

Техногенные отходы I–II классов опасности – ресурс для получения вторичных продуктов

© 2020. А. Г. Мажуга¹, д. х. н., профессор РАН, ректор,
В. А. Колесников¹, д. т. н., профессор, зав. кафедрой,
Д. А. Сахаров¹, к. б. н., проректор по экономике и инновациям,
М. В. Корольков², к. т. н., первый зам. ген. директора
по реализации экологических проектов,

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
125047, Россия, г. Москва, Миусская площадь, д. 9,

²ФГУП «Федеральный экологический оператор»,
119017, Россия, г. Москва, Пыжевский переулок, д. 6,
e-mail: kolesnikov@muctr.ru

В Российской Федерации (РФ) стартовала реформа обращения с промышленными отходами. В ходе реализации данной реформы предстоит создать эффективную государственную систему обращения с отходами I и II классов опасности, по сути дела новую отрасль экономики. По данным официальной статистики в РФ ежегодно образуется порядка 350–400 тыс. т промышленных отходов, из которых, по экспертным оценкам, на переработку отправляется не более 2%. В связи с этим Правительством РФ был разработан федеральный проект «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности» в составе национального проекта «Экология». Федеральным проектом предусмотрено создание экотехнопарков для переработки промышленных отходов I и II классов опасности. Первые четыре экотехнопарка планируется создать на базе бывших объектов по уничтожению химического оружия в Саратовской, Кировской, Курганской областях и Удмуртской Республике. Проектная мощность каждого из четырёх экотехнопарков – 50 тыс. т отходов в год. Из 444 видов отходов, которые сегодня входят в федеральный классификационный каталог отходов Росприроднадзора, порядка 350 видов отходов планируется перерабатывать на каждом из экотехнопарков. Главная задача создаваемых экотехнопарков – безопасно переработать отходы и вернуть их полезные компоненты в хозяйственный оборот, получить новые продукты из вторичного сырья.

Ключевые слова: техногенные отходы, вторичные продукты, отходы I и II классов опасности, рециклинг промышленных отходов.

Technogenic waste of I and II hazard classes – a resource for obtaining secondary products

© 2020. A. G. Mazhuga¹ ORCID: 0000-0002-5184-5551, V. A. Kolesnikov¹ ORCID: 0000-0002-3965-4728,
D. A. Sakharov¹ ORCID: 0000-0001-9333-586X, M. V. Korolkov² ORCID: 0000-0002-6693-1719

¹Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
9, Miusskaya Ploshchad, Moscow, Russia, 125047,

²Federal State Unitary Enterprise
“Federal Environmental Operator”,
6, Pyzhevsky Pereulok, Moscow, Russia, 119017,
e-mail: kolesnikov@muctr.ru

In the Russian Federation (RF), a reform of industrial waste management has started. In the course of the implementation of this reform, it is necessary to create an effective state system of waste management of I and II hazard classes, in fact, a new sector of the economy. According to official statistics, about 350–400 thousand tons of industrial waste are generated in the Russian Federation annually, of which, according to expert estimates, no more than 2% are sent for processing. In this regard, the Government of the Russian Federation has developed a federal project “Infrastructure for handling waste of I–II hazard classes” as a part of the national project “Ecology”. The federal project provides for the creation of eco-technoparks for the processing of industrial waste of I and II hazard classes. The first four eco-technoparks are planned to be created on the basis of former chemical weapons destruction facilities in Saratov, Kirov, Kurgan regions and the Udmurt Republic. The design capacity of each of the four eco-technoparks is 50 thousand tons of waste per year. Of the 444 types of waste that are currently included in the federal waste classification catalog of Rosprirodnadzor, about

350 types of waste are planned to be processed at each of the planned eco-technology parks. The main task of the created eco-technoparks is to safely process waste and return their useful components to economic circulation, to obtain new products from secondary raw materials.

Keywords: industrial waste, secondary products, waste of I and II hazard classes, industrial waste recycling.

В 2020 г. в Российской Федерации (РФ) начался новый этап создания наукоёмкой отрасли реального сектора экономики – переработки промышленных отходов I и II классов опасности с получением товарной продукции с высокой добавленной стоимостью. Для решения данной задачи интегрируется потенциал учёных, специалистов и промышленников в различных регионах РФ по разработке новых технологий и оборудования.

Целью данной работы является анализ современных методов и технологий по безопасному обезвреживанию промышленных отходов I и II классов опасности с получением новой продукции из вторичного сырья.

При выборе прогрессивных технологий используется зарубежный опыт, в первую очередь европейских стран: Германии, Австрии и Швеции.

В соответствии с Федеральным законом от 26.07.2019 № 225-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и Федеральный закон «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» Госкорпорация «Росатом» создаст комплексную систему обращения с отходами I и II классов опасности. Федеральным оператором по обращению с отходами I и II классов опасности на территории РФ Распоряжением Правительства РФ от 14 ноября 2019 г. № 2684-р назначено предприятие Госкорпорации «Росатом – ФГУП «ФЭО» (Федеральный экологический оператор, прежнее название – ФГУП «РосРАО»). Постановлением Правительства РФ от 18.10.2019 № 1346 закреплена государственная информационная система учёта и контроля за обращением с отходами I и II классов опасности.

В 2019–2020 гг. в различных регионах страны прошли общественные обсуждения проектной документации и материалов ОВОС создаваемой в рамках национального проекта «Экология» инфраструктуры по обращению с отходами I и II классов опасности.

За последние 5–10 лет учёными РФ опубликовано большое количество статей, обзоров и монографий по тематике обезвреживания промышленных и бытовых отходов [1–3], очистке сточных вод [3–6] и обезвреживанию газообразных выбросов [7, 8]. Особое вни-

мание уделяется мониторингу окружающей среды в местах накопления и переработки техногенных отходов [4, 5, 9, 10].

Важный вклад в учёт, контроль и регулирование промышленных отходов вносит Постановление Правительства РФ от 18.10.2019 № 1346 «Об утверждении Положения о государственной информационной системе учёта и контроля за обращением с отходами I и II классов опасности». В систему включается информация о видах отходов I и II классов опасности; об источниках образования отходов; о местах накопления отходов; о нормативах образования отходов и лимитах на их размещение, утверждённых в отношении отходов данных классов опасности; об объектах обработки, утилизации, обезвреживания, размещения отходов I и II классов опасности. Оператором системы назначено ФГУП «ФЭО».

Всего в Российском Федеральном классификаторе 444 вида отходов I и II классов опасности, которые сформированы в три основные группы:

- Жидкие, твёрдые и пастообразные неорганические отходы (кислоты, щёлочи, соли металлов – 95 видов). В состав техногенных отходов входят отработанные растворы серной кислоты, используемые при производстве хлора, растворы азотной кислоты для травления меди, растворы травления сталей на основе серной, соляной и фосфорной кислот, титана на основе азотной и плавиковой кислот. В отработанных растворах присутствуют от 5 до 20 различных ионов металлов и в основном: Fe, Al, Ti, Cu, Cr, Zn, Ni.

- В федеральном классификаторе 33 вида ртутьсодержащих отходов (ртутные лампы, термометры, отработанные сорбенты, загрязнённые солями ртути, неорганические и органические соединения ртути, нерастворимые соли).

- В данном классификаторе практически 50% (216 видов) представляют органические отходы I и II классов опасности. Состав отходов очень разнообразен и сложен для обезвреживания. Например, смесь жидких пестицидов, клеевых композиций, кубовые остатки процессов рекуперации. Отходы при промывке оборудования, используемого при получении органических веществ, по-

лимерные композиции, неиспользуемые или отработанные нефтепродукты, масла и поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной природы и состава. Состав отходов содержит от 5 до 15 органических компонентов.

Обращение большинства отходов в зависимости от их классов опасности, а также источников образования, в настоящее время регулируется созданными институтами единых региональных (твёрдые коммунальные отходы – ТКО) и единого федерального (отходы I и II классов опасности) операторов. Законом предусмотрено также создание региональных и федеральной схем обращения с соответствующими видами отходов.

Из отходов, относящихся к I и II классам опасности, наиболее существенное воздействие на окружающую среду оказывают ионы тяжёлых и цветных металлов (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, Fe, Cr и др.)

К высокотоксичным отходам относятся соединения ртути I класса опасности и характеризующиеся как чрезвычайно опасные химические вещества, токсичные для всех форм жизни в любом своём состоянии, отличающиеся чрезвычайно широким спектром и большим разнообразием проявлений токсического действия в зависимости от свойств веществ, в виде которых они поступают в организм (пары металлической ртути, неорганические или органические соединения), путей поступления, дозы и времени воздействия.

Среди органических веществ относятся к I–II классам опасности и являются наиболее опасными хлорорганические вещества на их основе, пестициды, ароматические соединения, бензол, толуол, ксилол, фенолы, трансформаторные масла и нефтепродукты. Отходы, содержащие в своём составе данные вещества, представляют высокую опасность, и их обезвреживание является приоритетной задачей, которую необходимо решить в ближайшее время.

С целью снижения опасности воздействия высокотоксичных отходов на окружающую среду Распоряжением Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-р был утверждён перечень видов отходов I и II классов опасности, содержащих тяжёлые металлы (ТМ), в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается.

Отходы I и II классов опасности, содержащие тяжёлые металлы и запрещённые с 1 января 2018 г. к захоронению:

– лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства;

– реле импульсные ртутьсодержащие, утратившие потребительские свойства;

– элементы гальванические нормальные, содержащие сульфат кадмия, ртуть и её соединения, утратившие потребительские свойства;

– отходы элементов и батарей ртутно-цинковых;

– бой стеклянный ртутных ламп и термометров с остатками ртути;

– упаковка из полимерных материалов, загрязнённая ртутью;

– ртуть, утратившая потребительские свойства в качестве рабочей жидкости.

С 1 января 2021 г. запрещены к захоронению: источники бесперебойного питания, утратившие потребительские свойства; неповреждённые отработанные химические источники тока марганцово-цинковые щелочные, никель-металлгидридные, одиночные гальванические элементы (батарейки) никель-кадмиевые, аккумуляторы компьютерные кислотные; стационарные свинцово-кислотные, утратившие потребительские свойства.

Для управления отходами I и II классов опасности 27 декабря 2017 г. было принято решение о создании в России Государственной информационной системы обращения с такими отходами (ГИСОПВК). В частности, в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО 2017), утверждённым Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242, к отходам I класса опасности относятся такие виды, содержащие ТМ, как: осадок, содержащий ртуть и селен, мокрой очистки обжиговых газов цинкового производства при их утилизации в производстве кислоты серной; отработанные растворы химического хромирования поверхностей чёрных металлов и др. Примерами же отходов, содержащих ТМ, отнесённых ко II классу опасности, являются: отходы кобальто-никелевого концентрата с повышенным содержанием мышьяка; отходы ртутьсодержащие зачистки оборудования гидрохлорирования ацетилен на катализаторе на основе активированного угля, пропитанного сулемой, в производстве винилхлорид мономера; отходы механической очистки сточных вод, загрязнённых при получении хроморганических катализаторов для производства полиэтилена.

При высокотемпературном обезвреживании отходов, содержащих ТМ, так же требуется соблюдать определённые предосторожности. В соответствии с ГОСТ Р 55836-2013 «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Обработка остатков, образующих-

ся при сжигании отходов» высокие уровни содержания в первичных отходах ТМ и их соединений оказывают негативное влияние на состав образующихся твёрдых остатков, поэтому отходы, содержащие высокие концентрации токсичных металлов, не следует сжигать (ГОСТ Р 56828.17-2017 «Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Стратегии и методы термической обработки опасных отходов»).

При проведении проектных, выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ реализуется общий подход к обезвреживанию отходов **I и II классов опасности**, который включает переработку отходов на промышленном предприятии, где отходы непосредственно образуются (1 уровень, в месте образования). Как правило, речь идёт об отработанных растворах кислот, щелочей, солей, содержащих ионы ТМ (кислые растворы), а также масла, ПАВ, смазочно-охлаждающие жидкости, нефтепродукты, щелочные растворы обезжиривания. Ионы тяжёлых и цветных металлов являются наиболее опасными загрязняющими отходами **I и II классов опасности, негативно влияющими** на окружающую среду и организм человека. Данные отходы формируются на промышленных предприятиях в крупных городах.

Наиболее доступные технологии включают методы регенерации растворов мембранным электролизом, электрофлотацию, экстракцию, ультрафильтрацию. Эти методы позволяют извлекать из растворов загрязняющие вещества и возвращать растворы в технологический процесс. Количество растворов, направляемых на централизованное обезвреживание, может быть сокращено в 2–3 раза.

Организационно-технологические решения, направленные на повышение эффективности обезвреживания отходов

Нами предлагаются организационно-технологические решения, направленные на повышение эффективности обезвреживания отходов:

- снижение количества отходов **I и II классов опасности** на производствах, в том числе за счёт межзаводской кооперации и модернизации производств;
- отдельный сбор отходов **I и II классов опасности**. Различные виды отходов **I и II классов опасности** на предприятиях не должны смешиваться. За счёт этого упрощается их

обезвреживание и утилизация с получением вторичных продуктов;

- при использовании однотипных технологий для различных видов отходов следует применять гибкие, перенастраиваемые, технологические линии на базе стандартного технологического оборудования;

– разработка систем контроля и учёта за образованием отходов, систем сбора, транспортировки и временного хранения отходов **I и II классов опасности, систем промышленного контроля и экологического мониторинга производств по обезвреживанию отходов;**

- внедрение **IT-технологий при обращении с отходами I и II классов опасности**, создание единой информационной системы для оперативного управления вопросами обезвреживания отходов при Федеральном экологическом операторе.

При централизованном обезвреживании отходов в РФ на создаваемых комплексах сформулирована концепция обезвреживания промышленных отходов **I и II классов опасности** в части неорганических отходов, включающая в себя две задачи.

Задача 1 – «Безопасность отходов»: уменьшение объёма жидких отходов, перевод растворимых соединений в нерастворимые осадки, перевод осадков **II класса в IV, концентрирование солевых компонентов, обезвреживание электролитов с комплексообразователями и лигандами, организация замкнутых систем (водооборот).**

Задача 2 – «Вторичные ресурсы»: анализ вторичных ресурсов (объём, состав, поставки); утилизация цветных металлов (медь, никель, цинк, хром), смеси оксидов (**Fe, Al, Ni, Cr, Ti**), солевых концентратов (хлориды, сульфаты, нитраты), серебра, кадмия (при накоплении отходов).

Для обезвреживания неорганических отходов **I–II классов опасности, содержащих кислоты, щёлочи, ионы металлов, комплексообразователи, твёрдые и пастообразные композиции (соли, гидроксиды), предложены базовые технологические процессы. Для обезвреживания кислот, щелочей, хром- и циансодержащих отходов используются реагентные химические технологии (см. цв. вкладки III–IV). Для отделения взвешенных веществ осадков используют методы фильтрации, декантации и флотации. С целью обессоливания воды и получения ценных компонентов используют мембранные, выпарные и кристаллизационные установки.**

Предложены новые технические решения для аммиачных отходов **I и II классов опасно-**

сти, содержащих комплексы меди. Технологические водно-аммиачные растворы находят широкое применение при травлении меди, в частности, при производстве печатных плат электронной техники, а также при выщелачивании меди из твёрдых металлсодержащих отходов (медь, цинк). В результате травления образуется технологический отход, водно-аммиачный раствор, содержащий комплексы меди (см. цв. вкладку II).

В процессах обезвреживания нами использованы технологии экстракции комплексов меди в растворе серной кислоты, электрохимическое выделение меди на катоде, как вторичного продукта, возврат серной кислоты и экстрагента в рецикл. На второй стадии протекает процесс обработки аммиачного раствора соляной кислотой с целью получения товарного продукта – хлорида аммония, широко используемого в химической и металлургической промышленности.

В РХТУ им. Д.И. Менделеева разработана и запроектирована на четырёх объектах ФГУП «ФЭО» линия для обезвреживания таких растворов. Для обезвреживания твёрдых отходов, содержащих металлы, относящихся ко II классу опасности, предложен метод высокотемпературной обработки, который был разработан для технологии обезвреживания гальванических стоков (см. цв. вкладку IV). Он основан на том, что в составе осадков после физико-химической обработки присутствуют оксиды кремния, алюминия и железа, из-за чего при высоких температурах такие шламы можно спечь до плотного состояния. В результате такой обработки могут быть получены гранулы, представляющие собой алюмосиликатную керамику, в структуре которой надёжно связаны различные компоненты первичных стоков. Такие гранулы инертны к воздействию щелочей, кислот и растворителей и могут использоваться в различных отраслях народного хозяйства.

Преимущества и недостатки гидрометаллургических технологий

Поскольку гальваношламы можно рассматривать как техногенные рудные образования, то к процессам извлечения металлов из них применяют те же методы, которые используются в гидрометаллургии для получения цветных металлов.

Получение металлов (восстановление из водных растворов их солей) осуществляется при обычных температурах, причём в качестве восстановителей могут быть использованы

сравнительно активные металлы или электроды катода при электролизе.

Преимущества гидрометаллургических методов:

- избирательность извлечения металлов из бедных и труднообогатимых руд с минимальными затратами реагентов в простой аппаратуре при низких температурах;

- обеспечение комплексной переработки сырья с высоким извлечением всех ценных составляющих и меньшим загрязнением атмосферы по сравнению с пирометаллургическими процессами;

- высокая экономическая эффективность в связи с широким внедрением сорбционных и экстракционных методов извлечения, концентрирования и разделения металлов.

Основными недостатками гидрометаллургических технологий являются: большое количество, разнообразие и громоздкость аппаратуры в связи с большим объёмом растворов; необходимость обезвреживания больших объёмов сточных вод; высокие капитальные затраты на строительство гидрометаллургических цехов.

Подходы и технологии обезвреживания органических отходов

На практике при обезвреживании промышленных отходов и отходов ТБО используют термические методы обработки с получением тепловой и электрической энергии. Однако в подавляющем большинстве таких заводов технологии основаны на процессе прямого сжигания отходов, при котором образуется большое количество токсичных загрязнителей, в том числе дибензодиоксины и дибензофураны. Сокращение выбросов достигается за счёт чрезвычайно сложных и дорогих систем очистки выбросов. Очевидно, что это не самый рациональный путь. Среди перспективных направлений переработки органических отходов следует отметить метод газификации в сверхадиабатическом режиме, включающий газификацию в сверхадиабатическом режиме с получением CO, H₂ и жидких продуктов пиролиза на первой стадии и его последующее сжигание в стандартных устройствах с утилизацией энергии. К достоинствам метода следует отнести возможность использования местных и альтернативных топлив, а также возможность безотходной утилизации разнообразных типов отходов, рекордно высокий энергетический КПД (до 95%), модульный принцип построения технологического про-

цесса, экономическую эффективность и высокую экологическую чистоту процесса.

Хлорорганические отходы требуют специальных технологических решений, так как этот класс органических загрязнений представляет серьёзную угрозу для окружающей среды. Утилизация полихлорбифенилов (ПХБ), относящихся к III классу опасности, путём сжигания невозможна, так как это практически негорючие соединения.

Из-за большого содержания хлора в молекулах ПХБ такие продукты крайне трудно воспламеняемы, а сжигание больших количеств ПХБ приведёт к огромным энергетическим затратам. Полное уничтожение ПХБ происходит только при температурах свыше 2000 °С. При этом образуется хлороводород, обладающий высокой токсичностью и коррозионной активностью. Сгорание ПХБ приводит к образованию супертоксичных продуктов.

При частичном сгорании ПХБ помимо хлороводорода образуются также полихлордибензодиоксины и полихлордибензофураны – сверхвысокотоксичные летучие соединения, обладающие выраженным канцерогенным и мутагенным действием.

Каталитическое гидродехлорирование – новый подход к утилизации галогенсодержащих стойких органических загрязнителей (СОЗ). Использование процессов каталитического гидродехлорирования позволяет существенно уменьшить содержание хлора в полихлорированных органических соединениях (полихлорбензолы, ПХБ). Образующиеся субстраты обладают меньшей токсичностью, а пониженное содержание хлора позволяет утилизировать такие соединения общепринятыми методами. Образующиеся частично хлорированные ароматические соединения могут выступать в качестве полупродуктов тонкого органического синтеза. Применение технологий каталитического гидродехлорирования позволит перерабатывать ПХБ непосредственно в местах их расположения, что исключает дорогостоящую и опасную процедуру транспортировки СОЗ.

При выборе технологий и оборудования используются материалы справочников по наилучшим доступным технологиям, которые могут быть применены к техногенным отходам I и II классов:

- «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»;
- «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)»;

– «Размещение отходов производства и потребления»;

– «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»;

– «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения»;

– «Обработка поверхностей металлов и пластмасс с использованием электролитических или химических процессов» и ряд других.

В перспективе планируется разработка справочника по наилучшим доступным технологиям по обезвреживанию неорганических, ртутьсодержащих и органических отходов I и II классов опасности.

Заключение

Решением экологических проблем промышленных предприятий, вопросами экологического мониторинга утилизации бытовых и некоторых видов промышленных отходов, подготовкой кадров занимаются ведущие технологические университеты страны, включая регионы, где планируется создание экотехнопарков по переработке отходов I и II классов опасности. К таким регионам относятся Саратовская, Кировская, Курганская области и Удмуртская Республика. По инициативе ФГУП «ФЭО» и РХТУ им. Д.И. Менделеева создан Консорциум опорных вузов регионов.

В состав Консорциума, помимо РХТУ им. Д.И. Менделеева, вошли Вятский государственный университет, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., Удмуртский государственный университет, Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, Курганский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Планируется сотрудничество с рядом академических Институтов РАН: Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова», Институтом физической химии и электрохимии им. Фрумкина, Институтом органической химии им. Зелинского, Институтом металлургии Уральского отделения РАН.

Литература

References

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.

2. Конгресс ТЕХНОГЕН – 2017 «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований» [Электронный ресурс] <http://technogen-ural.ru/arhive/technogen-2017/> (Дата обращения: 07.09.2020).

3. Шуленина З.М., Багров В.В., Десятков А.В. Вода техногенная. Проблемы, технологии, ресурсная ценность. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 401 с.

4. Колесников В.А., Меньшуткина Н.В., Десятков А.В. Оборудование, технологии и проектирование систем очистки сточных вод. М.: ДеЛи плюс, 2016. 288 с.

5. Колесников А.В., Ильин В.И., Колесников В.А. Методы очистки сточных вод гальванохимических производств. Ч. 1. Базовые технологии обезвреживания жидких отходов гальванохимической обработки поверхности. Москва: Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. 164 с.

6. Колесников А.В., Ильин В.И., Колесников В.А. Методы очистки сточных вод гальванохимических производств. Ч. 2. Оборудование и технологии обработки воды на промышленных объектах гальванохимического производства. М.: Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. 204 с.

7. Колесников А.В., Давыдкова Т.В., Колесников В.А. Разработка высокоэффективных, ресурсосберегающих технических решений очистки промышленных сточных вод предприятий гальванохимического профиля // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных отходов: Труды конгресса с международным участием и конференции молодых учёных «Техноген-2019». Екатеринбург: УрО РАН Екатеринбург, 2019. С. 550–554.

8. Микроорганизмы как агенты биоремедиации загрязнённых почв / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГУ, 2018. 261 с.

9. Петров В.Г., Трубачев А.В. Перепрофилирование объектов по уничтожению химического оружия в Удмуртской Республике для обезвреживания промышленных отходов. Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2009. 39 с.

10. Акинин Н.И. Техносферная безопасность. Основы прогнозирования взрывоопасности парогазовых смесей. М.: Интеллект, 2016. 248 с.

1. State report “On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018”. Moskva: Minprirody Rossii; NPP “Kadastr”, 2019. 844 p. (in Russian).

2. Congress TECHNOGEN – 2017 “Fundamental research and applied development of the processes of processing and utilization of technogenic formations” [Internet resource] <http://technogen-ural.ru/arhive/technogen-2017/> (Accessed: 07.09.2020). (in Russian).

3. Shuleniina Z.M., Bagrov V.V., Desyatov A.V. Man-made water. Problems, technologies, resource value. Moskva: Publishing house MGTU im. N.E. Baumana, 2015. 401 p. (in Russian).

4. Kolesnikov V.A., Menshutina N.V., Desyatov A.V. Equipment, technologies and design of wastewater treatment systems: monograph. Moskva: DeLi plyus, 2016. 288 p. (in Russian).

5. Kolesnikov A.V., Ilyin V.I., Kolesnikov V.A. Methods of wastewater treatment in galvanochemical production. Ch. 1. Basic technologies for neutralization of liquid waste from galvanochemical surface treatment. Moskva: Izdatel'skiy centr RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2018. 164 p. (in Russian).

6. Kolesnikov A.V., Ilyin V.I., Kolesnikov V.A. Methods of purification of waste water from galvanochemical production. Ch. 2. Equipment and technologies for water treatment at industrial facilities for electroplating. Moskva: Izdatel'skiy centr RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2018. 204 p. (in Russian).

7. Kolesnikov A.V., Davydkova T.V., Kolesnikov V.A. Development of highly efficient, resource-saving technical solutions for the treatment of industrial wastewater from galvanochemical enterprises // Fundamental research and applied development of processes for processing and disposal of industrial waste: Trudy kongressa s mezhduarodnym uchastiem i konferentsii molodykh uchenykh “Tekhnogen-2019”. Ekaterinburg: UrO RAN Ekaterinburg, 2019. P. 550–554 (in Russian).

8. Microorganisms as agents of bioremediation of contaminated soils / Eds. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva. Kirov: VyatGU, 261 p. (in Russian).

9. Petrov V.G., Trubachev A.V. Re-profiling of facilities for the destruction of chemical weapons in the Udmurt Republic for the disposal of industrial waste. Izhevsk: IPM UrO RAN, 2009. 39 p. (in Russian).

10. Akinin N.I. Technosphere safety. Basics of predicting the explosiveness of steam-gas mixtures. Moskva: Intellekt, 2016. 248 p. (in Russian).