



# Экологические СИСТЕМЫ и ПРИБОРЫ

Ecological Systems and Devices

**2•2020**

ISSN: 2072-9952

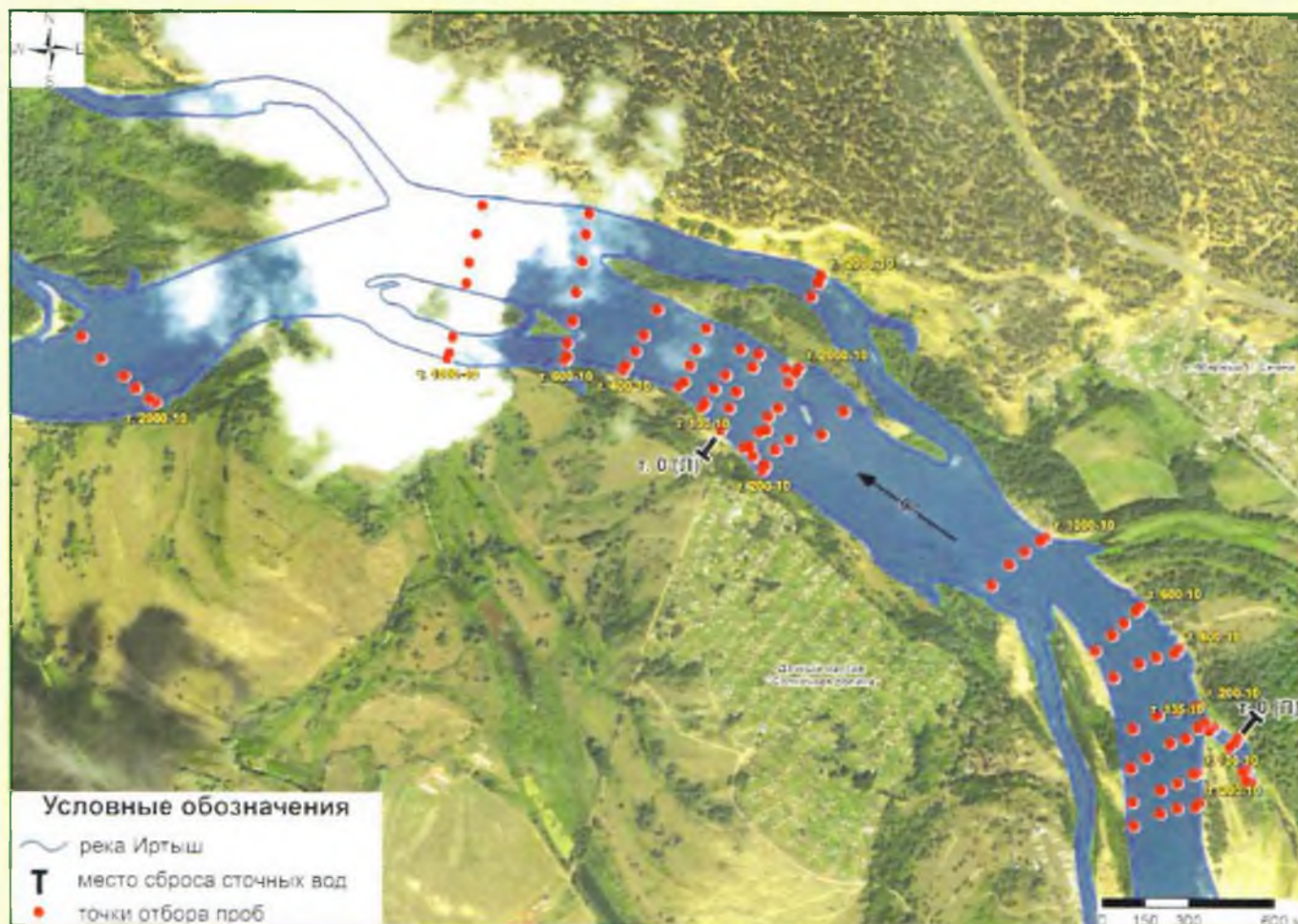


Рис. 1. Точки отбора проб воды на правом и левом берегах р. Иртыш

Иллюстративный материал к статье М.Т. Дюсембаевой, С.Н. Лукашенко, Е.З. Шакенова,  
А.Ж. Ташековой, Н.Ж. Мухамедиярова, А.Е. Темиржановой

«Исследование элементного состава вод реки Иртыш на территории Республики Казахстан,  
город Семей»

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ

№ 2  
2020  
ISSN: 2072-9952

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АНАЛИЗ И ОХРАНА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Дюсембаева М.Т., Лукашенко С.Н., Шакинов Е.З.,  
Ташекова А.Ж., Мухамедияров Н.Ж., Темиржанова А.Е.*  
Исследование элементного состава  
вод реки Иртыш на территории  
Республики Казахстан, город Семей ..... 3

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Смирнова Т.С., Челознова К.В., Галкина А.А.*  
Применение червей энхитреид в биодиагностике  
состояния городских почв ..... 15

### ОТХОДЫ И ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ

- Абдрахимов В.З.*  
Снижение экологического ущерба  
за счет использования отходов цветной  
металлургии и энергетики в производстве  
легковесных огнеупоров ..... 23
- Шубов Л.Я., Иванков С.И., Скобелев К.Д.,  
Доронкина И.Г., Загорская Д.А.*  
Систематизация технологий переработки  
и утилизации электронного  
и электротехнического лома ..... 35

### ЭКОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

- Амбросимов А.К., Ковалёв Г.А.*  
Гидрология и течения Карского моря  
в весенне-летний период 2019 г.  
(43-й рейс НИС «Академик Николай Страхов») ..... 49
- Правила публикации ..... 55

#### Учредитель и издатель:

ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ

по делам печати, телерадиовещания

и средств массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1132

Подписной индекс: ОАО «Роспечать» 79218

Подписной индекс: «Пресса России» 27866

Главный редактор д-р техн. наук, проф.

Т.Г. САМХАРАДЗЕ

Редакция:

Потапов И.И., канд. техн. наук, зам. гл. редактора,

Романов А.А., д-р техн. наук, Авербал С.М., канд. техн. наук,

Сердюк В.С., Палаева Ю.С.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Амбросимов А.К., д-р физ.-мат. наук, проф.

Буланова Т.А., доктор техн. наук, проф.

Галиев А.Л., д-р техн. наук, проф.

Галченко Ю.И., д-р техн. наук, проф.

Гуляев Ю.В., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН

Дидрих В.Е., д-р техн. наук, проф.

Зольников В.К., д-р техн. наук, проф.

Калабин Г.В., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель

науки РФ

Каперко А.Ф., д-р техн. наук, проф.

Кряжичев В.Ф., д-р физ.-мат. наук, проф., заслуженный

деятель науки РФ

Круашивили И.Г., д-р техн. наук, проф.

Михайлов Ю.Б., д-р техн. наук, проф.

Мищенко С.В., доктор техн. наук, проф.

Наттшвили О.Г., д-р техн. наук, проф., акад. НАН Грузии

Пиралишвили Ш.А., д-р техн. наук, проф.,

заслуженный деятель науки и техники РФ

Потапов И.И., канд. техн. наук

Прохоцкий Ю.М., д-р техн. наук

Романов А.А., д-р техн. наук

Рыбин В.М., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки

и техники РФ

Самхардзе Т.Г., д-р техн. наук, проф.

Скрыль С.В., д-р техн. наук, проф.

Сумин В.И., д-р техн. наук, проф.

Трубешкой К.Н., акад. РАН

Удалова Е.А., д-р техн. наук, проф.

Цивадзе А.Ю., д-р хим. наук, проф., акад. РАН

Чебышев С.Б., д-р техн. наук, проф.

Шербаков Н.С., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель

науки РФ

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

Опубликованные статьи реферированы в реферативных

журналах ВИНИТИ РАН. Журнал цитируется на платформе

Web of Science.

Публикация статей бесплатная. Права внеочередной

публикации пользуются аспиранты и докторанты.

Материалы, опубликованные в настоящем журнале, не могут

быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы

и распространены без письменного разрешения редакции.

При перепечатке отдельных частей статей ссылка обязательна.

Подписано в печать 20.01.2020

Формат 60×88 1/8. Бумага кн.-журн. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 14,3. Усл. кр.-отт. 32,1. Уч.-изд. л. 19,2. Зак. 517

Тираж 2 700 экз.

Адрес редакции:

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2

☎ Тел. 8 (499) 168-04-95.

факс 8 (499) 168-23-58. Бухгалтерия 8 (499) 168-24-28

✉ E-mail: esrp\_red@mail.ru

<http://www.tgizd.ru>

Оригинал-макет и свернутая версия подготавливаются

ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Специально в ООО Издательство «Научтехлитиздат»

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2

**Л.Я. Шубов**  
доктор техн. наук, профессор  
**С.И. Иванков**  
доктор техн. наук, профессор  
**К.Д. Скобелев**  
начальник отдела  
**И.Г. Доронкина**  
канд. техн. наук  
**Д.А. Загорская**  
инженер

(Федеральное государственное автономное  
учреждение «Научно-исследовательский институт  
«Центр экологической промышленной политики»)  
г. Мытищи, Московская обл., Российская Федерация

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ЛОМА

*Весьма актуально создание системы переработки и утилизации электронного и электротехнического лома (транзисторы, реле, проволока, радиоэлектронный лом, телевизоры и мониторы компьютеров, персональные компьютеры и калькуляторы, вакуумные трубки). Статья посвящена систематизации технологий переработки и утилизации электронного и электротехнического лома с использованием методов сепарации (электрической и магнитной сепарации, флотации, пневмоклассификации), методов пиро- и гидрометаллургии для извлечения цветных и благородных металлов.*

*Ключевые слова:* электронный и электротехнический лом; методы сепарации; плавка; гидрометаллургия.

**L. Ya. Shubov**  
Doctor of Techn. Sciences, Professor  
**S. I. Ivankov**  
Doctor of Techn. Sciences, Professor  
**K. D. Skobelev**  
Head of the Department  
**I. G. Doronkina**  
Cand. of Techn. Sciences  
**D. A. Zagorskaya**  
Engineer

(FSAB «Research Institute  
«Environmental industrial policy center»)  
Moscow region, Russian Federation, Mytischki

## THE METHODS FOR PROCESSING OF ELECTRONIC AND ELECTRIC SCRAP

*It is very important to provide a recycling method and system for electronic and electric scrap (such as transistors, relays, wiring, radioelectronic products scrap, television screens and computer monitors, personal computers and calculators, vacuum tubes). The article relates to a process for recovering metals from electronic and electric waste by means of separation methods (electrical separation, magnetic separation, flotation, air classifying), melting, hydrometallurgy of nonferrous and precious metals.*

*Keywords:* Electronic and electric scrap; separation methods; melting; hydrometallurgy.

DOI: 10.25791/esip.02.2020.1138

К электронному и электротехническому лому (скрапу) можно отнести отходы электронного и электротехнического производства и отслужившие свой срок и утратившие потребительские свойства приборы и изделия (включая измерительные приборы, инструменты мониторинга и контроля, оборудование для генерации и измерения

электрических полей, компьютерную технику, телевизоры и прочее, работа которых базируется на использовании электрических токов и электромагнитных полей [1].

Точное количество образующегося электронного и электротехнического лома неизвестно. Судя по публикациям, ежегодно в мире образуется

около 50 млн т электронного лома; наибольшее количество приходится на страны ЕС – приблизительно 25 % всех образующихся в этой сфере отходов (прирост – около 2,5 % в год).

В 2012 г. из 9,4 млн т образовавшихся в Европе отходов электронного и электротехнического лома в официальную систему сбора и утилизации попало только 35 % [2]. В Великобритании образуется 1,4 млн т/год электронного и электротехнического лома, ежегодный прирост – 8 % [3].

В ЕС в соответствии с директивой «Об отработавшем электрическом и электронном оборудовании» (WEEE – Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) ответственность за переработку и утилизацию отходов бытовой электроники возложена на производителя. Требования директивы:

- контроль токсичных соединений (свинца, ртути, шестивалентного хрома, кадмия, бромистых соединений и др.);
- отдельный сбор и утилизация ртутьсодержащих компонентов и пластика, содержащего соединения брома.

В этой связи крупные производители IT-оборудования создают сети по сбору электронного лома и объекты для его переработки и утилизации.

Принципы сбора электронного лома разные: бесплатный прием (цена изделия включает в себя оплату за его утилизацию), оплата утилизации населением, финансовая поддержка муниципалитетов.

Перенос ответственности за безопасную переработку и утилизацию электронного и электротехнического оборудования по окончании срока его службы с муниципалитетов на производителей привел к повышению потребительских цен на продукцию, продаваемую в ЕС – от 0,71 до 3,88 % (в зависимости от вида продукции). В итоге стоимость утилизации во многом стала ложиться на потребителя (через более высокие цены) [4].

В Израиле к 2021 г. должны регенерировать 50 % электронного лома (от всех продаваемых электронных изделий); за нарушение – штраф 620 евро за 1 т накопленных отходов. За сданные отходы сдающему платят [5].

В США создан Союз производителей электроники. Он объединяет многие крупные компании – Canon, EastmanKodak, IVC, Hewlett-Packard, Nokia, Panasonic, Sony, Philips Electronics, Sharp. Первоочередная задача Союза – индикация возможности утилизации современных компьютеров, периферийных устройств, мониторов и

телевизоров. В Калифорнии (США) владелец не имеет права выбрасывать электронный лом.

Серьезное внимание проблеме электронного лома уделяют в Тайване, где в лом ежегодно превращаются 300 000 персональных компьютеров (содержат опасные материалы: фосфорные покрытия катодных лучевых трубок, полихлорбифениловые конденсаторы, детали со ртутью, дисплеи на жидких кристаллах, стекло кинескопных трубок с высоким содержанием свинца, бромсодержащие составы – антивоспламенители) [6]. Ответственность за вторичное использование лома компьютеров несут производители персональных компьютеров. При этом покупатели могут сдать ненужные им компьютеры в пункты сбора и получить денежное вознаграждение. Вторично используются шесть элементов персональных компьютеров: компьютеры блокнотного типа, мониторы, дискеты, принтеры, пульта и корпуса.

По оценкам экспертов Университета ООН, ежегодно в РФ образуется ~1,2 млн т электронного и электротехнического лома с содержанием пластмасс 15...20 % (180 000...240 000 т); утилизируется – 5...8 % отходов [7]. При среднем содержании золота 0,01 % его общее количество в ломе превышает 100 т.

В РФ учет образования электронного лома не ведется. По разным оценкам в Москве ежегодно образуется порядка 40 000 т электронных отходов, при этом в переработку вовлекается всего 2...3 % [8].

Проблема электронного лома, образующегося у населения, в РФ не решается; практически все электронные отходы попадают в ТКО и вывозятся на захоронение на свалки [9]. Несколько мелких фирм занимаются разборкой и утилизацией электронного лома, но в незначительных количествах, причем степень утилизации невысока и связана в основном с утилизацией драгметаллов.

В РФ нет строгих критериев относительно классификации электронного и электротехнического лома. Один из возможных вариантов – классификация лома как вторсырья по видам образующихся отходов:

- лом электробытовой техники и приборов (электроплиты, электроприборы для приготовления пищи, электронагревательные приборы и т.п.);
- лом бытовой радиоэлектронной аппаратуры (телевизоры и комплектующие, радиоприемные устройства, аппаратура видеозаписи и воспроизведения и т.п.);
- лом бытовой вычислительной и множительной техники (вычислительные комплексы, ЭВМ,

процессоры, устройства операционные, модемы, носители информации, копировальные машины и т.п.);

- лом фото- и киноаппаратуры;
- лом телефонных аппаратов, мобильных телефонов;
- лом электромузыкальных инструментов;
- лом игрушек электронных и спортпринадлежностей;
- лом автоматов торговых и раздаточных, контрольно-кассовых аппаратов;
- лом светового оборудования;
- лом медицинских устройств.

Рассматривая электронный и электротехнический лом как источник вторичных ресурсов металлов, возможна их классификация на следующие основные группы:

- крупнотоннажный источник металлов – отработанные холодильные и моечные аппараты, кондиционеры воздуха, бытовые телевизоры;
- источники благородных металлов – отработанные персональные компьютеры, мобильные телефоны, игровые автоматы, ряд цифровых устройств;
- устройства среднего размера – средства связи, принтеры, факсы;
- аудиоустройства, видеоустройства.

С точки зрения актуальности создания эффективных систем сбора электронного лома, особое внимание уделяется разделному сбору ноутбуков, игровых устройств, средств связи и аудио/видеоустройств [10].

Электронный лом содержит смесь различных металлов – медь, алюминий, золото, серебро и многие другие; «вмещающая порода» – различные виды пластика или керамики, стекло. Благородные металлы присутствуют в этой смеси в виде покрытий различной толщины, припоев, а также в виде компонентов сплавов (драгметаллы часто используются в контактах реле, переключателях, печатных схемах компьютеров).

Характеристика электронного и электротехнического лома и его составных частей приведена в таблице. Состав электронного лома во времени изменяется; это связано с изменением материалов, применяемых в производстве электронного оборудования (все большее применение, в частности, находят жидкокристаллические и плазменные

мониторы и телевизоры), снижается содержание драгметаллов [11, 12].

Быстрый технический прогресс в сфере электронной промышленности приводит к быстрому появлению более совершенных моделей, возрастанию потока отработанных средств мобильной связи и аудио-, видеоаппаратуры, что требует приоритетного развития отходов перерабатывающей отрасли, необходимости создания систем контролируемого раздельного сбора отходов, технологий их переработки и утилизации [13].

Как следует из таблицы, наиболее высокое содержание золота (до 1 %) приходится на изоляторы транзисторов и стеклянные изоляторы, а также на компоненты ЭВМ и печатные платы (золота – около 0,3, серебра – до 3 %). Лом электронных систем военной техники (самолеты, танки) отличается высоким содержанием меди (более 20 %) и олова (до 12,5 %), что делает выгодным извлечение этих металлов. Весьма высокое содержание меди характерно для печатных плат и элементов переключения (23...33 %), а также для лома электронной и электробытовой техники (14 %) и ЭВМ (12 %). Исходя из повышенного содержания никеля (2...3 %), потенциально возможно его извлечение из лома электронных систем военной техники, печатных плат, смешанного лома электронных приборов и ЭВМ<sup>1</sup>.

Все отходы отличаются повышенным содержанием алюминия (8...17 %), а изоляторы (в том числе стеклянные) – весьма высоким (почти 33 %). По содержанию железа (30...35 %) выделяются лом электронной и электробытовой техники и элементы переключения [14, 15].

Среднее содержание драгметаллов в электронном бытовом ломе составляет 0,1...0,15 % (в том числе: содержание золота – 0,02...0,05; серебра – 0,07...0,08; плагинны – 0,005...0,1; палладия – 0,01...0,016 %; родия – не менее 0,0015 %). В то же время лом радиоэлектронных плат содержит: золота – 930 г/т, серебра – 1,8 кг/т и палладий – 45 г/т, при этом микросхемы, транзисторы и т.п., покрытые золотом, серебром или палладием сепарируются достаточно легко. Лом радиоэлектронных плат отличается также высоким содержанием цветных металлов: медь – 20; олово – 4; никель, свинец и алюминий – 2; цинк – 1,2 %; содержание железа – 8 % [16].

<sup>1</sup> Для извлечения никеля из печатных плат возможно применение биотехнологии. Для биовыщелачивания никеля из отработанных печатных плат используются микроорганизмы *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thioacillus* (выделены из кислых шахтных вод). Извлечение никеля из печатных плат – 86 % (исходное pH 1,5).

## Краткая характеристика электронного и электротехнического лома и его составных частей

Наименование	Содержание, %													Примечание
	Au	Ag	Cu	Al	Fe	Ni	Pb	Sn	Pt	Mo	Co	Редкие мет.	Прочее	
Лом электронной и электробытовой техники (крупной и мелкой)	0,001	0,008	14,0	8,4	30,0	0,1	0,05	0,08	0	0,02	0,02	0,25	16,37	Стекло – 3,7, пластмассы – 23,0, композиты – 4,0
Лом электронный военной техники	0,08	0,43	21,11	15,2	7,15	2,14	3,15	12,41	0,7	–	–	–	37,63	–
Печатные платы	0,27	2,5	23,04	15,4	12,3	3,25	2,8	1,4	0,9	–	–	–	38,14	
Смешанный лом электронных приборов	0,02	0,18	18,6	14,6	10,2	2,85	2,25	4,7	0,02	–	–	–	46,58	
Компоненты ЭВМ	0,31	2,89	12,0	17,61	7,45	2,20	0,85	1,23	0,15	–	–	–	55,31	
Элементы переключения	0,01	0,2	33,0	13,7	35,26	1,05	3,97	4,0	0	–	–	–	8,81	
Изоляторы транзисторов, стеклянные изоляторы	1,0	0,2	1,31	32,78	22,5	1,25	0,96	1,25	0,11	–	–	–	38,64	

В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 25 июля 2017 г. № 1589-р с 1 января 2021 г. запрещается захоранивать:

- платы электронные (в том числе компьютерные), жесткие диски, системный блок компьютера, принтеры, сканеры, картриджи, компьютерные мониторы, банкоматы (п.п. 110...125);
- телефонные аппараты, мобильные телефоны, портативные радиостанции, модемы, коммутаторы, диктофоны, счетчики электрические (п.п. 126...137);
- отходы изолированных проводов и кабеля, светильники со светодиодными элементами и т.п. (п.п. 148...157);
- микроволновые печи, манометры, кондиционеры, приборы КИП и А (п.п. 158...174);
- калькуляторы, контрольно-кассовые аппараты, счетчики банкнот, копирующие машины (п.п. 175...182).

Для вовлечения этих отходов в хозяйственный оборот с соблюдением требований природоохранного законодательства необходимо создание соответствующих перерабатывающих производств.

Основные виды сырья, поступающие на переработку на аффинажные заводы: лом электронных систем военной техники, печатные платы, смешанный лом электронных приборов, компоненты ЭВМ, элементы переключения, изоляторы транзисторов и стеклянные изоляторы.

Электронный лом является ртутьсодержащим отходом, что усложняет его вовлечение в масштабную переработку. В различных элементах вакуумных мониторов (стеклобой, сетка мелкая стальная, лента и фольга алюминиевая) содержание ртути невелико и не превышает значения ПДК в почве (2,1 мг/кг). Жидкокристаллический монитор персональных компьютеров содержит в среднем 0,9 мг ртути; этого количества достаточно (в случае полного испарения) для загрязнения помещения кубатурой 50 м<sup>3</sup> до 60 ПДК (ПДК ртути в воздухе – 0,0003 мг/м<sup>3</sup>).

Еще более высокое содержание ртути в мониторах жидкокристаллических телевизоров (производство мониторов и телевизоров с электронно-лучевой трубкой, ЭЛТ, прекращено в 2008 г.; с точки зрения загрязнения окружающей среды, наиболее опасны старые телевизоры; их захоронение

на свалках или сжигание с ТКО создает повышенную экологическую опасность). Телевизоры с диагональю 40 дюймов при полном испарении ртути загрязняют помещение кубатурой 50 м<sup>3</sup> до 500 ПДК. Вывоз отходов на свалку вызывает загрязнение окружающей среды<sup>2</sup>.

Более 40 % массы любого монитора и телевизора приходится на кинескоп<sup>3</sup>.

По данным ЭПА США, в ЭЛТ-мониторах содержание свинца в 40 000 раз больше, чем в ЖК-мониторах (989 г против 0,025 г).

С увеличением производства тонкослойных транзисторных жидкокристаллических дисплеев возрастает количество стеклоотходов. Их можно использовать в качестве заменителя цемента в производстве высокопрочных свай. В ходе промышленных испытаний выявлено повышение прочности на сжатие высокопрочных бетонных свай с использованием отходов производства электронной промышленности (стеклоотходов дисплеев) на 3 МПа, повышена также удобоукладываемость цементно-песчаного раствора [17].

Свинец из стеклобоя отработанных электронно-лучевых трубок можно извлечь с помощью HCl (из стеклорасплава, полученного в восстановительной атмосфере, кислотная экстракция); при получении расплава в окислительной атмосфере извлечение свинца снижается. После извлечения свинца стеклобой может быть использован в качестве вторичного сырья в производстве стекла [18].

Содержание PbO в стеклянных конусах электронно-лучевых трубок составляет 25 %. Для извлечения свинца из электронного лома необходимо:

- измельчение материала;
- смешивание измельченного материала в соотношении 1:2 с содой;
- расплавление смеси в восстановительной атмосфере и охлаждение материала;
- выщелачивание соединений свинца водой (рН растворов выщелачивания – 12,7...13,0) [19].

Стеклобой дисплеев жидкокристаллических тонкопленочных транзисторов совместно с доменным шлаком может быть использован для изготовления стеклокерамики  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

<sup>2</sup> Ртутьсодержащие отходы относятся к первому классу опасности. Хроническое отравление человека ртутью приводит к нарушению нервной системы, дрожанию рук, ног и всего тела, психическим нарушениям, нарушению памяти.

<sup>3</sup> Кинескоп – электронно-лучевой прибор, преобразует электрические сигналы в световые. Основные части кинескопа: электронная пушка (формирует пучок электронов), экран (покрыт люминофором), отклоняющая система (управляет лучом).

До 87 % массы кинескопа составляет стекло; электронные стекла содержат стронций, барий и свинец, защищающие телескоп от рентгеновского излучения (возникает при работе трубки).

(технология термообработки и остекловывания), отличающейся высокими механическими и диэлектрическими свойствами. В итоге получается высококачественный стеклокерамический изоляционный материал [20].

Современные методы переработки электронного лома (главная цель – извлечение металлов, в том числе благородных) включают в себя демонтаж, обогащение, методы гидро- и пирометаллургии, спецметоды.

Рассмотренные далее запатентованные технологические решения переработки и утилизации электронного лома содержат более детальные сведения о его составе и технологических возможностях переработки как вторичного сырья.

1. *Цель запатентованной технологии* – извлечение меди и благородных металлов из электронного лома; в качестве конечного продукта получают черновой медный сплав с содержанием благородных металлов не менее 2,6 % [21].

В качестве исходного материала используют преимущественно печатные схемы телевизоров, калькуляторов, ноутбуков, компьютеров, сотовых телефонов, смартфонов и другой техники, использующей микроэлектронные схемы, содержащие золото, серебро, платину.

В качестве объекта исследования использован электронный лом, содержащий, %: медь – 20; серебро – 0,2; золота – 0,02; палладия – 0,001; остальное – пластмассы.

Суть технологии:

- дробление лома в молотковой дробилке до крупности 2,5...3 мм;
- смешивание дробленого лома с предварительно измельченной медью крупностью 2...3,5 мм (массовая доля – 25 %);
- шихтование образовавшейся смеси с флюсообразующими добавками (% от массы лома): диоксид кремния – 16; сода – 10; стекло – 15; известь – 8; кокс – 3;
- плавление смеси в печи при температуре 1 320...1 350 °С с продувкой воздухом (расход – 3...4,5 л/ч) в течение 45...60 мин;
- отделение сплава от шлака.

В результате процесса плавления получается черновой медный сплав, содержащий, %: медь 95,4; золото, серебро – 2,6; железо, свинец, алюминий, олово – 2,0.

Технология обеспечивает высокое извлечение благородных металлов.

2. *Цель запатентованной технологии* – извлечение меди и благородных металлов из электронного лома на медной основе [22].

В качестве объекта исследования использован радиоэлектронный лом на основе меди, содержащий благородные металлы.

Суть технологии:

- окислительная плавка электронного лома (например, в индукционной печи, с подачей в расплав воздуха) до получения сплава с содержанием меди 55...85 %; состав сплава, масс. %: медь – 55...85; никель – 15,5...5,4; кобальт – 0,8...0,2; цинк – 15...1,2; свинец – 2,6...0,1; олово – 1,5...0,1; железо – 5,2...0,1; серебро – 3,5...6,5; золото – 0,2...0,3; палладий – 0,9...1,1;
- электрохимическое растворение полученного медного сплава в растворе сульфата меди при напряжении на электродах 0,8...1,5 В (с получением шлама, содержащего золото и серебро, и катодного сплава, содержащего медь и палладий);
- электрохимическое растворение сплава, содержащего медь и палладий, в растворе сульфата меди при напряжении на электродах 0,3...0,5 В (с получением шлама, содержащего палладий, и катодной меди);
- раздельное выщелачивание серной кислотой шлама, содержащего палладий и шлама, содержащего золото и серебро (удаление из шламов окисленных соединений меди и соответственно повышение содержания в шламах благородных металлов).

Таким образом, окислительная плавка позволяет реализовать последующее электрохимическое растворение анода и отделить затем золото и серебро от палладия (напряжение на электродах – 0,8...1,5 В) и затем – палладий от меди (напряжение на электродах – 0,3...0,5 В).

Шламы после электрохимического растворения представляют собой концентраты золота, серебра и палладия (могут быть переработаны известными способами).

Золото-серебряный шлам первого электрохимического растворения после выщелачивания в растворе серной кислоты может быть переработан плавкой на золото-серебряный сплав (металлы Доре).

3. *Цель запатентованной технологии* – извлечение золота из отходов электронного лома (преимущественно из деталей электронного лома, содержащих золото в виде позолоченных контактов, клемм, припоев и т.п.) [23].

Сущность технологии:

- приготовление сплава металлического висмута с германием (2 масс. %) – сплав-коллектор (не окисляется при температуре до 600 °С в течение длительного времени);



– смешивание сплава-коллектора с деталями электронного лома при температуре 600 °С, выдерживание смеси в этом расплаве 10...30 мин; расход коллектора должен в 1,5...2 раза превышать количество извлекаемого золота (коллектор насыщается золотом);

– повышение температуры до 900...1 000 °С и окисление полученного расплава сплава висмут-золото (при этом висмут переходит в оксид  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , а золото – в обогащенный золотом королек; после охлаждения королек передается на аффинаж); извлечение золота в расплав коллектора 99,5...99,7 %.

Потери висмута в технологическом процессе практически нет: оксид висмута восстанавливают до металла (углеродом или газамивосстановителями), отделяют от твердых остатков отстаиванием или фильтрованием и возвращают в голову процесса для повторного применения.

4. *Цель запатентованной технологии* – электролитическое извлечение серебра из серебряного скрапа электронных и электротехнических изделий (серебряные покрытия на медной, железной или алюминиевой основе, в присутствии припоя) с получением на катоде высокочистого металлического серебра [24].

В качестве объекта для экспериментов использованы медные болты с серебряным покрытием (содержание серебра – 0,65 %), латунные гайки (содержание серебра – 1,18 %), дюралевые пластины (содержание серебра – 1,4 %), корпуса электротехнических изделий из нержавеющей стали (содержание серебра – 0,72 %).

Сущность технологии: для анодного растворения серебра используют электролит, содержащий серную кислоту (концентрация – 80...84,5 %) и сульфат серебра (расход – 15...40 г/л кислоты), электролиз ведут при напряжении не более 1,8 В при температуре 35...50 °С. Катодное восстановление серебра из скрапа электронных и электротехнических изделий осуществляется без разрушения материала их основы.

Содержание металлического серебра, выделяемого на катоде, составляет 99,9 % при извлечении 99,6...99,8 %.

Использование сульфата серебра в составе электролита повышает его электропроводность и способствует формированию на катоде кристаллического осадка металлического серебра (при концентрации сульфата серебра менее 15 г/л кислоты на катоде образуется аморфный осадок серебра, при большей концентрации – происходит выпадение сульфата серебра в осадок).

Сырье, подлежащее регенерации, загружают в анодную корзину (перфорированный фторопластовый стакан с медным токопроводом), которую помещают в корпус электролизера (выполнен в виде цилиндра из нержавеющей стали), подсоединенный к отрицательному полюсу источника тока и выполняющий функцию катода; электролизер заполняют электролитом (серная кислота с добавкой сульфата серебра). При подаче напряжения через электролит протекает ток величиной 4...5 А; во времени ток уменьшается (по мере снятия покрытия). Процесс прекращается при величине тока 0,1 А (приблизительно через 40...60 мин). На катоде серебро выделяется в виде мелкодисперсного легкоотслаиваемого порошка светло-серого цвета. Полученное серебро отделяют от электролита центрифугированием с последующей промывкой и сушкой при 150 °С. В виде примесей серебро содержит, %: медь – 0,01...0,04, олово – 0,01...0,003, железо – 0,003...0,006. Поверхность болтов, гаек, пластин, корпусов изделий после промывки следов коррозии не содержит.

5. *Цель запатентованной технологии* – извлечение благородных металлов из электронного лома (металлическое золото содержится в виде тонкослойных покрытий на поверхности металлических деталей, выполненных из Fe-Ni-Co сплава) [25].

Последовательность технологических операций:

– предварительная термохимическая обработка изделий, основа которых выполнена из Fe-Ni-Co сплава (смешивание изделий с хлоридами калия, натрия и/или гидрохлоридом магния в сухом виде и выдерживание в печи при температуре  $500 \pm 20$  °С в течение 55...65 мин с получением спека); операция способствует ослаблению связи золотого покрытия с металлической основой;

– охлаждение спека, промывка водой и выдерживание в течение 20...22 ч в 4,5...5,5 %-м растворе HCl;

– выщелачивание в 30...35 %-м растворе  $\text{HNO}_3$  при температуре 50...70 °С и при постоянном перемешивании в течение 0,5...2 ч (для полного растворения основы из металлического сплава);

– выделение благородных металлов из осадка (в виде фрагментов слоя металлического покрытия благородных металлов в форме чешуек, пластинок, фольги: мокрое грохочение на тефлоновой сетке с отверстиями 0,01 мм);

– выделение железа, никеля и кобальта из раствора (в растворе находятся в виде азотнокислых соединений).

Методы выделения металлов железа, никеля и кобальта из раствора:

- выпаривание раствора до мокрых солей с последующим их восстановительным обжигом при температуре 380...420 °С (до получения оксидов металлов основы; в принципе их можно направлять на восстановление металлов);
- обработка раствора 30 %-м водным раствором  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; в осадок выпадают гидроксиды металлов (их можно отделить фильтрованием с последующей сушкой при температуре около 200 °С с получением суммы оксидов железа, никеля и кобальта), в растворе остается аммиачная селитра  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (раствор аммиачной селитры может быть высушен – для последующего использования в качестве удобрения).

6. *Цель запатентованной технологии* – электрохимическое извлечение серебра из серебряносодержащих токопроводящих отходов [26].

Исходное сырье – лом радиоэлектронной и компьютерной техники, отходы электронной промышленности и т.п.

Сущность технологии: анодное растворение серебра в водном растворе сульфита натрия (комплексообразователь) с анодом из исходного серебряносодержащего сырья (серебряные радиодетали, пластинки – содержание серебра 1,3 %) и нерастворимым катодом. На аноде происходит растворение серебра за счет его электроокисления и образования сульфитных комплексов, которые разряжаются на катоде с осаждением серебра. Извлечение серебра – 98 %, содержание серебра в осадке – 99 %; окисления сульфита на аноде не происходит.

Режимные параметры процесса: концентрация сульфита натрия – 12...370 г/л, pH 8,5...10,5, потенциал анода – 0,4...0,74 В (относительно нормального водородного электрода); анодное растворение ведут при 18...50 °С. Процесс проводится в закрытом объеме.

В качестве катода в экспериментах использована платиновая сетка или титановая фольга.

Очевидные преимущества технологии:

- весьма высокие технологические показатели (извлечение, содержание);
- высокая скорость растворения серебра (6 мг/см<sup>2</sup>·мин);
- использование нетоксичного реагента (сульфит натрия);
- процесс проводится в неагрессивной среде, создаваемой самим сульфитом натрия;
- отработанные растворы комплексообразователя легко утилизировать.

7. *Цель запатентованной технологии* – извлечение цветных, благородных металлов и их сплавов при утилизации электронных приборов и деталей [27].

Суть технологии:

- узлы, электронные платы и детали радиоэлектронного лома разделяют на элементы из металла, элементы на пластиковой основе и элементы на керамической основе;
- элементы на пластиковой и керамической основе подвергают раздельной обработке (дезинтеграция, вибровоздействие, магнитная и электрическая сепарация) с отделением тяжелой фракции (содержит благородные металлы);
- смесь тяжелых фракций и элементов из металла подвергают окислительному плавлению при расходе воздушного дутья 0,15...0,25 м<sup>3</sup> на 1 кг смеси и проводят электролиз полученного сплава в сульфатном растворе меди, а выделение благородных металлов проводят из шлама, образовавшегося при электрорафинировании.

Извлечение благородных металлов, %: золото – 98,2; серебро – 96,9; палладий – 98,2; платина – 98,5.

8. *Цель запатентованной технологии* – извлечение палладия из электронного лома [28].

Суть технологии:

- измельчение электронного лома (в частности, керамических конденсаторов);
- плавка порошкообразного палладийсодержащего материала в печи с использованием в качестве коллектора порошка металлического висмута (его смешивают с порошком лома в соотношении 2:1);
- после загрузки смеси температуру в печи повышают до 850...1 000 °С при продувке инертным газом и затем подают воздух (с одновременным прекращением подачи инертного газа) для окисления металлического висмута и отделения королька, содержащего палладий; корольки после охлаждения направляют на аффинаж.

Результат высокотемпературного окисления: металлический висмут переходит в окисленную форму (в эту фазу переходит также оксидно-керамическая составляющая загрузки из исходных керамических конденсаторов). Корольки (сплав висмута с палладием) содержат 91...93 % палладия.

Твердый оксид висмута утилизируют: восстанавливают до металла газами-восстановителями или углеродом, отделяют от твердых остатков путем отстаивания или фильтрования и возвращают в голову процесса для повторного применения.

Технология отличается простотой и эффективностью.

9. *Цель запатентованной технологии* – извлечение платины из электронного лома [29].

Суть технологии:

- измельчение электронного лома (в частности, микроэлектронных схем);
- плавка порошкообразного платиносодержащего материала в печи с использованием в качестве коллектора расплавленного металлического висмута с добавкой индия (расход индия – 0,5...1 %), который смешивают с электронным ломом в соотношении (2...2,5):1 по массе при температуре 800 °С, выдерживают 40...45 мин, а затем повышают температуру в печи до 900...1 000 °С и окисляют полученный расплав сплава висмут-платина продувкой воздухом; висмут переходит в оксид  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , а платина – в обогащенный платиной королек (после охлаждения королек передается на аффинаж).

Извлечение платины в расплав после выдержки при 800 °С составляет 99,2...99,5 %.

Технология отличается простотой и эффективностью.

Твердый оксид висмута утилизируют: восстанавливают до металла газами-восстановителями или углеродом, отделяют от твердых остатков путем отстаивания или фильтрования и возвращают в голову процесса для повторного применения.

Время выдержки расплава определяется формой нахождения платины в исходном сырье (в виде контактов, в виде припоя).

Расход коллектора ( $\text{Bi}+1$  мас. %  $1\text{г}$ ) должен в 2...2,5 раза превышать количество извлекаемой платины.

10. *Цель запатентованной технологии* – извлечение из радиоэлектронного лома драгоценных металлов высокой чистоты [30].

Суть технологии:

- дробление радиоэлектронных изделий плат в молотковой дробилке и грохочение (крупность – 0,1...0,5 мм);
- флотация (отделение металлической фракции от текстолита и органических материалов);
- промывка металлической фракции водой и сушка на воздухе в течение 3 ч;
- смешивание металлической фракции с тетрафтороброматом  $\text{KBrF}_4$  (соотношение 1:10);
- нагрев полученной смеси при температуре 400 °С в течение 1 ч (сплавление);
- растворение сплава в воде (после остывания);
- отделение осадка фильтрованием, сушка в течение 24 ч и отправление на аффинаж.

Состав исходных плат, %: золото – 0,08...0,27; серебро – 0,43...2,5; медь – 21,11...23,04; алюминий – 15,2...15,4; железо – 7,15...12,3; свинец – 2,8...3,15; олово – 1,4...12,41; платина – 0,7...0,9.

Состав осадка (направляется на аффинаж), %: золото – 6...7; серебро – 35,5...64,8; платина – 23,3...57,8; прочие металлы – 0,7...4,9.

11. *Цель запатентованной технологии* – извлечение драгоценных и цветных металлов из электронного лома (разъемов, контактов, проволоки) [31].

Сущность технологии:

- плавка электронного лома в присутствии флюса при температуре 1 250 °С с получением расплава;
- перевод расплава в изложницы с получением слитков;
- загрузка слитков в ванну с азотной кислотой (плотность – 1,12 г/см<sup>3</sup>);
- слитки используют в качестве электродов в процессе электрохимического растворения (в раствор переходят серебро, палладий и цветные металлы – медь, цинк, свинец и др.); другим электродом служит титановая пластина;
- режим: частота переменного электрического тока – 50 Гц, напряжение – 8 В, плотность тока – 0,02...0,2 А/см<sup>2</sup>; начало постепенного растворения слитков – через 10 мин;
- направление раствора (электролита) на селективное выделение серебра, палладия, меди; извлечение серебра в раствор – 98,5 %, извлечение палладия – 90 %;
- шлам, осыпающийся со слитков на дно ванны, содержит золото и основную массу олова (извлечение соответственно 99,6 и 91,2 %);
- отделение шлама от раствора, его промывка, сушка и прокаливание при температуре 500...550 °С;
- выщелачивание продукта прокаливания в царской водке (смесь азотной и соляной кислот в соотношении 1:3). Извлечение золота в раствор – 99 %; извлечение олова в хвосты выщелачивания – 94,3 %;
- выделение из фильтрата золота известными способами (чистота золота – 99,5 %).

Состав слитков, полученных из расплава, %: золото – 2,1; серебро – 5,2; палладий – 0,4; олово – 12,3; остальное – медь, цинк, свинец, никель.

12. *Цель запатентованной технологии* – извлечение металлов и пластмасс из электронного лома (радиоэлектронный лом, игровые автоматы, компьютеры, кабель) [32].

Суть технологии:

- дробление сырья в роторно-ножевых и молотковых дробилках;
- грохочение материала по классу 5 мм с направлением фракции – 5 мм на электросепарацию (аппарат ленточного типа) в поле коронного разряда; эффективность электросепарации повышается вследствие определенного доизмельчения материала при его обработке короткими высоковольтными разрядами (разрушение частиц материала происходит в основном по поверхности контакта металла и диэлектрика – в сростках частиц).

Весь материал делится на три фракции: металлическую (извлечение – 98 %), диэлектрическую и полупродукт (возвращается на повторную сепарацию).

13. *Цель запатентованной технологии* – извлечение из электронного лома (преимущественно из микроэлектронных схем) благородных металлов [33].

Микросхемы являются наиболее распространенными элементами электронной техники. Они представляют собой многослойные, небольшие по размерам устройства, собранные в пластиковых или керамических корпусах. Токовводы обычно изготавливаются из магнитных железоникелевых сплавов типа «плагинит» или «ковар», покрываются тонким слоем золота или серебра и присоединяются к полупроводниковому кристаллу, закрепленному на подложке из корунда или дуралюмина. Содержание благородных металлов в микросхемах – 0,1...1,0 % (зависит от типа изделий). Пластмасса, используемая для изготовления корпуса микросхем, содержит 60...70 % наполнителя (кремнезем, глинозем, тальк). Сходные с микросхемами устройства имеют также транзисторы, диоды и разъемы.

Суть технологии:

- дробление микросхем в пластмассовых и керамических корпусах до крупности –1 мм (–5 мм);
- магнитная сепарация дробленого материала; в магнитную фракцию переходят контакты микросхем на основе сплава «платинит» (состав, %: золото – 0,77; никель – 35; железо – 35; олово – 4,3; свинец – 2,5; медь – 0,5; селен – 1,1); извлечение золота в магнитную фракцию – 91,2 %; немагнитная фракция содержит пластиковые и керамические корпуса микросхем;
- плавка немагнитной фракции со шлаками производства благородных металлов (в качестве восстановительной добавки); для плавки можно использовать шихту состава, %: немагнитная фракция – 15; известь – 15; остальное – шлак

производства благородных металлов на основе силикатов натрия, кальция и железа; продукты плавки – донный тяжелый сплав (концентрат благородных металлов) и условноотвальные шлаки (остаточное содержание золота – 3...3,6 г/т);

- плавка магнитной фракции (состав шихты, %: магнитная фракция микросхем – 48; кремний – 16; сода кальцинированная – 10; стекло – 15; известь – 8; коксик – 3); в итоге плавки получают железоникелькремнийсодержащий сплав (его подвергают дроблению и используют в качестве реагента-коллектора при плавке промпродуктов, содержащих благородные металлы) и шлак.

На стадии плавки немагнитной фракции достигнуто практически полное извлечение золота в донный тяжелый сплав – концентрат благородных металлов (перерабатывается с использованием известных методов).

Технология интенсифицирует процесс извлечения благородных металлов.

14. *Цель запатентованной технологии* – доизвлечение благородных металлов из хвостов обогащения электронного лома (в качестве вторсырья используют платы компьютерной и другой оргтехники, бытовых приборов и приборов специального назначения) [34].

Сущность технологии:

- трехстадиальное дробление (с использованием роторно-ножевых и роторно-дисковых дробилок) с промежуточной классификацией;
- последовательная магнитная и электрическая сепарация (выделение коллективного концентрата металлов, содержит 1,3 кг/т золота);
- флотация хвостов обогащения (содержат золота 35 г/т и серебра 70 г/т); репульпация пульпы до Ж:Т=7:1, добавление лигносульфата (отход гидролизного производства) – 1...3 кг/т; диалкилдитиофосфата натрия (собиратель) – 50...500 г/т, pH 3...4, извлечение в пенный продукт тонкодисперсных частиц благородных металлов (прирост извлечения золота – 15...17 %, серебра – 14...17 %).

Среднее содержание золота в исходном сырье – 300...400 г/т, серебра – 700...800 г/т.

15. *Цель запатентованной технологии* – извлечение благородных металлов из радиоэлектронного лома [35].

Суть технологии:

- плавка радиоэлектронного лома в восстановительной атмосфере в присутствии диоксида кремния с получением медно-никелевого анода (содержит 2,5...5 % кремния и примеси свинца от 1,3 до 2,4 %); SiO<sub>2</sub> используется в качестве

флюса и восстанавливается в ходе процесса до элементарного состояния;

- электролитическое растворение медно-никелевого анода с использованием никелевого сернокислого электролита; процесс растворения анода проводят при плотности тока 250...300 А/м<sup>2</sup>, температуре 40...70 °С и напряжении 6 В (потенциал анода составляет 430 мВ).

В итоге процесса повышается извлечение благородных металлов в шлам при одновременном снижении расхода электроэнергии и увеличении скорости процесса растворения.

16. *Цель запатентованной технологии* – извлечение цветных металлов (с остатками драгметаллов) из радиоэлектронного лома с использованием методов обогащения [36].

Суть технологии:

- двухстадиальное дробление лома (без предварительной разборки) в молотковых дробилках до крупности –15 мм;
- магнитная сепарация материала после каждой стадии дробления;
- грохочение немагнитной фракции (после второй стадии дробления);
- раздельная аэросепарация подрешетного и надрешетного продукта с выделением готового продукта – тяжелой фракции аэросепарации (медные и оловянно-свинцовые сплавы) с выделением в виде хвостов легкой фракции (пластмасса без инородных включений) и промпродукта (частицы стеклотекстолитовых подложек радиоэлектронного лома, содержащие медь, свинец, олово с остатками драгметаллов);
- доизмельчение промпродукта в шаровой мельнице до крупности –1 мм;
- аэросепарация продукта доизмельчения с выделением готового продукта – тяжелой фракции (медные и оловянно-свинцовые сплавы, выход от операции – 7,5 %) и хвостов обогащения.

17. *Цель запатентованной технологии* – извлечение цветных и благородных металлов из электронного лома (электронно-лучевые трубки, транзисторы, интегральные схемы, электровакуумные приборы, платы и т.п.) с применением термической технологии (постепенный нагрев материала с использованием микроволновой энергии) [37]. Технология базируется на различии в температурах плавления металлов.

Суть технологии:

- дробление отходов (смесь металлов и органических соединений) до крупности –5 мм;
- первичный нагрев отходов, помещенных в спецконтейнер, в микроволновой печи до точки

горения органики  $T_1$  (300...800 °С); из огарков могут быть извлечены легкоплавкие металлы: олово, цинк, алюминий;

- нагрев материала до точки расплавления металла, низшего в температурном ряду плавления металлов (скорость нагрева – 100 °С в минуту) и выдерживание материала при температуре  $T_2$  (1 000...1 550 °С) в течение 20 мин (для отделения расплава низкоплавкого металла от общей массы материала);

- подъем температуры до третьей точки (для расплавления следующего металла в температурном ряду) и выдерживание при этой температуре и т.д. (практический температурный предел нагрева – ~2 000 °С).

Остаточная стекловидная масса используется в производстве асфальтобетона, пористого кирпича, дорожных покрытий и т.п.

Требуемая мощность микроволновой печи для достижения  $T_1$  – 800 Вт, для достижения  $T_2$  – 6 400 Вт.

Последовательность выделения металлов из электронного лома: серебро (температура плавления – 961 °С) – золото (1 063 °С) – медь (1 083 °С); отходы, содержащие серебро, золото и медь, могут быть нагреты до 1 083 °С и выдержаны при этой температуре, пока металлы не отделятся от всей массы отходов (с последующим разделением известными методами).

После окончания процесса извлечения металлов объем инертного остатка снижается вдвое (по сравнению с объемом первичного материала).

## Выводы

Ежегодно в РФ образуется около 1,2 млн т электронного и электротехнического лома.

Учет образования в РФ электронного лома не ведется, проблема электронного лома, образующегося у населения в РФ, не решается; практически все электронные отходы попадают в ТКО и вывозятся на захоронение на свалки.

Электронный лом содержит смесь различных металлов – меди, алюминия, золота, серебра и многих других; «вмещающая порода» – различные виды пластика или керамики, стекло. Благородные металлы присутствуют в этой смеси в виде покрытий различной толщины, припоев, компонентов сплавов (драгметаллы часто используют в контактах реле, в переключателях, в печатных схемах компьютеров). Состав электронного лома во времени изменяется; это связано с изменением материалов, применяемых в производстве

электронного оборудования (в частности, все большее применение находят жидкокристаллические и плазменные мониторы и телевизоры), снижается содержание драгметаллов.

Быстрый технический прогресс в сфере электронной промышленности приводит к быстрому появлению более совершенных моделей, возрастанию потока отработанных средств мобильной связи и аудио-, видеоаппаратуры, что требует приоритетного развития отходоперерабатывающей отрасли, необходимости создания систем контролируемого раздельного сбора отходов, технологий их переработки и утилизации.

В РФ нет строгих критериев относительно классификации электронного и электротехнического лома. Возможные варианты – классификация лома как вторсырья по видам образующихся отходов, классификация как источника вторичных ресурсов металлов и др. Достаточно удачна классификация лома на две группы – лом бытовой и военной техники с одновременной характеристикой составных частей (печатные платы, смешанный лом электронных приборов, компоненты ЭВМ, элементы переключения, изоляторы транзисторов и стеклянные изоляторы).

Наиболее высокое содержание золота (до 1 %) приходится на изоляторы транзисторов и стеклянные изоляторы, а также на компоненты ЭВМ и печатные платы (золото – 0,3; серебро – 3 %). Лом электронных систем военной техники (самолеты, танки) отличается высоким содержанием меди (более 20 %) и олова (до 12,5 %). Весьма высокое содержание меди характерно для печатных плат и элементов переключения (23...33 %), а также для лома электронной и электробытовой техники (14 %) и ЭВМ (12 %).

С 1 января 2021 г. в РФ запрещается захоранивать многие компоненты электронного и электротехнического лома (распоряжение Правительства РФ от 25 июля 2017 г. № 1589-р):

- платы электронные (в том числе компьютерные), жесткие диски, системный блок компьютера, принтеры, сканеры, картриджи, компьютерные мониторы, банкоматы;
- телефонные аппараты, мобильные телефоны, портативные радиостанции, модемы, коммутаторы, диктофоны, счетчики электрические;
- отходы изолированных проводов и кабеля, светильники со светодиодными элементами и т.п.;
- микроволновые печи, манометры, кондиционеры, приборы КИПиА;

– калькуляторы, контрольно-кассовые аппараты, счетчики банкнот, копировальные машины.

Для выполнения распоряжения Правительства РФ необходима организация учета обращения с отходами электронного и электротехнического лома, необходимо создание объектов для сбора и накопления электронного и электротехнического лома и создание соответствующих перерабатывающих производств.

Методы переработки электронного лома (главная цель переработки – извлечение металлов, особенно благородных) включает в себя демонтаж, обогащение, методы гидро- и пирометаллургии, спецметоды.

Достаточно сложным объектом для переработки и утилизации являются пластмассы из электронного лома; микросхемы, транзисторы и т.п., покрытие золотом, серебром или палладием сепарируются относительно легко (об этом свидетельствует многообразие вариантов переработки электронного лома – с достижением достаточно высоких технологических показателей).

Основные виды сырья, поступающие на переработку на аффинажные заводы: лом электронных систем военной техники, печатные платы, смешанный лом электронных приборов, компоненты ЭВМ, элементы переключения, изоляторы транзисторов и стеклянные изоляторы.

Вовлечение электронного лома в переработку усложняет относительно высокое содержание в нем ртути (особенно в мониторах жидкокристаллических телевизоров; производство мониторов и телевизоров с электронно-лучевой трубкой прекращено в 2008 г.). С точки зрения загрязнения окружающей среды, наиболее опасны старые телевизоры; их захоронение на свалках или сжигание с ТКО создает повышенную экологическую опасность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Состав ТБО – критерий эффективности схем управления // *ТБО: Твердые бытовые отходы*. 2013. № 12 (90). С. 28...33.
2. Рудяков П.Н. Требования, предъявляемые к утилизаторам электронного лома // *ТБО: твердые бытовые отходы*. 2018. № 6. С. 51...53.
3. Сергеев А.П. Мировые тенденции реализации концепции «отходы – в энергию» // *Твердые бытовые отходы*. 2014. № 8. С. 28.
4. Favot Marinella et al. A statistical analysis of prices of electrical and electronic equipment after the

- introduction of the WEEE directive, J. Ind. Ecol. 2013. 17. № 6, pp. 827...834.
5. EU – Recycl. 2013. 30. № 12, p. 22.
  6. Lee Ching – Hwa и et al. J. Hazardous Mater. 2000. 70. № 3, pp. 209...220.
  7. Комиссаров В.А. и др. Пластики в ОЭЭО – проблема или ценный материал? // *Твердые бытовые отходы*. 2016. № 1. С. 17...223.
  8. Жуков В.В. Формирование отходоперерабатывающей индустрии как отдельной отрасли в экономике России – неотложная необходимость // *Экологический вестник Московского региона*. 2008. № 5/37. С. 79...87.
  9. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. О технологической модели экологически безопасного управления твердыми бытовыми отходами // *Экологические системы и приборы*. 2016. № 7. С. 13...36.
  10. Oguchi Masahiro et al. A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources. Waste Manag. 2011. 31. № 9-10, pp. 2150...2160.
  11. Погосян А.Т. *Разработка рациональной технико-экономической структуры переработки электронного лома*: автореферат дис. канд. техн. наук. М., 2007. 26 с.
  12. Полейт С.И. *Разработка экологически чистых технологий комплексного извлечения благородных и цветных металлов из электронного лома*: автореферат дис. доктора техн. наук. М., 2009. 41 с.
  13. Шубов Л.Я., Борисова О.Н., Доронкина И.Г. Эволюция стратегии управления ТБО // *ТБО: Твердые бытовые отходы*. 2014. № 11 (101). С. 12...15.
  14. Стрижко Л.С., Фокин О.А., Шигин Е.С. Аналитический контроль и сертификация электронного лома, содержащего благородные металлы // *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*. 2009. <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=255>.
  15. Полейт С.И. Аналитический контроль и сертификация вторичного сырья на ОАО «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов» // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2009. № 6. С. 69...74.
  16. *Отраслевой портал Waste.ru*
  17. Jang Hong-Seok et al. A study of the possibility of using TFT-LCD waste glass as an admixture for steam cured PNC piles. Mag. Concr. Res. 2014. 66. № 3-4, pp. 196...208.
  18. Okada Takashi. Lead extraction from cathode ray tube funnel glass melted under different oxidizing conditions. J. Hazardous Mater. 2015. 292, pp. 188...196.
  19. Okada Takashi. Water-soluble lead in cathode ray tube funnel glass melted in a reductive atmosphere. J. Hazardous Mater. 2016. 316, pp. 43...51.
  20. Fan Chen-Shiuan и et al. Glass – ceramics produced from thin – film transistor liquid-crystal display waste glass and blast oxygen furnace slag. Ceram. Int. 2014. 40. № 5, pp. 7117...7123.
  21. *Патент РФ 2521766, C22B7, C22B9, C22B11, 10.07.2014*. Старших В.В., Максимов Е.А. Способ переработки электронного лома.
  22. *Патент РФ 2486263, C22B7, C22B11, 27.06.2013*. Теляков А. Н., Богуславский А.Ю., Сизяков В.М. Способ переработки электронного лома на основе меди, содержащего благородные металлы.
  23. *Патент РФ 2432408, C22B7, C22B11, 27.10.2011*. Денисова Л.Т., Денисов В.М. Способ извлечения золота из отходов электронного лома.
  24. *Патент РФ 2176290 C22B7, 27.11.2001*. Громов О.Г., Кузьмин А.П., Куншина Г.Б., Локшин Э.П., Калинин В.Т. Способ электролитической регенерации серебра из серебряного покрытия на металлической основе.
  25. *Патент РФ 2238341, C7B22, 20.10.2004*. Винокуров С.Ф. Термогидрометаллургический способ переработки электронного лома на Fe-Ni-Co основе с покрытиями из благородных металлов.
  26. *Патент РФ 2467082 C22B7, C22B11, 20.11.2012*. Кальный Д.Б., Коковкин В.В., Миронов И.В. Способ электрохимического извлечения серебра из серебросодержащих токопроводящих отходов.
  27. *Патент РФ 2276196 C22B7, 10.05.2006*. Теляков А.Н., Шалыгин Л.М., Иконин Л.В., Теляков Н.М. Способ извлечения благородных металлов.
  28. *Патент РФ 2398900 C22B5, C22B11, 10.09.2010*. Денисова Л.Т., Денисов В.М., Иванов В.В. Способ извлечения палладия из отходов электронного сырья.
  29. *Патент РФ 2458998 C22B7, C22B11, 20.08.2012*. Денисова Л.Т., Денисов В.М. Способ извлечения платины из отходов электронного лома.
  30. *Патент РФ 2618588 C22B7, 05.04.2017*. Шагалов В.В., Оствальд Р.В., Соболев В.И., Ивлев С.И. Способ переработки лома радиоэлектронных изделий с выделением драгоценных металлов высокой чистоты.
  31. *Патент РФ 2090633 C22B7, C22B11, 20.09.1997*. Караев В.Г., Масликов С.Т., Давыдов А.М.,

- Ступин В.А., Чантурия А.В., Породнов В.П. Способ переработки электронного лома, содержащего благородные металлы.
32. Патент РФ 2166376 В03В9, 10.05.2001. Белоцерковский К.Е., Зарогатский Л.П. Способ переработки электронного и кабельного скрапа.
33. Патент РФ № 2180011, С22В11, 27.02.2002. Сидоренко Ю.А., Ефимов В.Н., Шуховцев В.И., Москалев А.В., Агафонов Д.А., Ельцин С.И. Способ переработки лома изделий электронной техники.
34. Патент РФ 2572938 С22В7,С22В11, 20.01.2016. Лобанов В.Г., Соловьев М.В., Кричунов С.М., Маковская О.Ю., Москалев М.Ю. Способ переработки электронного лома, преимущественно электронных плат.
35. Патент РФ 2553320 С22В7,С22В11, 10.06.2015. Александрова Т.А., Гореликов Д.В., Закирова А.И., Теляков А.Н., Шмидт Д.В. Способ извлечения благородных металлов из отходов радиоэлектронной промышленности.
36. Патент РФ 2509606 В03В9, 20.03.2014. Дистанов А.А., Воскобойников В.В., Естехин В.Ю. Способ переработки радиоэлектронного скрапа.
37. Патент США 6143139 С07С1, 25.11.1998. Georg G. Wicks, North Augusta S.C., David E. Clark, Rebecca I. Shulz. Method for recovering metals from waste.



### Информация об авторах

**Шубов Лазарь Яковлевич**, доктор техн. наук, профессор, член сообщества экспертов РФ по рациональному природопользованию, главный научный сотрудник

**Иванков Сергей Иванович**, доктор техн. наук, профессор, научный сотрудник

**Скобелев Кирилл Дмитриевич**, начальник отдела

**Доронкина Ирина Геннадиевна**, канд. техн. наук, научный сотрудник

**Загорская Дарья Анатольевна**, инженер

Федеральное государственное автономное учреждение «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»

141006, Российская Федерация, Московская обл., г. Мытищи, Олимпийский проспект, д. 42

### Information about authors

**Shubov Lazar Yakovlevich**, Doctor of Techn. Sciences, Professor, member of the Russian community of experts of the Environmental Management, Principle Researcher

**Ivankov Sergey Ivanovich**, Doctor of Techn. Sciences, Professor, Researcher

**Skobelev Kirill Dmitrievich**, Head of the Department

**Doronkina Irina Gennadievna**, Cand. of Techn. Sciences, Researcher

**Zagorskaya Darya Anatolevna**, Engineer

FSAB «Research Institute «Environmental industrial policy center»

141006, Moscow region, Russian Federation, Mytischki, Olimpiyskiy prospekt, 42