробоотбора № 1; Б – точка пробоотбора № 2; В – точка пробоотбора № 3 / Schematic of the operation of the plant for the disposal of medical waste and sampling points. 1 – combustion chamber; 2 – “afterburning” chamber; 3 – heat exchanger; 4 – air sparging system; 5 – scrubber. А = sampling point No. 1; Б = sampling point No. 2; В = sampling point No. 3

Источник: данные авторов

готовлены для дальнейшего анализа согласно методике¹. Усреднённый образец массой 10 г. был растёрт в агатовой ступке до состояния пудры. Далее образец помещался в кювету с тонким (5 мкм) лавсановым дном, масса аналитической пробы составляла порядка 2 г. Многоэлементный анализ образцов проводился рентгенофлуоресцентным методом (РФА) в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флёрова Объединённого института ядерных исследований (ЛЯР ОИЯИ, Дубна). Данный метод основан на взаимодействии первичного рент-

геновского излучения, испускаемого источником с анализируемым веществом, и регистрации вторичного излучения. Анализ образцов проводился на энергодисперсионном спектрометре фирмы Canberra с использованием для возбуждения рентгеновского излучения стандартных радиоизотопных источников ^{109}Cd ($E=22,16$ кэВ, $T_{1/2}=453$ дня) и ^{241}Am ($E=59,6$ кэВ, $T_{1/2}=458$ лет). Радиоизотопный источник возбуждения ^{109}Cd позволяет определить содержание в образце элементов с атомными номерами с 17 (Cl) по 42 (Mo) по K-серии и атомными номерами с 50 (Sn) по 92 (U) по L-серии основных характеристических линий; источник возбуждения ^{241}Am применяется для определения элементов по K-серии основных характеристических линий с атомными номерами с 44

¹ Стандарт предприятия. Многокомпонентный инструментальный рентгенофлуоресцентный анализ почв и других объектов окружающей среды на токсичные и сопутствующие элементы. СТП 104-2002, ОИЯИ 6-8092. Дубна, 2002, 16 с.

(Ru) по 63 (Eu) с более низким пределом обнаружения. Пределы обнаружения элементов составляют от 1 (мг/кг) до 1% в зависимости от интенсивности возбуждения конкретного элемента первичным рентгеновским излучением источника. Характеристическое рентгеновское излучение регистрировали полупроводниковым Si(Li) детектором с разрешением 145 эВ на линии K_{α} Fe (6,4 кэВ). Время измерения составляло 15 мин¹. Обработку спектров проводили с использованием программного обеспечения для РФА WinAxil Canberra. Для определения концентрации элементов в образце использовался метод сравнения со стандартными образцами (CGL208, ГСО 7870-2000, Soil-5, СГ-1А) и методика одновременного определения элементов, возбуждаемых радиоизотопным источником, по единой калибровочной кривой (зависимость значения выхода характеристического излучения от атомного номера элемента), построенной на основании трёхкратных измерений стандартных образцов. Образцы были проанализированы на содержание 30 элементов, в том числе токсичных (Pb, Cd, As).

Результаты исследования и обсуждения

Предприятие собирает и обезвреживает отходы у более чем 120 лечебно-профилактических учреждений и других заведений по всей Московской области (например, Дубна, Клин,

Солнечногорск, Сергиев Посад, Дмитров и др.). В 2016 г. на предприятии всего было обезврежено порядка 121 т отходов, из них на медицинские отходы приходится 77,7%, биологические – 16,1%, фармацевтические – 3,1%, химические отходы – 3%. Примерный состав отходов, поступающих на предприятие, представлен в табл. 1.

На установке «ИМА2006» используется многоступенчатая система газоочистки. Исходящие горячие газы из камеры дожигания печи через футерованный газоход поступают сверху в металлическую колонну, включающую теплообменник, систему испарительного охлаждения и барботажа. Теплообменник – это металлический цилиндр с поперечно проходящими через него трубами для воздуха, который подаётся для наддува в двухконтурную печь. Нагретый воздух в трубах теплообменника повышает КПД печи. Система испарительного охлаждения выполняет резкое охлаждение исходящих из печи газов и является важным элементом, обеспечивающим экологическую безопасность работы установки. В испарительной колонне газы охлаждаются и абсорбируются диспергированным раствором кальцинированной соды, впрыскиваемым форсункой в верхней её части. В результате взаимодействия разогретых исходящих газов и раствора температура газов за 0,6 сек снижается с 1250 °С до 250–280 °С, что предотвращает рекомбинацию в газовом потоке диоксинов и фуранов. В работе комплекса предусмотрен замкнутый цикл использования воды. При охлаждении исходящих газов 80% используемой воды испаряется и выбрасывается в атмосферу в виде пара.

¹ Стандарт предприятия. Многокомпонентный инструментальный рентгенофлуоресцентный анализ почв и других объектов окружающей среды на токсичные и сопутствующие элементы. СТП 104-2002, ОИЯИ 6-8092. Дубна, 2002, 16 с.

Таблица 1 / Table 1

Примерный компонентный состав отходов, поступающих для обезвреживания (данные предприятия) / Approximate component composition of the waste for disposal (company data)

Наименование компонента	Содержание, %
<i>Отработанный перевязочный материал после обеззараживания</i>	
Целлюлоза	90,18
Хлористые соли	0,04
Сернокислые соли	0,02
Кальциевые соли	0,06
Жирообразные вещества	0,5
Вода	9,2
<i>Шприцы одноразовые после дезинфекции</i>	
Пластмасса	100
<i>Обеззараженные медицинские инструменты и предметы из нержавеющей стали</i>	
Железо (Fe)	77,59
Углерод (C)	0,01
Хром (Cr)	12,9
Никель (Ni)	8,4
Титан (Ti)	1,1
<i>Отходы ЛПУ</i>	
Целлюлоза	57
Полиэтилен	8,9
Поливинилхлорид	2,2
Текстиль	9,8
Стеклобой	9,5
Латекс	7,8
Алюминий	4,4
Кремний диоксид	0,4
<i>Человеческие анатомические отходы</i>	
Вода	15,95
Органические вещества	16,71
Известь	40,86
Фосфор	19,74
Углерод	4,49
Магний	1,22
Натрий	0,44
Калий	0,117
Хлор	0,086
Сера	0,313
Медь	0,001
Кремний	0,01
Железо	0,022
Цинк	0,016
Фтор	0,019

Источник: данные авторов

Оставшиеся 20% (конденсат) используемого водяного раствора поступает обратно в ёмкость для приготовления раствора и повторно используется в работе. Образовавшийся при охлаждении пар вместе с газами (продуктами горения) поступает в систему барботажа.

Система барботажа конструктивно оформлена в виде металлического цилиндра, заполненного раствором кальцинированной соды, в который опущена труба из системы испарительного охлаждения. При больших скоростях исходящего газа раствор кальцинированной соды превращается в устойчивую пену. Пена имеет большую поверхность контакта газа с жидкостью, и обе фазы находятся в состоянии высокой турбулентности и дают большой эффект для улавливания из газов частиц сажи и химических примесей. Для определения температуры в системе испарительного охлаждения установлен термопреобразователь. В системе барботажа необходимо постоянно поддерживать оптимальный процесс пенообразования, высота слоя пены на дне должна составлять 80–100 мм.

«Мокрый» скруббер в форме колонны предназначен для «промывки» отходящих газов жидкостью с целью их очистки и извлечения нежелательных газовых компонентов, т.е. для абсорбции. Газ поступает на очистку по газоходу в нижнюю часть скруббера и, проходя через перегородку с кольцами Рашига, поднимается по внутренней цилиндрической полости металлического корпуса вверх. В верхней части скруббера расположен коллектор орошения, раствор кальцинированной соды подаётся под давлением, распыляется. Образующиеся капли раствора кальцинированной соды падают под действием силы тяжести навстречу

загрязнённому газу. Улавливание оставшихся частиц сажи каплями раствора кальцинированной соды происходит под действием инерционного механизма и турбулентной диффузии.

Система выброса дымовых газов предназначена для создания тяги (разряжения) в печи и выброса очищенных дымовых газов из трубы в атмосферу, на высоту не менее 8 м. Установка состоит из радиального вентилятора и металлической дымовой трубы с внутренним диаметром 400 мм и высотой до верхнего среза 21 м. Температура эксплуатации вентилятора в системе выброса дымовых газов не более 80 °С.

Исследования показывают [8], что при высокотемпературном обезвреживании отходов в дымовых газах обнаруживаются высокие концентрации диоксинов и тяжёлых металлов с низкой температурой кипения (Pb, Zn, Cd). Пылеунос с дымовыми газами содержит Pb, Zn, As, минеральные соли (NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄, Na₂CO₃), Mn, Cu, Ni, по разным данным, содержатся как в расплаве, так и в пылеуносе. Авторы отмечают, что золоостатки от мусоросжигательных заводов относятся к отходам I класса опасности и должны обезвреживаться.

Результаты определения элементного состава проб, отобранных из системы газоочистки установки, предназначенной для обезвреживания отходов термическим методом представлены в табл. 2.

На рис. 2 и 3 представлен рентгеновский спектр пробы № 2.

В составе пробы №1 отмечается высокое содержание Cl (14,5%), Fe (8,08%), Ca (5,5%), K (1,5%), кроме того, содержится Ti на уровне 0,50%, Zn – 0,24%, Cr – 0,12%, Mn – 0,114%, Ni – 0,028%, Sn – 0,019%, Sb – 0,011%.

Таблица 2 / Table 2

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов из системы газоочистки установки «ИМА2006» / Results of X-ray fluorescence analysis of samples of the gas cleaning system of the IMA2006 plant

Элемент	Содержание элемента, %		
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
Cl	14,5±0,9	8,5±1,3	14,4±0,9
K	1,5±0,2	2,8±0,3	1,0±0,2
Ca	5,5±0,2	12,9±0,4	0,7±0,2
Ti	0,50±0,05	1,28±0,07	0,23±0,04
Cr	0,12±0,02	0,16±0,02	0,15±0,02
Mn	0,114±0,014	0,23±0,02	0,131±0,011
Fe	8,08±0,06	33,2±0,1	1,48±0,04
Ni	0,028±0,004	0,050±0,006	0,031±0,003
Cu	≤0,003	0,041±0,005	0,012±0,003
Zn	0,238±0,005	0,584±0,008	0,126±0,004
As	≤0,0008	≤0,0008	0,0033±0,0008
Se	≤0,0005	≤0,0005	≤0,0005
Br	0,0067±0,0006	0,0131±0,0009	0,0224±0,0005
Rb	0,0031±0,0003	0,0051±0,0003	0,0017±0,0003
Sr	0,0040±0,0003	0,0081±0,0003	≤0,0002
Y	≤0,0002	≤0,0003	≤0,0002
Zr	0,0021±0,0002	0,0036±0,0002	0,0010±0,0003
Nb	0,0015±0,0001	0,0024±0,0001	0,0009±0,0001
Mo	0,0015±0,0001	0,0023±0,0002	0,0010±0,0001
Ag	≤0,0002	≤0,0002	≤0,0002
Cd	≤0,0001	≤0,0002	≤0,0001
Sn	0,0194±0,0003	0,0203±0,0003	0,0035±0,0002
Sb	0,0116±0,0003	0,0116±0,0002	0,0011±0,0001
I	≤0,0001	≤0,0001	0,0022±0,0001
Cs	≤0,0001	≤0,0002	≤0,0001
Ba	0,0026±0,0002	0,0271±0,0003	0,0025±0,0002
La	≤0,0003	≤0,0001	≤0,0002
Ce	≤0,0003	0,0012±0,0003	≤0,0003
Nd	≤0,0005	≤0,0005	≤0,0005
Pb	0,0031±0,0010	0,0054±0,0010	0,0021±0,0010

Источник: данные авторов

Максимальное содержание токсичных элементов выявлено в пробе №2. В результате абсорбции в скруббере происходит улавливание из отходящих газов, образуя следующий ряд (в порядке убывания): Fe > K > Ti > Cr > Zn > Mn > Cr > Pb > Ni > Cu > Ba > Sn > Br > Sb > Sr > Pb > Rb > Zr > Nb > Mo > Ce (табл. 1).

Несмотря на то, что в основном осаждение токсичных элементов из отходящих газов происходит в скруббере, в пробе № 3, отобранной с крыльчатки дымососа, отмечается содержание тяжёлых металлов на уровне: Cr – 0,15%, Zn – 0,126%, Ni – 0,031%, Cu – 0,012%, Pb – 0,0054%. Также в данной пробе со-

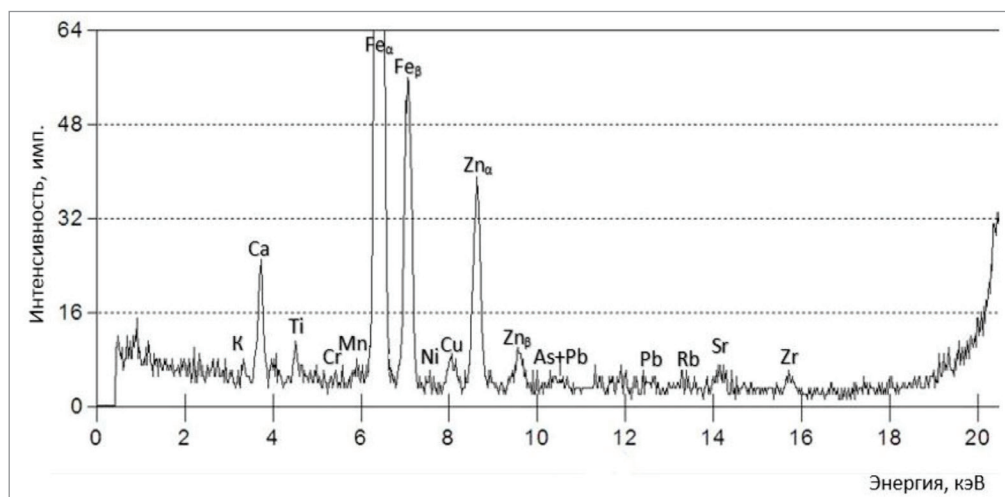


Рис. 2. / Fig. 2. Рентгеновский спектр пробы № 2, источник возбуждения ^{109}Cd , $t_{\text{изм.}} = 900$ с. / X-ray spectrum of sample No. 2, the excitation source is ^{109}Cd , and the measurement time is 900 s

Источник: данные авторов

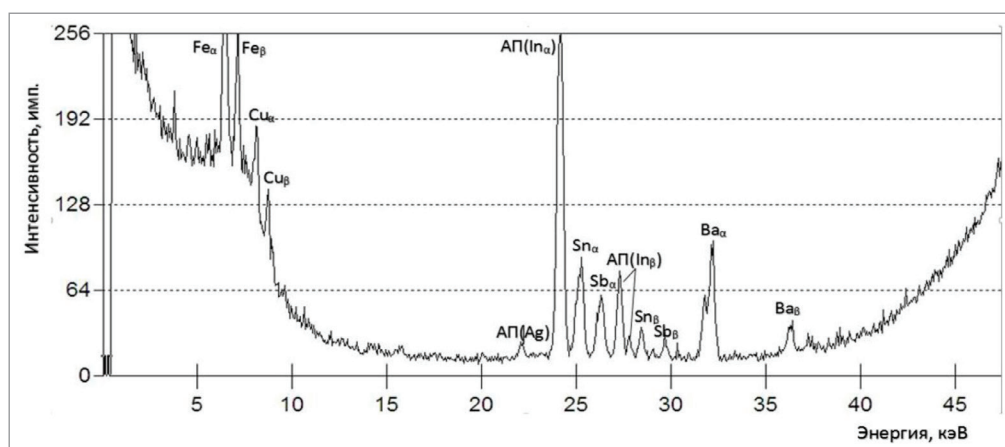


Рис. 3. / Fig. 3. Рентгеновский спектр пробы № 2, источник возбуждения ^{241}Am , $t_{\text{изм.}} = 900$ с. / X-ray spectrum of sample No. 2, the excitation source is ^{241}Am , and the measurement time is 900 s

Примечание: АП – аппаратный пик

Источник: данные авторов

держатся в больших количествах галогены: Cl – 14,4%, Br – 0,0224%, I – 0,0022%.

Авторы [2; 4] отмечают, что присутствие в составе медицинских отходов хлорорганических соединений при сжигании может приводить к образованию крайне токсичных диоксинов и фуранов.

Образование хлор- и броморганических соединений, возможно как в зоне непосредственного сжигания отходов, так и в зонах охлаждения отходящих газов.

Особое внимание обращает на себя As, который обнаруживается в пробе № 3 в высокой концентрации 33 мг/кг,

Таблица 3 / Table 3

Классификация опасности отходов для здоровья человека и среды обитания человека / Classification of hazardous waste for human health and human environment

Класс опасности отхода	Степень опасности отхода (K)
I (чрезвычайно опасные)	$10^6 \geq K > 10^4$
II (высоко опасные)	$10^4 \geq K > 10^3$
III (умеренно опасные)	$10^3 \geq K > 10^2$
IV (мало опасные)	$10^2 \geq K > 10$

в том время как его содержание в пробах №№ 1 и 2 < 8 мг/кг. Что свидетельствует о неэффективности системы газоочистки установки «ИМА2006» в отношении данного токсиканта.

Обнаружение в составе пробы № 3 тяжёлых металлов, галогенов и мышьяка указывает на возможность загрязнения окружающей среды и риск для здоровья человека.

В процессе эксплуатации системы газоочистки периодически проводится технологическая очистка отдельных элементов системы. Уловленная зола становится отходами, которые требуют последующей утилизации или обезвреживания безопасного для окружающей среды и здоровья человека. В связи с этим актуальным является определение их класса опасности. На основе результатов химического анализа образцов с элементов системы газоочистки был выполнен расчёт класса опасности токсичных отходов СП 2.17.1386-03¹. Расчёт носит предварительный характер, так как не в полной мере удалось выполнить требования СП 2.17.1386-03, в частности, масса объединённой пробы составляла менее 1 кг.

¹ СП 2.1.7.1386-03 «Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления». М.: Минздрав России, 2003. 19 с.

Расчёт класса токсичности отхода производится по формулам: $K_i = C_i / W_i$ и $Lg W_i = 1.2(X_i - 1)$, где X_i – усреднённый параметр опасности i-го компонента отхода, C_i – концентрация i-го компонента отхода (мг/кг), W_i – коэффициент степени опасности i-го компонента.

Определение класса опасности токсичных отходов осуществляется в соответствии с классификацией опасности отходов для здоровья человека и среды обитания человека, представленной в табл. 3.

При расчёте величины X_i учитывается информационный показатель I, который зависит от числа используемых показателей опасности n и имеет следующие значения (в баллах): I = 4 при n – 12 – 11; I = 3 при n – 10 – 9; I = 2 при n – 8 – 7; I = 1 при n ≤ 6.

Компоненты отходов, состоящие из таких химических элементов, как кремний, титан, натрий, калий, кальций, углерод, фосфор, сера, в концентрациях, не превышающих их содержание в основных типах почв, относятся к практически не опасным компонентам с усреднённым параметром токсичности компонента $X_i = 4$.

При наличии в составе отходов веществ, продуктов с доказанной для человека канцерогенностью, данному компоненту отхода присваивается значение $W_i = 1$, остальные показате-

Таблица 4 / Table 4

Результаты расчёта класса опасности отходов (зола уноса) из системы газоочистки установки «ИМА2006» / Calculation results of the hazard class (fly ash) of wastes from the gas cleaning system of the IMA2006 plant

Элемент	K _i (проба 1)	K _i (проба 2)	K _i (проба 3)
Cl	5257,81	3075,53	5214,23
K	3,74	6,91	2,54
Ca	13,92	31,85	1,81
Ti	1,26	3,21	0,57
Cr	1230,00	1590,00	1490,00
Mn	9,05	18,51	10,41
Fe	80,75	332,00	14,76
Ni	279,00	499,00	309,00
Cu	1,05	15,03	4,47
Zn	49,73	121,96	26,22
As	8,00	8,00	33,00
Se	0,04	0,04	0,04
Br	0,88	1,73	2,95
Rb	0,01	0,01	0,00
Sr	40,00	81,00	2,00
Y	0,00	0,00	0,00
Zr	0,08	0,14	0,04
Nb	0,06	0,10	0,04
Mo	0,09	0,14	0,06
Ag	0,07	0,07	0,07
Cd	1,00	2,00	1,00
Sn	0,05	0,05	0,00
Sb	7,32	7,32	2,21
I	0,02	0,02	0,35
Cs	0,00	0,00	0,00
Ba	0,32	3,26	0,30
La	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00
Nd	0,00	0,00	0,00
Pb	3,08	5,37	2,09
Всего	6987,33	5803,25	7118,16
Класс опасности	II	II	II

тели опасности не учитываются, т.е. $K_i = C_i/1 = C_i$. В нашем случае таких элементов 5 (Cr, Ni, As, Sr, Cd).

Результаты расчёта класса опасности отходов (зола уноса) из системы газоочистки представлены в табл. 4.

Расчёт класса опасности токсичных отходов системы газоочистки, проведённый с некоторыми допущениями, показал, что отходы соответствуют II классу опасности (высокоопасные) и должны передаваться специализированной организации для обезвреживания или утилизации методом, безопасным для окружающей среды.

Заключение

В результате обезвреживания медицинских отходов высокотемпературным термическим методом на установке «ИМА2006V» образуется зола уноса, улавливаемая системой газоочистки. В составе золы с элементов системы барбатажа отмечаются: Cl, Fe, Ca, K, Ti, Zn, Cr, Mn, Pb, Ni, Sn, Sb. Максимальное

количество тяжёлых металлов (Fe, Zn, Mn, Pb, Ni, Cu, Mo) абсорбируется системой очистки скруббера. Вместе с тем присутствие Cr, Zn, Ni, Cu, Pb в составе золы, отобранной с элементов крыльчатки дымососа, свидетельствует о неполной очистке отходящих газов от тяжёлых металлов, при этом отмечается высокое содержание галогенов (Cl, Br, I) и As. Обнаружение в составе золы, собранной с элементов крыльчатки дымососа, тяжёлых металлов, галогенов и мышьяка, указывает на возможность загрязнения окружающей среды и риск для здоровья человека.

Предварительный расчёт класса опасности токсичных отходов системы газоочистки, образующихся при технологической очистке оборудования, показал, что отходы соответствуют II классу опасности (высокоопасные) и должны передаваться специализированной организации для обезвреживания или утилизации методом безопасным для окружающей среды.

Статья поступила в редакцию 29.05.2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимкин В. Г., Бормашов А. В. Эпидемиологическая значимость и перспективы решения проблемы обращения с медицинскими отходами в РФ // Поликлиника. 2015. № 5. С. 34–39.
2. Вайсман Я. И., Кетов А. А., Коротаев В. Н., Красновских М. П. Об экологической опасности сжигания органических отходов в присутствии соединений хлора // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 9. С. 14–17.
3. Ершов А. Г., Шубников В. Л. Медицинские и биологические отходы: проблемы и пути решения // Твёрдые бытовые отходы. 2011. №2 (56). С.16–19.
4. Зройчиков Н. А., Фадеев С. А., Двоскин Г. И., Дудкина Л. М., Корнильева В. Ф., Тарасов Г. А. Предварительная дегазация хлорсодержащих медицинских отходов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 9. С. 4–9.
5. Игнатьева Л. П., Потапова М. О., Корытченкова Н. В., Саксонов М. Н., Балаян А. Э. Гигиеническая и эпидемиологическая оценка утилизации медицинских отходов // Сибирский медицинский журнал. 2009. Т. 91. № 8. С. 114–116.
6. Коротаев В. Н., Григорьева М. В. Методы обезвреживания медицинских отходов // Научные исследования и инновации. 2010. Т. 4. № 4. С. 78–81.

7. Мельников А. В. Чехия: опыт ликвидации медицинских отходов // Твёрдые бытовые отходы. 2008. № 3 (21). С. 43–45.
8. Островский Н. В. Мусоросжигание – как объект оценки воздействия на окружающую среду и экологической экспертизы // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 8. С. 44–49.
9. Рахманин Ю. А., Русаков Н. В. Медицинские отходы: приоритетные исследования // Твёрдые бытовые отходы. 2006. № 12. С. 4–6.
10. Русаков Н. В., Щербо А. П., Мироненко О. В. Обращение с медицинскими отходами. Идеология, гигиена и экология // Экология человека. 2018. № 7. С. 4–10.
11. Фоменко А. И., Соколов Л. И. Зола мусоросжигательных заводов как техногенный сырьевой ресурс для извлечения редкоземельных элементов // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 12. С. 28–31.
12. Щербо А. П., Мироненко О. В. Проблемы обращения с медицинскими отходами // Биосфера. 2013. т. 5. № 4. С. 419–425.
13. Chen T., Zhan M. X., Yan M. et al. Dioxins from medical waste incineration: Normal operation and transient conditions // Waste Management and Research. 2015. 33(7). pp. 644–651. DOI: 10.1177/0734242X15593639
14. Fang Liu, Han-Qiao Liu, Guo-Xia Wei, Rui Zhang, Tong-Tong Zeng, Gui-Sheng Liu and Jian-Hua Zhou. Characteristics and Treatment Methods of Medical Waste Incinerator Fly Ash: A Review // Processes 2108. 6. 173. DOI:10.3390/pr6100173
15. Marinković N., Vitale K., Janev Holcer N., Dzakula A., Pavić T. Management of hazardous medical waste in Croatia // Waste Management. 2008. 28(6). pp. 1049–1056. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.01.021
16. Patel K. M., Devatha C. P. Investigation on leaching behaviour of toxic metals from biomedical ash and its controlling mechanism. // Environmental Science and Pollution Research. 2019. 26(6). pp. 6191–6198. DOI: 10.1007/s11356-018-3953-3
17. Rocca S., van Zomeren A., Costa G., Dijkstra J. J., Comans R. N., Lombardi F. Mechanisms contributing to the thermal analysis of waste incineration bottom ash and quantification of different carbon species. // Waste Management. 2013. 33(2). pp. 373–381. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.11.004
18. Tzanakos K, Mimilidou A, Anastasiadou K, Stratakis A, Gidarakos E. Solidification/stabilization of ash from medical waste incineration into geopolymers. // Waste Management. 2014. 34(10). pp.1823–1828. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.03.021

REFERENCES

1. Akimkin V. G., Bormashov A. V. [Epidemiological significance and prospects for solving the problem of medical waste management in the Russian Federation]. In: *Poliklinika*, 2015, no. 5, pp. 34–39.
2. Vajsman Ya. I., Ketov A. A., Korotaev V. N., Krasnovskih M. P. [Environmental hazards of incineration of organic waste in the presence of chlorine compounds]. In: *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2018, Vol 22, no. 9, pp. 14–17.
3. Ershov A. G., Shubnikov V. L. [Medical and biological waste: problems and solutions]. In: *Tverdye bytovye otkhody* [Municipal Solid Waste], 2011, no. (56), pp.16–19.
4. Zrojchikov N. A., Fadeev S. A., Dvoskin G. I., Dudkina L. M., Kornil'eva V. F., Tarasov G. A. [Pre-dehalogenization of chlorine-containing medical waste]. In: *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2019, vol. 23, no.9, pp. 4–9.

5. Ignat'eva L. P., Potapova M. O., Korytchenkova N. V., Saksonov M. N., Balayan A. E. [Hygienic and epidemiological assessment of medical waste disposal]. In: *Sibirskii meditsinskii zhurnal* [Siberian Scientific Medical Journal], 2009, vol. 91, no. 114–116.
6. Korotaev V. N., Grigor'eva M. V. [Medical waste neutralization methods]. In: *Nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovations], 2010, vol. 4, no. 4, pp. 78–81.
7. Mel'nikov A. V. [Czech Republic: experience in disposal of medical waste]. In: *Tverdye bytovye otkhody* [Municipal Solid Waste], 2008, no. 3 (21), pp. 43–45.
8. Ostrovskij N. V. [Waste incineration as an object of environmental impact assessment and ecological expertise]. In: *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2015, vol. 19, no. 8, pp. 44–49.
9. Rahmanin Yu.A., Rusakov N. V. [Medical waste: priority research]. In: *Tverdye bytovye otkhody* [Municipal Solid Waste], 2006, no. 12, pp. 4–6.
10. Rusakov N. V., Shcherbo A. P., Mironenko O. V. [Medical waste management. Ideology, hygiene and ecology]. In: *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 2018, no. 7, pp. 4–10.
11. Fomenko A. I., Sokolov L. I. [Ash from incineration plants as a technogenic raw material resource for the extraction of rare earth elements]. In: *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2017, vol. 21, no. 12, pp. 28–31.
12. Shcherbo A. P., Mironenko O. V. [Medical waste management problems]. In: *Biosfera* [Biosfera], 2013, vol. 5, no. 4, pp. 419–425.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каплина Светлана Петровна – кандидат биологических наук, доцент государственного университета «Дубна»;
e-mail: sv_kap@mail.ru

Каманина Инна Здиславовна – кандидат биологических наук, доцент государственного университета «Дубна»;
e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Густова Марина Владимировна – начальник группы лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флёрова Объединённого института ядерных исследований (ЛЯР ОИЯИ),
e-mail: gust@jinr.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Svetlana P. Kaplina – Cand. Sci. (Biology), Assoc. Prof., Dubna State University;
e-mail: sv_kap@mail.ru

Inna Z. Kamanina – Cand. Sci. (Biology), Assoc. Prof., Dubna State University;
e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Marina V. Gustova – Head of the Research Group, Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Researches;
e-mail: gust@jinr.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Каплина С. П., Каманина И. З., Густова М. В. Исследование элементного состава проб из системы газоочистки при обезвреживании медицинских отходов термическим методом // Географическая среда и живые системы. 2020. № 3. С. 154–169.
DOI: 10.18384/2712-7621-2020-3-154-169

FOR CITATION

Kaplina S. P., Kamanina I. Z., Gustova M. V. Study of the elemental composition of samples from the gas cleaning system upon medical waste disposal by thermal method. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2020, no. 3, pp. 154–169.
DOI: 10.18384/2712-7621-2020-3-154-169