

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кундас, С. П. Возобновляемые источники энергии / С.П. Кундас, С.С.Позняк, Л.В. Шенец. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – 390 с.
2. Automatic cleaning system for solar panels and method thereof: par. US 8323421 F24J 2/40 / Lee, Han-Lung Publ. date 29.10.2009. Mode of access: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=8323421.PN.&OS=PN/8323421&RS=PN/8323421>. – Date of access: 04.12.2012.
3. Solar panel cleaning system: par. US 8984704 B08B 1/00 / Saraf, Moshe – Publ. date 07.10.2013. – Mode of access: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=8984704.PN.&OS=PN/8984704&RS=PN/8984704>. – Date of access: 24.03.2015.
4. Photovoltaic panel cleaning machine: par. US 9130502 B08B 11/04 / S.Pamir, Gandhidasan, Palanichamy – Publ. date 15.12.2014. Mode of access: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=9130502.PN.&OS=PN/9130502&RS=PN/9130502>. – Date of access: 08.09.2015.

## ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ TECHNOLOGIES FOR PROCESSING PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS

**Н. А. Конончук, И. П. Наркевич**  
**N. Kononchuk, I. Narkevich**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова, БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kononchuk2012@bk.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведено изучение проблематики использования стойких органических загрязнителей. Рассмотрено влияние стойких органических загрязнителей на окружающую среду. Изучены перспективные методы переработки стойких органических загрязнителей. Выявлено, что для наибольшей эффективности очистки необходимо использование нескольких технологий.

The problem of using persistent organic pollutants has been studied. The influence of persistent organic pollutants on the environment is considered. Advanced methods for processing persistent organic pollutants have been studied. It was found that in order to achieve the highest cleaning efficiency, several technologies must be used.

*Ключевые слова:* стойкие органические загрязнители, технологии по переработке, воздействие на здоровье, окружающая среда.

*Keywords:* persistent organic pollutants, processing technologies, health effects, environment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-379-382>

В последние годы мир столкнулся с такой экологической проблемой, как стойкие органические загрязнители (далее – СОЗ). СОЗ образуются и выделяются в окружающую среду преимущественно в результате деятельности человека и причиняют вред здоровью людей и окружающей среде.

Стойкие органические загрязнители – это класс высоко опасных химических загрязняющих веществ, представляющих собой серьезную глобальную угрозу здоровью человека и окружающей среде. К СОЗ относятся некоторые пестициды, некоторые промышленные химикаты и некоторые непреднамеренно образующиеся побочные продукты, которые формируются во время определенных процессов сжигания и химических процессов. СОЗ широко представлены в окружающей среде во всех регионах мира. Каждый человек содержит в своем организме СОЗ, которые в основном накапливаются в жировых тканях. Организмы большинства рыб, птиц, млекопитающих и других форм дикой природы также загрязнены СОЗ.

Производство и использование СОЗ, а также образование этих загрязнителей в качестве побочных продуктов ведет к широкомасштабному загрязнению окружающей среды. Они способны оказывать свое влияние в течение десятилетий. Попав во внешнюю среду, эти высокотоксичные химикаты способны достигать самых удаленных уголков планеты. Загрязнение принимает повсеместный характер, почва и растения поражаются из-за использования пестицидов, выбросы промышленных предприятий загрязняют водные объекты, сжигание мусора воздействует на воздушную среду. В результате они переносятся на большие расстояния от места выброса или использования.

Отмечена тенденция переноса СОЗ воздушным путем из более теплых регионов планеты в более холодные. Достигнув их, химикаты, как правило, конденсируются и выпадают на поверхность земли в полярных районах — Арктике и Антарктике. Это явление получило название глобальной дистилляции.

СОЗ довольно сильно отличаются от большинства других загрязнителей, которые обычно остаются неподалеку от источников и содержание которых в окружающей среде постепенно уменьшается за счет растворения в других субстратах. СОЗ, наоборот, перемещаются на дальние расстояния и при попадании в экосистемы они переходят по пищевым цепям (вода - водоросли - планктон - рыба - человек; почва - растения - травоядные животные - человек). Таким образом, они накапливаются в тканях млекопитающих, т.е. их конечная концентрация возрастает. Более того, если раньше эффекты в основном проявлялись на животных, то теперь все чаще они наблюдаются у людей. В основном, СОЗ попадают людям вместе с пищей, например, с мясом, рыбой, куриным яйцом и молочными продуктами. Люди, которые живут или работают вблизи источников СОЗ, могут получать их при дыхании. При этом уже ничтожно малое количество токсиканта может вызвать заболевание. В тоже время, эффект от воздействия СОЗ очень часто может быть растянут по времени, что вызывает большие сложности при выявлении причин заболевания. Все чаще эффекты от воздействия СОЗ сказываются не на первом, а на последующих поколениях. Научные исследования подтверждают, что СОЗ вызывают такие заболевания, как: рак, гормональные нарушения, кожные заболевания, в частности, хлоракне, отставания в умственном развитии, нарушение иммунной и репродуктивной систем, диабет, уменьшение периода лактации у кормящих матерей и многие другие.

Среди веществ, относящихся к группе СОЗ наиболее опасными являются диоксины, фураны и полихлорбифенилы (далее – ПХБ). Эти вещества называют «суперэкоотоксикантами». Так, диоксин по своей токсичности превосходит такие известные яды, как стрихнин и кураре.

Для решения проблемы СОЗ в мае 2001 г. в Стокгольме была подписана Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. Кроме того, конвенция определила метод научного анализа, позволивший отнести другие СОЗ к числу опасных веществ. Это первое международное соглашение, нацеленное на прекращение производства и использования некоторых наиболее токсичных веществ в мире. Конвенция обязывает страны приступить к мероприятиям по прекращению производства и использования двадцати одного химического вещества, включенного в конвенцию.

В основу Конвенции о СОЗ положен принцип принятия мер предосторожности, провозглашенный в Рио-Жанейрской декларации. Этот принцип является основой для определения цели Конвенции и для включения в Конвенцию новых веществ. Конвенция о СОЗ направлена на решение глобальных экологических проблем, вызванных действием стойких органических веществ, и предотвращение дальнейшего ущерба здоровью человека и животных. Осуществление Конвенции приведет к тому, что будут пресечены производство и применение СОЗ, ликвидированы запасы СОЗ, и, что особенно важно, будет предотвращено попадание новых СОЗ в окружающую среду. Необходимо отметить, что успешный результат всецело зависит от того, будут ли проведены требуемые мероприятия во всем мире. Особо подчеркнута, что СОЗ представляют проблему не только локально в месте применения, но и распространились уже по всему миру.

26 декабря 2003 г. Президент Республики Беларусь подписал Указ № 594 «О присоединении Республики Беларусь к Стокгольмской Конвенции о стойких органических загрязнителях». Присоединение Беларуси к Конвенции стало основой для разработки и реализации плана действий, направленного на снижение влияния СОЗ на здоровье людей и окружающую среду Беларуси. Согласно Стокгольмской конвенции Беларусь обязана до 2025 года завершить эксплуатацию всего оборудования, содержащего ПХД, а до 2028 года территория нашей страны должна быть полностью очищена от ПХД.

Основными видами отходов, содержащих СОЗ, в Беларуси являются: выведенное из эксплуатации ПХД — содержащее оборудование (силовые конденсаторы и трансформаторы), изъятые грунты, загрязненные ПХД — содержащими жидкостями, а также непригодные пестициды, как идентифицированные, так и в виде не идентифицированных смесей, и загрязненная тара, образовавшаяся при переупаковке таких пестицидов.

ПХД — содержащее оборудование, выведенное из эксплуатации, хранится на специально отведенных площадках (местах хранения, обеспечивающих исключение попадания ПХД в окружающую среду) на территориях предприятий-собственников такого оборудования. Оборудование, находящееся в резерве или эксплуатируемое размещено на подстанциях, в местах эксплуатации. В настоящее время в республике имеется порядка 1100 тонн выведенного из эксплуатации ПХД-содержащего оборудования. Общее количество ПХД – содержащего оборудования (включая действующее) составляет порядка 3700 тонн.

В Беларуси наибольшую проблему среди СОЗ представляют ПХД, которые использовались и продолжают широко использоваться в качестве диэлектриков и охлаждающей жидкости в силовом электрооборудовании в различных сферах хозяйственной деятельности. Кроме того, в Беларуси около 30 лет ПХД использовались в качестве сырьевой добавки при производстве лакокрасочной продукции. Вместе с тем, в отличие от пестицидов, ПХД не рассматривались как опасные загрязнители; как и во многих других странах бывшего СССР, а контроль за использованием ПХД и содержанием в природных компонентах не осуществлялся.

Поскольку до настоящего времени в Республике Беларусь отсутствуют объекты по обезвреживанию экологически безопасным способом выведенного из эксплуатации оборудования и отходов, содержащих ПХД, хранение таких отходов организуется собственниками таких отходов и оборудования на территории предприятия. С привлечением средств международной технической помощи осуществляется вывоз ПХД за пределы Беларуси, на заводы по

обезвреживанию таких отходов. Непригодные пестициды (в том числе СОЗ-содержащие и не идентифицированные смеси) хранятся на складах сельхозпредприятий. Большое количество (примерно 3,4 тыс. тонн) непригодных пестицидов находится в пяти захоронениях, расположенных в Витебской, Могилевской и Гомельской областях.

В настоящее время от СОЗ, как правило, избавляются путем захоронения на полигонах или сжигания при высокой температуре. В некоторых странах разрешена закачка СОЗ в глубокие скважины. В последние годы появилось более двух десятков альтернативных технологий уничтожения, из которых наиболее готовы к реализации плазменные реакторы и газофазная гидрогенизация. Однако сооружение стационарных установок для их применения требует огромных капитальных затрат.

Такой метод, как термическая десорбция основан на физической сепарации и не приводит к деструкции соединений. Отходы нагреваются до момента испарения загрязняющих веществ, а далее транспортируются газом-носителем к системе газоочистки.

Во Франции используют термическое уничтожение ПХБ. В данном случае очистке подвергаются трансформаторы, содержание ПХБ в изоляционных жидкостях которых не выше 2000 ppm, при этом масло подвергается регенерации и в случае соответствия техническим характеристикам используется повторно. Когда масло чрезвычайно сильно загрязнено, оно подвергается инсинерации во вращающихся печах при температуре 1200 °С, с постоянным отбором проб и контролем выброса диоксинов. Трансформаторы также очищаются в автоклавах, при необходимости демонтируются на составные части с последующей утилизацией.

В Китае наибольшее распространение для утилизации СОЗ, в том числе ПХБ, получили методы инсинерации – высокотемпературного сжигания во вращающихся цементных печах, а также термического окисления – разложения молекул до газа или до несжигаемых твердых веществ. Популярен и метод термической десорбции, применявшийся в отношении ДДТ и ПХБ в Пекине и в провинции Чжэцзянь. Этот метод требует тщательного технологического и экологического надзора в связи с риском вторичного загрязнения. Также в отношении медицинских отходов и ПХБ в КНР используется плазменная технология уничтожения, основанная на использовании плазменной дуги.

Для очистки почвы, загрязненной ПХБ, используют специальные технологии отмывки. Загрязненный субстрат смешивается в специальной емкости с водным моющим раствором. В ходе данного процесса моющий раствор регенерируется, а загрязнители концентрируются и прессуются, затем отправляясь на захоронение или полное уничтожение. Этот недорогостоящий метод получил широкое распространение во всем мире. Кроме экономической целесообразности он характеризуется высоким качеством очистки и мобильностью установок. Также, используется и метод биоремедиации в аэробных условиях: внесение микроорганизмов, нутриентов, увлажнение субстрата. Другой популярной технологией очищения территорий, загрязненных ПХБ, является экскавация грунта. В таком случае особенно важны температурные условия, влажность и специальный микробиологический состав.

В Научно-исследовательском институте железнодорожной техники Японии (RTRI) разработан метод утилизации промышленных отходов, содержащих полихлорбифенилы, с помощью ультрафиолетового облучения и микроорганизмов. Дехлорирование с помощью ультрафиолетового облучения предназначено в основном для очистки отработанного трансформаторного масла и конденсата. Завершены лабораторные испытания, для уточнения эффективности метода построена пилотная установка, ведутся исследования его применимости в более широком масштабе. ПХБ легко могут быть дехлорированы химическими реагентами совместно с микрофлорой, но при этом используемые химикаты угнетающе действуют на микроорганизмы и иногда способствуют образованию вредных побочных продуктов. Кроме того, применение химикатов приводит к использованию соответствующего оборудования, что связано с дополнительными расходами. Поэтому японские ученые в качестве оптимального метода дехлорирования выбрали ультрафиолетовое облучение.

В странах Евросоюза получило распространение процесс дегалогенирования натрием, литием и производными (SR). Это периодический процесс. Полученное в результате такой очистки масло подлежит дальнейшей фильтрации и абсорбции активной глиной, а также последующей дегазации, декондиционированию под вакуумом или микрофильтрации. Помимо этого, в ЕС используется дегалогенирование полиэтиленгликолем и гидроксидом калия (KPEG). Этот способ основывается на реакции загрязненного ПХБ масла с жидким реагентом, образованным смешением полиэтиленгликоля и гидроксида щелочного металла. Наибольшая эффективность достигается при малых концентрациях ПХБ.

В итальянском методе дегалогенирования в продолжительном замкнутом контуре (CDP-процесс) используется гранулированный твердый реагент, образуемый смесью полиэтиленгликолей и твердых полипропиленгликолей высокой молекулярной массы. Эта смесь помещается в цилиндрическую колонну дехлорирования. Процесс непрерывен, протекает в замкнутом контуре без слива масла из оборудования, а мощность очистки достигает 2000 литров в час. Степень очистки в ходе такого процесса – до 5 ppm. Эффективность очистки очень высока: 95–97%. Эта технология используется для трансформаторных масел, загрязненных ПХБ, она гарантирует восстановление физических (диэлектрических) и химических свойств масла в соответствии с европейскими стандартами. Существует возможность обработки от 2 до 6 трансформаторов одновременно.

Для очистки масла с ПХБ до 10 ppm используют методы регенерации и обезвреживания. Процесс непрерывен, протекает в замкнутом контуре и состоит из трех этапов. На первом масло осушается под вакуумом до полного удаления воды, растворителей и прочих низкокипящих компонентов, после чего подается в реактор, где контактирует с базовым реагентом. В это время происходит образование солей: ПХБ и кислоты превращаются

в углеводороды и нерастворимые соли, а очищенное масло направляется – при соответствующей необходимости – на кондиционирование. Производительность мобильной установки – до 2000 литров в час. Такие технологии применимы при концентрации ПХБ не выше 10000 ppm. Вопрос очистки внутреннего пространства загрязненных трансформаторов и конденсаторов при этом остается открытым.

Используется на практике и метод автоклавирования – обезвреживания сильно загрязненных ПХБ материалов в вакуумном автоклаве. Данная технология подходит для очистки как трансформаторов, так и других твердых материалов, загрязненных ПХБ.

Наиболее рациональным вариантом в условиях Беларуси является огневая обработка. Также используются окислительный метод обезвреживания негорючих отходов и термохимическое сжигание на основе феномена фильтрационного горения. Разработчик этого метода – ООО «Специализированное предприятие сервисной экологической службы» (г.Москва), технология уже прошла экологическую экспертизу и одобрена Государственным комитетом по охране окружающей среды Московской области.

Метод, уже благополучно реализуемый совместно с ЮНИДО в Азербайджане, – сжигание во вращающейся печи при наличии свободных мощностей на существующих цементных или металлургических заводах также может быть реализован и в Республике Беларусь. К примеру, компания «Байер АГ» (Германия) на одном из предприятий использует две установки по сжиганию опасных отходов, а также установку для сжигания концентрированных жидких отходов с высоким содержанием органических веществ.

Уже сейчас в Беларуси введен запрет на производство ПХБ, осуществляется постепенная замена их альтернативными материалами, ведется разработка безопасных технологий переработки и обезвреживания ПХБ. Перспективным направлением в этой области является их переработка в экологически безопасные продукты посредством щелочного дихлорирования, высокотемпературного сжигания, плазмохимической переработки, фотохимического окисления.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОММУНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «МИНСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН»**

### **ENVIRONMENTAL ACTIVITY OF THE MUNICIPAL TRANSPORT UNITARY ENTERPRISE «MINSK METRO»**

***В. Н. Копиця, Е. О. Савельева***  
***U. Kapitsa, E. Savelyeva***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
evgenia\_savelyeva@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

На основании анализа документации предприятия, рассмотрена экологическая деятельность Минского метрополитена. Проанализировано потребление энергии, ресурсов, уровень воздействия на окружающую среду. Показано, что основным экологическим воздействием предприятия является образование отходов при обслуживании линий метрополитена и при выполнении ремонтных работ на базе двух депо. Анализ показал наличие деятельности предприятия, направленной на снижение экологического воздействия.

Based on the analysis of the enterprise documentation, the environmental activities of the Minsk Metro are considered. The consumption of energy, resources, the level of environmental impact are analyzed. The main environmental impact of the enterprise is the producing of waste when servicing subway lines and performing repairs on the basis of two depots was shown. The analysis showed the presence of enterprise activities aimed at reducing environmental impact.

*Ключевые слова:* транспорт, метрополитен, окружающая среда, экологическое воздействие, энергия, отходы, водопотребление, выбросы, вибрация, шум.

*Keywords:* transport, metro, environment, environmental impact, energy, waste, water consumption, atmospheric emissions, vibration, noise.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-382-385>

Стремительный рост населения и увеличение площади застройки, высокая концентрация промышленных предприятий, развитие транспортных магистралей и, как следствие, возрастание экологической загрязненности – характерные основные признаки больших городов.

Среди больших проблем крупных мегаполисов основной является транспортная. Она связана, в первую очередь, с резким увеличением количества автомобилей и отсутствием достаточного места для стоянки, что приводит к снижению пропускной способности существующих проспектов и улиц.