

В.М. Буренок, доктор технических наук,  
профессор  
В.М. Гавриш, кандидат технических наук

### **Утилизация боеприпасов с использованием биотехнологий<sup>1</sup>**

*Рассмотрена проблема утилизации боеприпасов применительно к Республике Крым. Проанализированы особенности различных способов их промышленной утилизации. Показано, что перспективным для утилизации боеприпасов в этом регионе является применение биотехнологий, которые являются экологически безопасными и рентабельными.*

На арсеналах и складах Министерства обороны Российской Федерации накоплено и хранится большое количество боеприпасов, значительная часть из которых уже физически и морально устарела. К ним относятся авиабомбы, ракеты, морские торпеды, масса взрывчатых веществ в каждой которых достигает сотен и даже тысяч килограммов, а также артиллерийские снаряды, инженерные мины и так далее. Хранение боеприпасов требует значительных бюджетных затрат, большого количества обслуживающего персонала, и главное, вызывает повышение социальной напряженности в местах хранения из-за риска жизни и здоровья населения. Поэтому утилизация боеприпасов является актуальной задачей и для ее решения государство предпринимает значительные усилия, выделяя ресурсы и финансовые средства, формируя и реализуя соответствующие государственные программы.

Особую проблему представляет утилизация боеприпасов, находящихся на территории Республики Крым. Это обусловлено несколькими причинами:

относительной изолированностью Крыма, поскольку вывоз боеприпасов для утилизации в другие регионы России чрезвычайно затруднен;

особенностями Крыма как рекреационной зоны, когда уничтожение боеприпасов экологически опасными способами (подрыв, сжигание и т. п.) недопустим;

наличием огромного количества крайне взрывоопасных боеприпасов, которые не могут быть подвержены традиционной промышленной переработке (боеприпасы времен Великой Отечественной войны, особенно находящиеся в Инкерманских каменоломнях).

Все вышесказанное еще раз было отмечено на совещании по проблемам утилизации вооружения, военной техники и боеприпасов, находящихся на территории Республики Крым и не имеющих перспективы применения, прошедшем в г. Севастополе 18 июня 2018 г. Оно было организовано Российской академией ракетных и артиллерийских наук. На нем присутствовали представители руководящих органов Республики Крым, Военно-морского флота России, Черноморского флота, промышленных предприятий Крыма.

Необходимо отметить, что в соответствии с Решением Комитета Совета Федерации по обороне и безопасности от 14 июля 2015 года Министерству обороны Российской Федерации было рекомендовано проработать вопрос о включении в отдельный раздел федеральной целевой программы «Промышленная утилизация вооружения и военной техники на 2011-2015 годы и период до 2020 года» мероприятий по утилизации ВВТ и боеприпасов, находящихся на территории Южного федерального округа, а также работ, связанных с подъемом и утилизацией судов и боеприпасов, затопленных в акватории прибрежной зоны Республики Крым и города Севасто-

---

1 Статья подготовлена в рамках гранта РФФИ №17-06-0052217.

поля». Однако до сих пор эта проблема остается не решенной. Не в последнюю очередь потому, что остаются непреодоленными названные выше причины, препятствующие ее решению.

При этом решению проблемы также препятствует то, что все государственные структуры видят практически только два способа утилизации: уничтожение (подрыв, сжигание), либо промышленная переработка.

Недостатки уничтожения боеприпасов очевидны и нет необходимости на них останавливаться.

Что касается промышленной переработки боеприпасов, то основными из них являются такие, как:

- извлечение взрывчатого вещества (ВВ) методом теплового воздействия (контактное выплавление паром);
- выплавление расплавом перегретого тринитротолуола (ТНТ), выплавление термическими зондами;
- вымывание нагретыми органическими жидкостями (парафином, церезином);
- извлечение ВВ методом механического воздействия (центрифугирование, вытачивание, вымывание высоконапорной струей рабочей жидкости (гидрорезка);
- извлечение ВВ методом физических воздействий (ультразвуковая резка корпусов, нагрев корпусов токами высоких частот);
- разрушение ВВ водными растворами (с поверхностно-активными веществами).

К недостаткам метода теплового воздействия можно отнести сравнительно большие энергетические затраты, а, следовательно, высокую стоимость утилизации, необходимость удаления остатков тротила на внутренних стенках корпусов, а также отсутствие стабильной и простой технологии переработки самого ВВ, что делает процесс утилизации неполным. Недостатками извлечения ВВ методом механического воздействия являются необходимость подготовительных операций, большая трудоемкость, потребность в специальном оборудовании и приспособлениях, опасность искрообразования, а, следовательно, опасность взрыва. Недостатками извлечения ВВ методом физических воздействий являются необходимость в специальном и дорогом оборудовании, большие энергетические затраты, потребность удаления остатков тротила на внутренних сторонах корпусов, взрывоопасность и отсутствие условий на месте надежной технологии переработки ВВ.

В итоге в области утилизации боеприпасов наметился некий тупик: все названные выше способы неэкологичны и взрывоопасны, нерентабельны, требуют значительных финансовых затрат на реализацию.

В то же время в России и во многих других странах проводились и ведутся исследования, предполагающие использование биотехнологий, которые обладают экологической чистотой, рентабельностью, так как на выходе дают весьма ценный продукт, который может быть реализован на рынке.

Это так называемый способ биологической деструкции при помощи высокоэффективных штаммов микроорганизмов – деструкторов. Преимущество использования микробиологического способа объясняется тем, что участие микроорганизмов в данном методе происходит в естественном цикле круговорота веществ, не оказывая отрицательного влияния на экосистему и не вызывая появления новых загрязняющих агентов в окружающей среде, что наиболее соответствует основным принципам переработки взрывоопасных изделий.

В России (СССР) эти работы ведутся с 80-х годов прошлого века [1]. Созданы теоретические предпосылки промышленного процесса биологической очистки при производстве ароматических нитросоединений. Уже в недавнее время усилиями ученых Российской академии наук

были найдены микроорганизмы, способные усваивать ароматические нитросоединения и нитроанилины, как источники углерода и азота. Наиболее активными оказались бактерии *Pseudomonas denitrificans* и *Escherichia coli*, которые способны перерабатывать сточные воды с концентрацией до 200 мг/л тринитротолуола [2].

Аналогичные исследования проводились в США на одном из производств взрывчатых веществ в г. Holston, где наряду с тринитротолуолом проводились опыты по переработке гексогена, октогена, нитритов и нитратов. На предприятии была разработана технология, включающая стадии нейтрализации, биоденитрификации, биологической обработки в аэробных реакторах, фильтрования и деаэрации.

В Центре по защите окружающей среды Армии США разработана система для процесса регенерации почв, загрязненных взрывчатыми веществами. Результаты анализов и тестов на токсичность подтвердили потенциальную эффективность применения данной технологии, хотя требовалась дополнительная аэробная обработка для снижения концентрации кислорода в почве.

Для очищения почв, загрязненных отходами, рядом авторов также предложена технология компостирования. Исследования показали, что ТНТ может быть удален из загрязненных почв. Для компостирования почвы смешивали реактивы и органические субстраты, которые являлись побочным продуктом сельскохозяйственных процессов (люцерна, опилки, ботва сахарной свеклы и листья). Доказано, что системы компостинга высоко результативны для очищения почв, загрязненных ТНТ. При таких условиях взрывчатые вещества сведены к амино- и диаминонитротолуолам в течение анаэробной фазы. В последующей фазе аэрации удаляются большинство продуктов трансформации, возможно ковалентными соединениями почвы. При тестировании токсичного эффекта этих соединений сточные воды биологически очищенных почв реагировали так же, как незагрязненные нитроароматическими соединениями. Основным недостатком технологии компостирования является долгое инкубационное время, а также отсутствие информации о механизме протекания процесса.

На международных конгрессах «Биотехнология – состояние и перспектива развития», которые состоялись в Москве в 2002-2003 годах, обобщен мировой опыт утилизации и обезвреживания опасных отходов биохимическими методами. Эти методы, основанные на естественной способности бактерий окислять и разлагать большинство самых разных органических и неорганических веществ, отличаются низкими энергетическими расходами в силу того, что микроорганизмы используют для своей жизнедеятельности химические элементы и энергию распада исходных соединений. Рентабельность биотехнологических методов может превышать рентабельность традиционных методов промышленной утилизации в 2-10 раз [2].

Технологиями биопереработки боеприпасов обладают и научные организации, находящиеся в Республике Крым. Так, Научно-образовательным центром «Перспективные технологии и материалы» Севастопольского государственного университета предлагается способ переработки боеприпасов и взрывчатых веществ с помощью уникального набора микроорганизмов, который позволит получать стимуляторы роста и удобрения для растениеводства. Этот способ утилизации боеприпасов позволяет не только экологически безопасно разлагать объект, но и получать на его основе ценные компоненты с перспективой их коммерциализации.

Особенности проводимых Севастопольским госуниверситетом исследований заключаются в следующем:

- разрабатывается технология комплексной переработки боеприпасов, которая позволяет как разрушить корпус, так и переработать содержащееся внутри взрывчатое вещество с получением ценных продуктов;
- исследования особенно актуальны для изделий, имеющих тонкие стенки и большое количе-

ство ВВ – ракеты, торпеды, морские мины, мины и так далее. По существующим правилам безопасности вскрытие таких боеприпасов сопряжено с большими затратами и не всегда возможна их практическая реализация в связи с опасностью самого боеприпаса;

- благодаря технологическим решениям возможно использование технологии с минимальным человеческим участием, что весьма ценно при утилизации опасных боеприпасов;
- на конечном этапе технологической схемы переработки боеприпасов получается несколько товарных продуктов, за счет которых можно не только окупить затраты на реализацию технологии, но и получать дальнейшую прибыль от их коммерциализации.

Еще раз необходимо подчеркнуть, что данная технология обладает такими преимуществами, как безопасность работ для персонала и окружающей среды, получение на конечном этапе товарных продуктов и, как следствие, высокая экономическая эффективность.

Разрабатываемая технология может с успехом применяться для вскрытия морских мин, торпед, ракет, авиабомб крупного калибра, гранат, противопехотных и противотанковых мин в металлических корпусах, утилизации взрывчатых веществ и переработки бронебойных сердечников.

Реализация данной технологии позволит создать новые высокотехнологичные рабочие места на предприятиях, которые будут сочетать в себе высокий уровень безопасности труда рабочих вместе с получением современных конкурентоспособных коммерческих продуктов, таких как удобрения и стимуляторы роста растений.

Следовательно, станет возможным преодоление названных в начале статьи проблем утилизации боеприпасов в Республике Крым, не прибегая к их опасной транспортировке, уничтожению и загрязнению курортной зоны Крыма. Работы, проводимые Севастопольским государственным университетом, являются инициативными. Необходима их государственная поддержка в целях превращения опытных технологий в промышленные, реализуемые широким кругом предприятий страны.

Таким образом, в процессе утилизации боеприпасов необходимо снижение опасного техногенного влияния на окружающую среду и поиск путей экономии энергетических и сырьевых ресурсов, которые становятся все более дорогостоящими и дефицитными, требуется создание новых малоотходных технологий и разработка высокоэффективных экологически безопасных способов переработки отходов. Значительный научный задел в этой области в России создан, необходимо доведение его до уровня промышленных технологий.

#### **Список использованных источников**

1. Наумова Р.П. Микробный метаболизм неприродных соединений. – Казань: Издательство Казанского государственного университета, 1985. – 240 с.
2. Гидридное восстановление 2,4,6-тринитротолуола несовершенными грибами родов CANDIDA и GEOTRICHUM / Материалы XI международной Пущинской школы – конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века». Пущино, 29 октября – 2 ноября 2007 г. – Пущино: Пущинский научный центр РАН, 2007. – С. 51.
3. Дербасова Н.М., Гавриш В.М. Утилизация взрывчатых веществ с использованием биотехнологии / Сборник научных трудов СНИЯЭиП. – Выпуск 16. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2005. – С. 87-96.
4. Материалы III Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития». Часть 2. – Москва, 2003.