



# Теоретическая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

## № 3

**ВЫПОЛНЕНИЕ  
РОССИЕЙ  
КОНВЕНЦИИ  
О ЗАПРЕЩЕНИИ  
ХИМИЧЕСКОГО  
ОРУЖИЯ**

**МЕТОДЫ  
ИССЛЕДОВАНИЙ.  
ПРИБОРЫ И МОДЕЛИ**

**МЕТОДЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ  
ПРИ УНИЧТОЖЕНИИ  
ХИМИЧЕСКОГО  
ОРУЖИЯ**

**МОНИТОРИНГ  
ОБЪЕКТОВ  
ПО УНИЧТОЖЕНИЮ  
ХИМИЧЕСКОГО  
ОРУЖИЯ**

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ**

**ВОПРОСЫ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ  
И МЕДИЦИНСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПЕРСОНАЛА  
ОБЪЕКТОВ**

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ВЫПУСК ЖУРНАЛА, ПОСВЯЩЁННЫЙ НАУЧНЫМ ДОСТИЖЕНИЯМ И РАЗРАБОТКАМ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Российская Федерация, являясь активным участником процесса химического разоружения, вносит наиболее весомый вклад в выполнение взятых на себя международных обязательств

В 2015 году на четырёх действующих объектах по уничтожению химического оружия полностью завершено уничтожение всех хранившихся боеприпасов, содержащих отравляющие вещества.

Успешной реализации ФЦП «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» уже ничто не сможет помешать, её полное завершение – это лишь вопрос времени.



Своевременное завершение процесса полного уничтожения химического оружия на российских объектах имеет не только большое международное значение и является убедительным свидетельством чёткого выполнения Россией своих обязательств перед мировым сообществом в рамках Конвенции, но и служит ярким примером достижения российской науки, техники, технологий по безопасному для населения, окружающей среды уничтожению химического оружия, исполнения ответственного долга военнослужащих перед своим народом.



*Теоретическая  
и прикладная*  
**ЭКОЛОГИЯ**  
№ 3, 2015

**Журнал включён в Перечень ведущих  
рецензируемых научных журналов  
и изданий, в которых должны быть  
опубликованы основные  
научные результаты  
диссертаций на соискание  
учёных степеней доктора и кандидата наук**

**Учредитель журнала**  
**ООО «Издательский дом «Камертон»**  
Главный редактор ООО «ИД «Камертон»,  
д.г.н., профессор Б.И. Кочуров

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

*Главный редактор*  
**Т.Я. Ашихмина**, д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой химии Вятского  
государственного гуманитарного  
университета, зав. лабораторией  
биомониторинга Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН

*Зам. главного редактора*  
**В.В. Гутенёв**, д.т.н., профессор,  
первый зам. председателя Комитета  
Государственной Думы РФ по промыш-  
ленности, лауреат Государственной и  
Правительственной премий РФ

*Зам. главного редактора*  
**С.В. Дёгтева**, д.б.н., директор  
Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН

*Зам. главного редактора*  
**И.Г. Широких**, д.б.н., зав. лабораторией  
биотехнологии растений и микроорганизмов  
Зонального научно-исследовательского  
института сельского хозяйства  
Северо-Востока  
им. Н.В. Рудницкого

*Ответственный секретарь*  
**С.Ю. Огородникова**, к.б.н., доцент,  
старший научный сотрудник  
Института биологии Коми  
НЦ УрО РАН

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННЫХ СОВЕТОВ**

**Н.П. Лавёров** председатель межведомственной комиссии  
при Совете безопасности РФ, вице-президент  
РАН, академик РАН

**ПРЕЗИДИУМ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

**В.А. Грачёв** д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН,  
председатель Общественного совета  
Федеральной службы по экологическому,  
техническому и атомному надзору

**В.И. Холстов** д.х.н., директор Департамента реализации  
конвенционных обязательств Министерства  
промышленности и торговли РФ

**В.Г. Ильницкий** д.э.н., директор ОАО «Научно-исследо-  
вательский проектно-изыскательский  
институт «Кировпроект»

**А.П. Трегуб** к.и.н., директор ФБУ «Государственный  
научно-исследовательский институт  
промышленной экологии»

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

**В.А. Алексеев** д.т.н., профессор Ижевского государственного  
университета

**С.И. Барановский** д.т.н., профессор, академик РЭА,  
заместитель председателя Общественного  
совета «Росатома», председатель  
Российского экологического конгресса

**Л.И. Домрачева** д.б.н., профессор Вятской государственной  
сельскохозяйственной академии

**И.Е. Дубовик** д.б.н., профессор Башкирского  
государственного университета

**Г.П. Дудин** д.б.н., зав. кафедрой биологии растений,  
селекции и семеноводства, микробиологии  
Вятской государственной  
сельскохозяйственной академии

**Г.А. Евдокимова** д.б.н., профессор, заместитель директора  
Института проблем промышленной экологии  
Севера Кольского НЦ РАН

**И.А. Жуйкова** к.г.н., доцент Вятского государственного  
гуманитарного университета

**Г.М. Зенова** д.б.н., профессор Московского  
государственного университета  
им. М.В. Ломоносова

**В.И. Измалков** д.т.н., профессор Военной Академии  
Генштаба МО РФ

**Г.Я. Кантор** к.т.н., научный сотрудник Института биологии  
Коми НЦ УрО РАН

**Э.И. Коломиец** д.б.н., член-корреспондент НАН Беларуси,  
директор Института микробиологии  
национальной академии наук Беларуси

**Л.В. Кондакова** д.б.н., зав. кафедрой экологии Вятского  
государственного гуманитарного университета

**Б.И. Кочуров** д.г.н., профессор, ведущий научный  
сотрудник Института географии РАН

Журнал издаётся при поддержке  
Департамента реализации конвенционных  
обязательств Министерства промышленности  
и торговли РФ в рамках ФПЦ «Уничтожение  
запасов химического оружия в РФ»,  
ФГБОУ ВО «Вятский государственный  
гуманитарный университет»

Издание зарегистрировано  
Федеральной службой по надзору в сфере  
массовых коммуникаций, связи  
и охраны культурного наследия.  
Свидетельство о регистрации  
ПФ № ФС 77-29059

Подписные индексы 82027, 48482  
в каталоге Агентства «Роспечать»

Зарубежная подписка оформляется  
через фирмы-партнёры  
ЗАО «МК-ПЕРИОДИКА» по адресу:  
129110, г. Москва,  
ул. Гиляровского, 39,  
Тел.: (495) 281-91-37, 281-97-63.  
Факс (495) 281-37-98  
E-mail: info@periodicals.ru.  
http://www.periodicals.ru

To effect subscription it is necessary to address to one  
of the partners of JSC «MK-Periodica» in your country  
or to JSC «MK-Periodica» directly. Address: Russia,  
129110, Moscow, 39, Gilyarovsky St.,  
JSC «MK-Periodica»

Статьи рецензируются. Перепечатка без  
разрешения редакции запрещена, ссылки на  
журнал при цитировании обязательны.

Редакция не несёт ответственности  
за достоверность информации,  
содержащейся в рекламных объявлениях

Подготовлен к печати  
в издательстве ООО «О-Краткое»  
610000, г. Киров, Динамовский проезд, 4  
Тел./факс (8332) 32-28-39. E-mail: okrat@okrat.ru

Оригинал-макет, дизайн – Татьяна Коршунова  
Фото – Дмитрий Грибанов

Перевод – Ирина Кондакова  
Выпускающий редактор Мария Зелаева  
© Оформление. Издательство «О-Краткое»  
Директор издательства «О-Краткое»  
Евгений Дрогов

Подписано в печать 25.09.2015. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Печать офс. Бумага офс. Усл.п.л. 17,67.  
Тираж 1000 экз. Заказ № 2529.

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленных материалов  
в ООО «Кировская областная типография»  
610004, г. Киров, ул. Ленина, 2

- 
- В.З. Латыпова** д.х.н., член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, профессор Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина
- Ли Юй** профессор, директор Института микологии Цзилиньского аграрного университета, иностранный член РАН (КНР)
- В.А. Малинников** д.т.н., профессор, проректор Московского государственного университета геодезии и картографии
- А.Г. Назаров** д.б.н., профессор, заместитель председателя Общественного совета «Росатом», директор экологического центра ИИЕТ РАН
- А.Ф. Радченко** руководитель Аппарата ФГУ Общественная палата (вице-президент ОООР «Экосфера»)
- О.Ю. Растегаев** д.х.н., заместитель директора ФБУ «Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии»
- В.П. Савиных** д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор, президент Московского государственного университета геодезии и картографии, лётчик-космонавт, дважды Герой СССР
- Ф. Скапини** д.б.н., профессор Университета Флоренции (Италия)
- В.А. Сысуев** д.т.н., академик Россельхозакадемии, директор Зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого
- В.И. Теличенко** д.т.н., профессор, академик РААСН, ректор Московского государственного строительного университета
- Т.А. Трифонова** д.б.н., профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
- А.И. Фокин** зам. председателя Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии
- М.Х. Хусейн** д.б.н., профессор Университета Ассиут (Египет)
- В.Т. Юнгблюд** д.и.н., профессор, ректор Вятского государственного гуманитарного университета
- 

По вопросам размещения рекламы и публикации статей обращаться:  
610002, г. Киров, ул. Красноармейская, 26,  
тел./факс 8 (8332) 37-02-77.  
E-mail: ecolab2@gmail.com; ecolab@vshu.kirov.ru

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВЫПОЛНЕНИЕ РОССИЕЙ КОНВЕНЦИИ О ЗАПРЕЩЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

- В. И. Холстов* Россия последовательно проводит курс на поддержку всех международных инициатив, направленных на всеобщее разоружение ..... 7
- В. П. Капашин* Уничтожение запасов химического оружия на основе современных российских технологий ..... 10
- В. П. Капашин, В. Д. Назаров, А. Ю. Кармишин, М. В. Ферезанова, И. В. Коваленко* Система средств химического контроля отравляющих веществ при уничтожении химического оружия ..... 14

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПРИБОРЫ И МОДЕЛИ

- В. Г. Мандыч, И. Н. Исаев, К. В. Андреев* Разработка методик измерений массовой доли основного вещества в ГСО состава фосфорорганических отравляющих веществ, основанных на методе газовой хроматографии ..... 19
- И. В. Коваленко, А. М. Смолин, Д. В. Жужельский, Н. Е. Кондратьева* Возможность вольтамперометрического определения высокотоксичных веществ в объектах окружающей среды на металл-полимерных электродах на примере гидразина ..... 23

### МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИ УНИЧТОЖЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

- В. П. Капашин, В. И. Холстов, В. Г. Мандыч, А. Ю. Кармишин, И. В. Коваленко, А. И. Краснянский* Безопасный процесс уничтожения боеприпасов сложной конструкции – от концепции до технологии ..... 29
- Е. Н. Ефременко, И. В. Лягин, Д. А. Гудков, Н. А. Степанов, О. В. Сенько, О. В. Маслова, Д. А. Ковалёв, Н. В. Завьялова, В. И. Холстов, А. А. Янковская* Комбинированное применение ферментного и бактериального биокатализаторов в процессах биодеструкции ФОВ и продуктов их разложения ..... 35
- А. Ю. Кармишин, Т. В. Воробьёв, Е. А. Василькова, И. В. Палагина* Процесс капсулирования водного раствора фторида калия, полученного при разделении реакционной массы, образовавшейся в результате детоксикации рецептуры ВР-55 дегазирующей рецептурой РД-4М ..... 40
- В. С. Романов, С. В. Лимонов* Технологический процесс ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области ..... 43
- Е. Н. Ефременко, В. В. Завьялов, Н. В. Завьялова, В. И. Холстов, А. А. Янковская* Разрыв С-Р связи в фосфонатах под действием ферментных биокатализаторов ..... 47
- В. М. Мухин, Ю. Ф. Таранченко, Т. В. Пиматдинов* Технология получения активных углей на основе уплотнённого растительного сырья ..... 55
- А. С. Туманов, Т. Я. Ашихмина, А. А. Лещенко, И. П. Погорельский, С. А. Шаров, В. В. Тетерин, А. Г. Лазыкин, Г. В. Филимонова, А. В. Ежов, Р. Г. Пермяков* Биопрепарат с расширенным спектром биодеградативной активности для рекультивации почвы объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» ..... 61

### МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

- А. Ю. Кармишин, И. В. Коваленко, Н. Д. Степанов, А. С. Кочкин* Об опыте использования простейших средств химического контроля на объектах по хранению и уничтожению химического оружия ..... 70

<i>И. В. Коваленко, Б. Н. Филатов, Н. Г. Британов, В. В. Клаучек, Н. В. Крылова, Л. А. Доброшенко, А. А. Ватанская</i> Мониторинговые исследования влияния пруда-испарителя на качество подземных вод .....	77
<i>И. А. Балясников, Т. А. Рудакова, Л. Н. Анищенко</i> Биоиндикационные основы экоконтроля состояния сред обитания при утилизации химического оружия с применением лишенобиоты .....	81
<i>Т. Я. Ашихмина, А. С. Тимонов, Г. Я. Кантор, О. Г. Пантелеева, Е. В. Домнина, Е. В. Дабах, С. Ю. Огородникова, Ю. В. Новойдарский, В. А. Титова</i> Изучение воздействия объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» на состояние природных сред и объектов .....	88

## ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ

<i>А. И. Иванов, А. Г. Горохова, А. Е. Клюстер, М. И. Андреева</i> Экологическая ситуация в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта уничтожения химического оружия в пос. Леонидовка Пензенской области на завершающем этапе работы .....	96
<i>А. Ю. Кармишин, Т. В. Воробьёв, А. С. Лякин, И. Н. Исаев, В. Л. Рудь</i> Универсальная рецептура для обезвреживания в ходе ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия .....	100
<i>О. М. Плотникова, Б. И. Кудрин, С. Ю. Максимовских</i> Оценка токсичности битумно-солевых масс, полученных при уничтожении зарины на объекте «Щучье» Курганской области .....	110

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

<i>Б. С. Пункевич, Е. М. Загребин, В. Н. Фокин, И. В. Коваленко</i> Внедрение и сертификация систем экологического менеджмента на объектах по уничтожению химического оружия .....	113
<i>А. Ю. Исаева, В. С. Романов, Ю. А. Белов</i> Различные подходы к рекультивации загрязнённых территорий в рамках выполнения ликвидационных мероприятий на бывших объектах по хранению химического оружия .....	117

## ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ

<i>И. В. Коваленко, Б. Н. Филатов, В. В. Клаучек, Н. Г. Британов, Н. В. Крылова, Л. А. Доброшенко</i> Гигиенические аспекты обеспечения безопасности работ при ликвидации или перепрофилировании опасных химических производств .....	121
<i>С. Л. Ветошкин, О. А. Василенко, С. П. Лось, С. Н. Филь, А. С. Кочкин</i> Выполнение программных мероприятий по охране здоровья персонала объектов по хранению и уничтожению химического оружия, граждан, проживающих и работающих в зонах защитных мероприятий .....	126
<i>Р. В. Хохлов, А. Ю. Кармишин, И. В. Коваленко, Ю. Ф. Таранченко, Е. А. Василькова</i> Система средств индивидуальной защиты, используемых на объектах по уничтожению химического оружия .....	129
<i>Б. Н. Филатов, Н. Г. Британов, Л. А. Доброшенко, В. В. Клаучек, Т. И. Колодий, Н. В. Крылова, С. П. Лось</i> Оценка потенциального риска здоровью населения в районе влияния объекта по уничтожению химического оружия «Камбарка» .....	135

**ХРОНИКА**

IV Всероссийская конференция  
«Химическое разоружение-2015; СЕМДЕТ-2015» ..... 143

**БИБЛИОГРАФИЯ**

В. П. Капашин. Ум, честь и доблесть эпохи химического  
разоружения ..... 146

**CONTENTS****RUSSIA'S  
FULFILLMENT  
OF THE  
CONVENTION ON  
THE PROHIBITION  
OF CHEMICAL  
WEAPONS**

*V. I. Kholstov* Russia sustainably supports all the international  
initiatives of general disarmament ..... 7  
*V. P. Kapashin* Decommission of chemical weapons stores using  
contemporary techniques worked out in Russia ..... 10  
*V. P. Kapashin, V. D. Nazarov, A. Yu. Karmishin, M. V. Ferezanova,  
I. V. Kovalenko* The system of means of chemical control over  
toxic substances during chemical weapons decommission ..... 14

**RESEARCH  
METHODS.  
APPLIANCES  
AND MODELS**

*V. G. Mandych, I. N. Isayev, K. V. Andreev*  
Development of techniques of measuring the basic substance  
mass fraction in the state standard samples of organophosphorus  
agents, based on gas chromatography method ..... 19  
*I. V. Kovalenko, A. M. Smolin, D. V. Zhuzhelsky, N. E. Kondratieva*  
On the possibility of voltammetric determination of highly toxic  
substances in objects of the environment by means  
of metal-polymer electrodes, by the example of hydrazine ..... 23

**METHODS AND  
TECHNOLOGIES  
OF CHEMICAL  
WEAPONS  
DECOMMISSION**

*V. P. Kapashin, V. I. Kholstov, V. G. Mandych, A. Yu. Karmishin,  
I. V. Kovalenko, A. I. Krasnyanskiy*  
Secure process of destructing complex construction  
ammunitio from concept to technology ..... 29  
*E. N. Efremenko, I. V. Lyagin, D. A. Gudkov, N. A. Stepanov,  
O. V. Sen'ko, O. V. Maslova, D. A. Kovalev, N. V. Zavyalova,  
V. I. Kholstov, A. A. Yankovskaya* Combined application of enzymatic  
and bacterial biocatalysts in the processes of biodegradation  
of organophosphorous chemical warfare agents and products  
of their destruction ..... 35  
*A. Yu. Karmishin, T. V. Vorobyov, E. A. Vasilkova, I. V. Palagina*  
The process of encapsulating aqueous potassium fluoride solution  
obtained in separating the reaction mixture formed as a result  
of detoxification of the compound BP-55 with the degassing  
compound RD-4M ..... 40  
*V. S. Romanov, S. V. Limonov* The technological process of  
eliminating the consequences of the work of the storage facility  
and the chemical weapons destruction plant in Pochep  
in Bryansk region ..... 43  
*E. N. Efremenko, V. V. Zavyalov, N. V. Zavyalova, V. I. Kholstov,  
A. A. Yankovskaya* Cleavage of C-P bond in phosphonates  
under the action of enzymatic biocatalysts ..... 47  
*V. M. Mukhin, Yu. F. Taranchenko, T. V. Gimatdinov*  
Technology for producing activated carbons based on compact  
vegetable raw materials ..... 55  
*A. S. Tumanov, T. Ya. Ashikhmina, A. A. Leschenko,  
I. P. Pogorelskiy, S. A. Sharov, V. V. Teterin, A. G. Lazykin,  
G. V. Filimonov, A. V. Yezhov, R. G. Permiakov*  
Bio-preparation with a broad spectrum of bio-degradative  
activity for soil remediation in the chemical weapons  
destruction plant «Maradykovsky» ..... 61

**MONITORING  
CHEMICAL  
WEAPONS  
DECOMMISSION  
PLANTS**

- A. Yu. Karmishin, I. V. Kovalenko, N. D. Stepanov, A. S. Kochkin*  
On the experience of using the simplest means of chemical control chemical weaponson storage and destruction plants ..... 70
- I. V. Kovalenko, B. N. Filatov, N. G. Britanov, V. V. Klauchek, N. V. Krylova, L. A. Dobroschenko, A. A. Vatanaskaya*  
Monitoring studies of the effect of evaporation pond on groundwater quality ..... 77
- I. A. Balyasnikov, T. A. Rudakova, L. N. Anischenko*  
Biological bases of ecocontrol of the status of habitats at the chemical weapons disposal with the use of lichen biota ..... 81
- T. Ya. Ashikhmina, A. S. Timonov, G. Ya. Kantor, O. G. Panteleyeva, E. V. Domnina, E. V. Dabakh, S. Yu. Ogorodnikova, Yu. V. Novoydarskiy, V. A. Titova*  
Research of the impact of the chemical weapons decommission plant 'Maradykovskiy' on the state of natural environment and its objects ..... 88

**ECOTOXICOLOGY**

- A. I. Ivanov, A. G. Gorokhova, A. E. Klyuster, M. I. Andreeva*  
Ecological situation in sanitary protection zone and protective measures zone at the chemical weapons destruction plant in the settlement of Leonidovka in Penza region at the final stage of work ..... 96
- A. Yu. Karmishin, T. V. Vorobyov, A. S. Lyakin, I. N. Isaev, V. L. Rud'* Universal formulation for disinfection during eliminating the effects of chemical weapons storage and destruction plants ..... 100
- O. M. Plotnikova, B. I. Kudrin, S. Yu. Maksimovskikh*  
Evaluation of toxicity of bitumen salt mass obtained by destruction of sarin at the plant «Shchuchye» in Kurgan region ..... 110

**PROVIDING  
ECOLOGICAL  
SAFETY**

- B. S. Punkevich, E. M. Zagrebin, V. N. Fokin, I. V. Kovalenko*  
Implementation and certification of environmental management systems at the chemical weapons destruction plants ..... 113
- A. Yu. Isaeva, V.S. Romanov, Yu. A. Belov* Different approaches to remediation of contaminated areas as a part of liquidation activities at the former chemical weapons storage sites ..... 117

**ISSUES  
OF ECOLOGICAL  
SAFETY AND  
MEDICAL SUPPORT  
OF THE PERSONNEL  
OF THE PLANTS**

- I. V. Kovalenko, B. N. Filatov, V. V. Klauchek, N. G. Britanov, N. V. Krylova, L. A. Dobroschenko* Hygienic security aspects of hazardous chemical productionliquidation or conversion ..... 121
- S. L. Vetoshkin, O. A. Vasilenko, S. P. Los', S. N. Fil', A. S. Kochkin*  
Implementation of programs on health protection of staff of chemical weapons storage and destruction plants, and of the citizens living and working within the areas of protective measures ..... 126
- R. V. Khokhlov, A. Yu. Karmishin, I. V. Kovalenko, Yu. F. Taranchenko, E. A. Vasilkova* The system of personal protective equipment used at the chemical weapons destruction plants ..... 129
- B. N. Filatov, N. G. Britanov, L. A. Dobroschenko, V. V. Klauchek, T. I. Kolodiy, N. V. Krylova, S. P. Los'* Evaluation of the potential health risk in the area of influence of the chemical weapons destruction plant «Kambarka» ..... 135

**CHRONICLE**

- IV All-Russia Conference «Chemical Disarmament 2015; CHEMDET 2015» ..... 143

- V. P. Kapashin. Mind, soul, and consciousness of the age of chemical disarmament ..... 146

## Россия последовательно проводит курс на поддержку всех международных инициатив, направленных на всеобщее разоружение

© 2015. В. И. Холстов, д.х.н., директор,  
Департамент реализации конвенционных обязательств  
Министерства промышленности и торговли Российской Федерации,  
e-mail: holstov@minprom.gov.ru

Россия находится на завершающем этапе уничтожения своих запасов химического оружия. Своевременное завершение процесса полного уничтожения химического оружия на российских объектах, приведение в надлежащее состояние всего комплекса зданий и сооружений, территории для использования в народно-хозяйственных целях имеет не только большое международное значение и является убедительным свидетельством чёткого выполнения Россией своих обязательств перед мировым сообществом в рамках Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении (Конвенция), но и является ярким примером достижений российской науки, техники, технологий по безопасному для населения и окружающей природной среды уничтожению опаснейших суперэкоксидантов, исполнения ответственного долга военнослужащих перед своим народом. Предпринимаемые усилия нашего государства в этой сфере ярко доказывают, что Россия последовательно проводит курс на поддержку всех международных инициатив, направленных на всеобщее разоружение и освобождение своей земли от опасного наследия.

Russia is in the final phase of the destruction of their chemical weapons stockpiles. The timely completion of the complete destruction of chemical weapons at the Russian facilities, bring in the proper state of all of the buildings and facilities, territory to be used in national economic order is not only of great international importance and is a convincing evidence accurate performance of Russia's commitments to the international community in the framework of Convention on the Prohibition of Chemical Weapons. A timely manner completion of the process total destruction chemical weapons at the Russian facilities is an example of the achievements of Russian science, engineering, technology safe for the population, the environment, the destruction of hazardous supercotoxocants; performance of responsible duty soldiers to its people. Efforts of our state in this sphere show that Russia has been consistently pursuing a policy to support all international initiatives aimed at general disarmament and liberation of his land from the past heritage.

**Ключевые слова:** Конвенция, уничтожение химического оружия, завершающий этап, ликвидация последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия.

**Keywords:** convention, destruction of chemical weapons, the final stage, eliminate the effects of objects on destruction of chemical weapons.

Главная цель для всех государств-участников Конвенции – избавление мира от опасности применения химического оружия, одного из самых антигуманных средств ведения войны. Уничтожение химического оружия – сложная и уникальная проблема, связанная, прежде всего, с обеспечением безопасности людей и окружающей среды. Российская Федерация, являясь активным участником процесса уничтожения химического оружия, вносит наиболее весомый вклад в скорейшее достижение этой цели – последовательно выполняет взятые на себя международные обязательства, наращивает объёмы уничтожения химического оружия при строгом соблюдении норм безопасности для населения и окружающей среды [1-6].

Выполнение Россией международных обязательств осуществляется в рамках федеральной целевой программы «Уничтожение

запасов химического оружия в Российской Федерации» (ФЦП). С этой целью в шести регионах было организовано строительство и налажена эксплуатация семи объектов по уничтожению химического оружия: в пос. Горный Саратовской области, г. Камбарка Удмуртской Республики, пос. Мирный Кировской области, пос. Леонидовка Пензенской области, г. Щучье Курганской области, г. Почеп Брянской области и г. Кизнер Удмуртской Республики.

В уничтожении химического оружия России оказали техническую помощь более 16 иностранных государств, в том числе США и страны ЕС. Западные санкции в отношении России не повлияли на работу российских объектов по уничтожению химического оружия, использующих иностранное оборудование и комплектующие. Всё, что требовалось по договорам и контрактам с США и Германией, на российские объекты поставлено.

Российскими учёными, инженерами, военными специалистами разработаны для каждого вида отравляющих веществ специфические, уникальные технологии, которых не было в мировой практике. Данные технологии в оперативном режиме, с соблюдением мер технической и экологической безопасности были апробированы и внедрены на всех семи российских объектах уничтожения химического оружия. Обеспечиваемые руководством Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия в лице генерал-полковника В. П. Капашина и его помощников высокая культура производства, дисциплина в коллективах, слаженная работа всех подразделений на объектах позволили в намеченные сроки выполнить плановые задания по уничтожению запасов химического оружия.

Полное уничтожение химического оружия на объекте «Кизнер» (Удмуртская Республика) в объеме 3,5 тыс. т и в целом всех имевшихся около 40 тыс. т запасов в Российской Федерации планируется завершить не позднее декабря 2020 года. В то время как в США, где общий заявленный запас химического оружия на этапе подписания Конвенции составлял 28 тыс. т на 10 объектах, срок выполнения Программы из-за экономических трудностей продлён до 2023 года.

В рамках выполнения ФЦП в районах размещения объектов по хранению и уничтожению химического оружия было построено множество объектов социальной инфраструктуры. Введены в эксплуатацию сотни жилых домов и общежитий, два десятка школ и дошкольных учреждений с просторными залами, кабинетами, мастерскими, бассейнами, спортивными площадками, построены десятки медицинских учреждений, оснащённых современным медицинским оборудованием, спортивных и культурных объектов, путепровод федерального значения через реку Суру в г. Пензе, газопроводы и водопроводы, проложены сотни километров коммуникаций, автомобильных дорог, реконструированы энергоподстанции, газораспределительные станции и многое другое.

В каждом регионе хранения и уничтожения химического оружия развёрнуты современные поликлинические консультативно-диагностические центры и службы экологического контроля и мониторинга, обеспечившие максимальную открытость и объективность обеспечения безопасности при уничтожении ОВ.

С общественностью, местным руководством, представителями СМИ проводится доверительный откровенный разговор о ходе реализации ФЦП, проблемах и трудностях её

выполнения. Подключены к информационной работе в регионах средства массовой информации. На регулярной основе руководители органов власти, природоохранных служб и ведомств, сотрудники региональных центров государственного экологического контроля и мониторинга, войсковых частей, где действуют объекты по уничтожению химического оружия, принимают участие в проведении круглых столов, встреч с населением, в выступлениях на радио- и телепередачах, в освещении хода реализации ФЦП на страницах местных газет.

При поддержке Департамента реализации конвенционных обязательств Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Научно-исследовательского центра Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия ежегодно издаётся специализированный выпуск общественно-научного журнала «Теоретическая и прикладная экология» тиражом 1500 экземпляров, каждый из которых посвящён самым актуальным темам, проблемам и конкретным результатам реализации ФЦП. На страницах журнала представлены материалы о достижениях в области науки, техники, новых уникальных экологически безопасных технологиях, разработанных и внедрённых российскими учёными, военными специалистами и инженерами на объектах уничтожения химического оружия. Особое внимание отводится освещению хода и результатов производственного контроля, государственного экологического контроля и мониторинга, а также социально-гигиенического мониторинга среды обитания и мониторинга здоровья населения, проживающего на территориях зоны защитных мероприятий объектов хранения и уничтожения химического оружия. Весьма ценным материалом на страницах журнала, особенно в преддверии завершающего этапа уничтожения химического оружия, являются разработки учёных, направленные на создание исходных данных для вывода из эксплуатации и подготовку к работам по ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия; поиск путей вовлечения в хозяйственный оборот металлического лома, солевых отходов, образующихся при термической обработке реакционных масс от фосфорорганических отравляющих веществ; разработку методов и технологий реабилитации загрязнённых территорий. Самое непосредственное участие в подготовке научных публикаций, информационных материалов спецвыпусков журнала принимают как руководство, так и специалисты Департамента

реализации конвенционных обязательств, Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия; учёные Государственного научно-исследовательского института органической химии и технологии, Центрального научно-исследовательского и испытательного института МО РФ, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательского института гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА России, Научно-исследовательского института гигиены, токсикологии и профпатологии ФМБА России, Академии гражданской защиты МЧС России, Института по проектированию производств органического синтеза, органической химии и технологии «Гипросинтез», Государственного научно-исследовательского института промышленной экологии, Федерального научно-технического центра метрологии систем экологического контроля «Инверсия», Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного гуманитарного университета, на базе которого готовится и издаётся журнал. Важность и необходимость издания спецвыпуска журнала «Теоретическая и прикладная экология» заключается в том, что он имеет статус общероссийского общественно-научного журнала, включён в российскую информационную систему РИНЦ, и тем самым каждый житель нашей страны и другого государства имеет возможность ознакомиться с ходом реализации ФЦП.

В настоящее время наша страна завершает уничтожение своих запасов химического оружия. Это очень ответственный этап, так как одновременно с работами по завершению уничтожения химического оружия на объектах предстоит подготовиться к выполнению целого комплекса научно-технических, технологических и природоохранных направлений деятельности на этапе вывода из эксплуатации объектов по хранению и уничтожению химического оружия и обеспечить реализацию мероприятий по ликвидации последствий деятельности объектов. После утверждения федеральной целевой программы «Ликвидация последствий деятельности объектов хранения и уничтожения химического оружия в Российской Федерации на 2016–2022 годы» предстоит выполнить объём очень ответственных работ по приведению в надлежащее состояние территории объектов хранения и уничтожения химического оружия. В связи с этим комплексному обследованию должны быть подвергнуты промышленные сооружения, технические и строительные конструкции, материалы и технологическое оборудование, воздухопроводы с определением для них классов опасности по

загрязнению ОВ и продуктами их деструкции; почва и грунты на технической территории и в промышленной зоне; воздух рабочей зоны в производственных помещениях; отходы, сточные и природные воды с последующей их санацией и реабилитацией. Это обусловлено и тем, что после завершения всех работ по ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия производственные комплексы должны быть вовлечены в хозяйственный оборот страны на основе инвестиционных проектов [6].

Своевременное завершение процесса полного уничтожения химического оружия на российских объектах, приведение в надлежащее состояние всего комплекса зданий и сооружений, территории для использования в хозяйственных целях имеет не только большое международное значение и является убедительным свидетельством чёткого выполнения Россией своих обязательств перед мировым сообществом в рамках Конвенции, но и является ярким примером достижения российской науки, техники, технологий по безопасному для населения и окружающей природной среды уничтожению опаснейших суперэкоотоксикантов; исполнения ответственного долга военнослужащих перед своим народом. Предпринимаемые усилия нашего государства в этой сфере ярко доказывают, что Россия последовательно проводит курс на поддержку всех международных инициатив, направленных на всеобщее разоружение и освобождение своей земли от опасного наследия.

### Литература

1. Холстов В.И. Выполнение Россией обязательств по Конвенции о запрещении химического оружия: состояние и ближайшие задачи // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 4–7.
2. Холстов В.И. О состоянии работ по уничтожению химического оружия в Российской Федерации в 2008 году // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 5–10.
3. Холстов В.И. Уничтожение химического оружия – 3-й этап // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 1. С. 4–11.
4. Kholstov V.I. Chemical Weapons Decommission – the 3d Strage // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 1. С. 12–18.
5. Холстов В.И. Реализация научно-технической политики в области уничтожения химического оружия в Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 5–8.
6. Холстов В.И. Уничтожение запасов химического оружия в России на завершающем этапе // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 8–11.

**Уничтожение запасов химического оружия  
на основе современных российских технологий**

© 2015. В. П. Капашин, д.т.н., начальник,

Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: fubhuho@yandex.ru

Для России в области химического разоружения 2015 год особенный. Завершено уничтожение запасов химического оружия на шести объектах. Впервые в мировой практике на ряде объектов применена технология уничтожения химического оружия, аналогов которой в мире не имелось. Решена сложнейшая проблема уничтожения боеприпасов сложной конструкции. Наиболее опасные стадии (извлечение отравляющего вещества и окончательное уничтожение боеприпасов сложной конструкции в камере подрыва) полностью автоматизированы и выполнены без участия человека. Запущенный механизм ликвидации химического оружия работает без сбоев. В районах, где хранилось и уничтожалось химическое оружие в рамках федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» создана и существенно обновлена социальная инфраструктура.

For Russia in the field of chemical disarmament in 2015 is special. Complete destruction of chemical weapons stockpiles in the six chemical weapons destruction facilities. For the first time in the world on a number of objects of applied technology for destruction of chemical weapons, which is unique in the world there. It solved a difficult problem of the destruction of munitions complex structure. The most dangerous step (removing toxic substance and the final destruction of the elements the fighting the munition in the camera undermining) fully automated and performed without human intervention. Used mechanism elimination of toxic substances works smoothly. In areas where it was stored and destroy chemical weapons in the framework of the federal target program «Destruction of chemical weapons stockpiles in the Russian Federation» was established and significantly updated social infrastructure.

**Ключевые слова:** завершающий этап, технологии уничтожения химического оружия, боеприпасы сложной конструкции, социальная инфраструктура, ликвидация последствий деятельности объектов.

**Keywords:** final stage technology for destruction of chemical weapons, ammunition complex structure, social infrastructure, eliminate the effects of objects.

2015 год является особенным в деле реализации федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» (ФЦП). Осенью на четырёх ныне действующих объектах по уничтожению химического оружия (объект) полностью завершено уничтожение всех хранившихся на них боеприпасов, содержащих отравляющие вещества. С учётом ещё двух объектов, которые ранее уже завершили уничтожение отравляющих веществ, шесть из семи российских объектов по хранению химического оружия полностью очищены от смертоносного оружия.

В ходе реализации ФЦП было построено семь современных предприятий для утилизации супертоксикантов, заключённых в спецоболочки для боевого применения. На каждом из них созданы высокотехнологичные производственные мощности, с высокой степенью автоматизации и компьютеризации, с самыми современными очистными сооруже-

ниями, наличием необходимых логистических и инженерных коммуникаций.

Первый объект был введён в эксплуатацию в пос. Горный Саратовской области в 2002 году. На арсенале хранилось 1,1 тыс. т отравляющих веществ (иприт, люизит и их смеси), которые были полностью и безопасно уничтожены в 2005 году.

На вступившем в строй в 2005 году объекте в г. Камбарка Удмуртской Республики в 2009 году завершено уничтожение 6,4 тыс. т отравляющего вещества люизит.

В 2006 году был введён в эксплуатацию третий объект в пос. Мирный Кировской области, на котором хранились авиационные химические боеприпасы, снаряженные фосфорорганическими ОВ (зарин, зоман, ви-икс) и ипритно-люизитными смесями общей массой 6,9 тыс. т. В сентябре 2015 года на этом объекте уничтожен последний химический боеприпас.

В 2008 году приступил к уничтожению химического оружия объект в пос. Леонидовка

Пензенской области, на котором хранилось 6,9 тыс. т ОВ. В настоящее время все супертоксиканты на данном объекте утилизированы.

В Курганской области, где хранилось 5,5 тыс. т отравляющих веществ, объект по уничтожению химического оружия был введён в эксплуатацию в 2009 году. Последний химический боеприпас на курганской земле уничтожен в сентябре 2015 года.

В 2010 году начались работы по уничтожению химического оружия на самом крупном по запасам ОВ объекте в г. Почеп Брянской области. Хранившиеся на нём 7,5 тыс. т отравляющих веществ в настоящее время уничтожены полностью.

Седьмой объект по уничтожению химического оружия в пос. Кизнер Удмуртской Республики вступил в строй в декабре 2013 года. На данном арсенале хранится 5,7 тыс. т отравляющих веществ в артиллерийских химических боеприпасах. В настоящее время на данном объекте уничтожено около 38 % запасов отравляющих веществ. Объект должен завершить работу по уничтожению химического оружия не позднее декабря 2020 года.

На начальном этапе реализации ФЦП в России не было ни технологий, ни специалистов по промышленному уничтожению химического оружия, не было и самих объектов по уничтожению химического оружия. Раздавались призывы позаимствовать технологии у каких-нибудь развитых стран, но и за рубежом в то время их тоже не было.

Основными приоритетами в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах являлись разработка технологий уничтожения химического оружия, систем промышленной и экологической безопасности, норм и правил осуществления санитарно-эпидемиологического контроля, создание специализированного технологического оборудования. Привлечение к этой работе специалистов ведущих научно-исследовательских учреждений и предприятий промышленности, при непосредственном участии и руководстве специалистов Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, позволило за незначительный промежуток времени разработать уникальные технологии по уничтожению отравляющих веществ, внедрить их в производство и обеспечить безопасное уничтожение высокотоксичных суперэкоксикантов [4-6].

Наряду с этим, российская наука внесла значительный вклад в решение проблемы уничтожения боеприпасов сложной конструк-

ции (БСК) [3]. Впервые в мировой практике отечественными учёными и инженерами под руководством Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия были созданы промышленные технологии уничтожения боеприпасов сложной конструкции. Наиболее опасные стадии (извлечение отравляющего вещества и окончательное уничтожение боеприпасов сложной конструкции в камере подрыва) полностью автоматизированы и выполнены без участия человека. Прочность камеры расснаряжения и камеры подрыва рассчитана с 10-кратным запасом. Одновременно в такой камере может находиться только один боеприпас, что обеспечивает полную безопасность персонала.

Соответствующие технологические линии были введены в эксплуатацию на трёх объектах. В 2012 году специальный комплекс уничтожения БСК был введён в эксплуатацию на объекте по уничтожению химического оружия «Леонидовка» в Пензенской области, аналогичный комплекс в 2013 году введён в эксплуатацию на объекте «Марадыковский» в Кировской области. Последний специальный комплекс по уничтожению БСК был введён в эксплуатацию на объекте по уничтожению химического оружия «Щучье» в Курганской области.

В настоящее время на указанных объектах и объекте «Почеп» ликвидированы все хранившиеся там запасы химического оружия, в том числе и в боеприпасах сложной конструкции. Запущенный механизм уничтожения химического оружия работает без сбоев. На объектах по уничтожению химического оружия трудятся молодые, хорошо подготовленные кадры, имеющие опыт работ в условиях повышенной опасности и строжайшего соблюдения исполнительской и технологической дисциплины.

На всех объектах по хранению и уничтожению химического оружия созданы уникальные, эффективные системы контроля и мониторинга, направленные на обеспечение как технической безопасности процесса уничтожения химического оружия, так и экологической безопасности объекта по отношению к окружающей среде. Созданы и действуют многоуровневые системы производственного контроля и государственного экологического контроля и мониторинга.

В итоге, в настоящее время Россия может сама предоставить современные безопасные технологии уничтожения химического оружия другим странам, у которых ещё не уничтожены запасы боевых отравляющих веществ.

Общая стоимость всех работ в рамках ФЦП составляет 371 млрд. руб. На уничтожение запасов российского химического оружия на сегодняшний день израсходовано порядка 300 миллиардов рублей, менее 10% из этих средств было предоставлено иностранными партнерами (Германией, США, Швейцарией, Голландией, Канадой и другими странами). Безусловно, это огромные средства, израсходованные государством на реализацию конвенционных обязательств. Однако ни в коем случае нельзя считать их потраченными впустую, так как, во-первых, решена чрезвычайно важная политическая задача – уничтожен один из видов оружия массового поражения – химическое оружие; во-вторых часть этих средств инвестированы в строительство социальных объектов.

На развитие социальной инфраструктуры в регионах хранения и уничтожения химического оружия в рамках ФЦП предусматривалось до 10% средств от стоимости каждого из объектов. В районах, где хранилось и уничтожалось химическое оружие, построено более 400 многоквартирных жилых домов, 14 больниц, 22 детских общеобразовательных учреждения, 3 Дома культуры, 3 здания РОВД, Дворец водного спорта, 3 спортивных комплекса, 7 электроподстанций, 11 котельных, 2 полигона ТБО, построено водозаборное сооружение. Проложено сетей: электроснабжения – 10,5 км, водоснабжения – 201,0 км, теплоснабжения – 29,9 км, газоснабжения – 516,0 км. Благоустроено 52,9 км улиц, отремонтировано 155,0 км автомобильных дорог. Возведён самый значимый социальный объект – мостовой переход через железную дорогу и реку Суру длиной более 1,6 км в г. Пензе.

Успешной реализации ФЦП уже ничто не может помешать, её полное завершение – это лишь вопрос времени. Сейчас, на этапе вывода из эксплуатации объектов по уничтожению химического оружия, главной задачей становится проведение работ по обезвреживанию и санации высвободившихся объектов и передача их для репрофилирования инвесторам.

Однако это станет возможным только после выполнения специального комплекса инженерно-технических защитных мероприятий по обезвреживанию и приведению в безопасное состояние зданий, сооружений и технологического оборудования, контактировавшего с отравляющими веществами, санации и рекультивации загрязнённых территорий объектов и т.д. Реализацию этих мероприятий планируется осуществить в рам-

ках федеральной целевой программы «Ликвидация последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия в Российской Федерации на 2016–2022 годы».

Выполнение сложной задачи по ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия Министерство промышленности и торговли Российской Федерации возложило на Федеральное управление. Это отдельное направление деятельности активно развивается с 2011 года и особенную значимость получит в 2016 году – с началом практических работ по ликвидации последствий деятельности.

К настоящему времени проектными организациями уже выполнены значительные объёмы работ в данном направлении. Разработаны ТЭО (проекты) ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия в пос. Мирный Кировской области, пос. Леонидовка Пензенской области, г. Щучье Курганской области и г. Почеп Брянской области. Разрабатывается нормативно-правовая база для вовлечения имущественных комплексов объектов в хозяйственный оборот после ликвидации последствий их деятельности.

Опыт ликвидации последствий деятельности объекта по уничтожению химического оружия в пос. Горный Саратовской области показал, что такие работы будут индивидуальными для каждого объекта. Процесс ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия предусматривает демонтаж и разборку на фрагменты оборудования технологических линий, трубопроводов, разборку некоторых корпусов, в которых проходило непосредственное уничтожение отравляющих веществ, измельчение строительных материалов. Затем все фрагменты оборудования технологических линий, трубопроводов, исходный строительный материал будут подвергнуты обезвреживанию и термической обработке и складированы на специализированных полигонах. Для выполнения этих работ необходимы значительные объёмы финансирования и поддержка со стороны государства.

В соответствии с федеральным законом «Об уничтожении химического оружия» объекты по уничтожению химического оружия являются исключительно федеральной собственностью и управляются в установленном порядке. После приведения в надлежащее состояние их предлагается использовать в

первую очередь для нужд обороны и безопасности страны, а в случае отсутствия такой потребности они будут вовлечены в хозяйственный оборот в интересах регионов их расположения.

### Литература

1. Кондратьев В.Б., Петрунин В.А. О принципах и структуре российских технологий крупнотоннажного уничтожения химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 12–19.

2. Кондратьев В.Б., Шелученко В.В., Корольков М.В., Ратушенко В.Г., Глебов В.С. и др. Особенности расснаряжения и уничтожения артиллерийских химических боеприпасов, снаряжённых люизитом // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 32–35.

3. Капашин В.П., Холстов В.И., Краснянский А.И. Разработка технологии безопасного уничтожения боеприпасов сложной конструкции в снаряжении отравляющими веществами и неизвлекаемыми разрывными зарядами. Монография. М.: ФУ БХ и УХО, 2014. 95 с.

4. Ратушенко В.Г. Технология расснаряжения боеприпасов с отравляющими веществами // Третьи публичные слушания по проблеме уничтожения химического оружия: Тез. докл. Курган. 1997. С. 65.

5. Уткин А.Ю., Холодова В.А., Чеботаев В.В., Куткин А.В., Костикова Н.А. Химия и технология уничтожения «вязкого» люизита // Российский химический журнал. 2007. Т. LI. № 2. С. 19–23.

6. Холстов В.И. Реализация научно-технической политики в области уничтожения химического оружия в Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 5–8.

**Система средств химического контроля отравляющих веществ при уничтожении химического оружия**

© 2015. В. П. Капашин<sup>1</sup>, д.т.н., начальник, В. Д. Назаров<sup>2</sup>, д.т.н., г.н.с.,  
А. Ю. Кармишин<sup>2</sup>, к.т.н., начальник, М. В. Ферезанова<sup>2</sup>, к.т.н., в.н.с.,  
И. В. Коваленко<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.,

<sup>1</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия  
e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье обобщён опыт работ по созданию систем контроля отравляющих веществ (ОВ) при уничтожении химического оружия (ХО). Показано, что облик системы контроля ОВ был сформирован на основе разработки концепции мониторинга ОВ и продуктов их деструкции на объектах по уничтожению ХО и концепции метрологического обеспечения уничтожения ХО и его бывших производств в Российской Федерации. Разработка концептуальных положений основывалась на системе гигиенических нормативов, которые регламентировали предельное содержание основных ОВ в различных объектах производственной и окружающей среды. Разработка и последующее развитие концептуальных основ мониторинга (контроля) ОВ при уничтожении ХО позволили: установить зоны мониторинга (контроля) ОВ, в которых осуществляется непрерывный и периодический контроль; определить номенклатуру средств контроля ОВ; определить основные методы индикации, на основе которых требовалась разработка новых или применение уже существующих средств контроля ОВ.

В статье приведены схемы сложившейся системы средств контроля и мониторинга ОВ и основных методов индикации.

The paper generalizes the experience on creating systems of control over toxic agents (TA) during chemical weapons (CW) destruction. It is shown that the shape of TA control system ОВ was formed on the basis of development of monitoring agents and their degradation products at the chemical weapons decommission plants and the conception of metrological support of CW destruction and former CW production facilities in the Russian Federation. Developing conceptual issues based on a system of hygienic standards, which limit the content of the main TA in different industrial and environmental sites. Working out and further development of conceptual frameworks for TA monitoring during CW decommission helped to set the zones for continuous and periodic TA monitoring; to select the range of TA control means; to identify the main methods of indication, which require the development of new or using the existing means of TA control.

**Ключевые слова:** концепция мониторинга, концепция метрологического обеспечения, обеспечение безопасности, средства контроля отравляющих веществ.

**Keywords:** monitoring conception, meteorological support conception, safety support, means of monitoring toxic agents.

Идеология контроля отравляющих веществ и продуктов их деструкции на объектах по хранению и уничтожению химического оружия основывалась на системном подходе и создавалась специалистами войск радиационной, химической и биологической защиты в тесном сотрудничестве с рядом ведущих научно-исследовательских учреждений Министерства обороны Российской Федерации и промышленности. Основой для разработки концептуальных положений мониторинга отравляющих веществ (ОВ) при уничтожении химического оружия послужила система гигиенических нормативов, которая регламентировала предельное содержание основных отравляющих веществ в раз-

личных объектах производственной и окружающей среды.

В 1998 году эта работа была реализована на основе Концепции мониторинга отравляющих веществ и продуктов их деструкции на объектах по уничтожению химического оружия [1].

Основной задачей разработки концепции являлось определение зон мониторинга (контроля) и спектра решаемых в них задач с учётом установленных требований и гигиенических нормативов содержания ОВ в различных средах окружающей природной среды. Такая постановка задачи непосредственно взаимосвязана с возможностью использования технических средств контроля ОВ.

Концепция мониторинга отравляющих веществ и продуктов их деструкции на объектах по уничтожению химического оружия получила своё развитие в совместной работе специалистов Управления начальника войск РХБ защиты Минобороны России, Госстандарта России, Минздрава России, Минприроды России, МВД России и Росбоеприпасов в разработке Концепции метрологического обеспечения уничтожения химического оружия и его бывших производств в Российской Федерации (введена в действие в 2001 году) [2].

Разработка и последующее развитие концептуальных основ мониторинга (контроля) ОВ при уничтожении химического оружия позволили: установить зоны мониторинга (контроля) ОВ, в которых осуществляется непрерывный и периодический контроль; определить номенклатуру средств контроля ОВ; определить основные методы индикации веществ, на основе которых требовалась разработка новых или применение уже существующих средств контроля ОВ.

Техническая реализация концепции мониторинга показала, что к средствам, предназначенным для оснащения систем мониторинга объектов по уничтожению химического оружия, предъявляются достаточно высокие требования, которые регламентируются санитарными нормами, а также правилами по организации труда в особо опасных условиях [3–6]. В первую очередь это относится к основным показателям по назначению, таким как чувствительность, быстродействие и специфичность. Кроме того, нельзя не учитывать требования, предъявляемые к комплектности, назначению, надёжности, эргономике, технической эстетике и ряду других.

Концептуальные основы мониторинга на объектах по уничтожению химического оружия заложены в систему производственного экологического мониторинга (ПЭМ) и систему производственного контроля безопасности (ПКБ) [7]. Необходимо отметить, что система ПКБ отвечает за важнейшее направление безопасного процесса уничтожения химического оружия – обеспечение безопасности персонала объектов по уничтожению химического оружия. В основу создания и развития идеологии системы ПКБ положены результаты многолетних исследований и опыт работы ведущих специалистов ФГУП «ГосНИИОХТ».

Объектами контроля в системе ПКБ являются [8]: воздух рабочей зоны производственных помещений I группы опасности;

вентиляционные выбросы производственных помещений I группы опасности; поверхность технологического оборудования в помещениях I группы опасности; контейнеры с боеприпасами, поступающие на объект по уничтожению химического оружия.

Критериями для контроля воздуха рабочей зоны (р.з.) являются: содержание ОВ на уровне не более 1 ПДК<sub>р.з.</sub> – для обеспечения контроля выполнения санитарно-гигиенических требований; содержание ОВ на уровне от 100 ПДК<sub>р.з.</sub> и выше – для обеспечения контроля опасных аварийных концентраций (контроля производственных инцидентов).

Критерием для контроля вентиляционных выбросов является содержание ОВ на уровне не более 1 ПДК<sub>р.з.</sub>.

Критерием для контроля чистоты поверхностей технологического оборудования (т.о.) является содержание ОВ на уровне не более 1 ПДУ<sub>т.о.</sub>.

Необходимо отметить, что одним из видов контроля технологического оборудования является контроль его герметичности. Критериальных значений по данному виду контроля не установлено, а решение задачи осуществляется применением быстродействующих газосигнализаторов типа ГАИ и индикаторных красок (покрытий). Для решения этой задачи могут также применяться такие средства как течеискатели (газоопределители).

Критерием по контролю герметичности боеприпасов, поступающих в контейнерах, является содержание ОВ на уровне 1 ПДК<sub>р.з.</sub>.

Таким образом, комплекс технических средств системы ПКБ включает: газосигнализаторы, газоанализаторы, течеискатели, тест-наборы, индикаторные краски, газоопределители и пробоотборные устройства.

Схема сложившейся системы средств контроля ОВ при уничтожении химического оружия представлена на рисунке 1, а основные методы индикации, реализованные в средствах контроля, представлены на рисунке 2.

Непрерывный контроль воздуха рабочей зоны и вентиляционных выбросов на уровне 1 ПДК<sub>р.з.</sub> по ОВ осуществляется применением двух типов средств:

- газоанализаторами «Каскад-5», «Каскад-Г»;
- газосигнализаторами ГСБ, ГСБ-М, ГСБ-МВ, «Терминатор ФОВ-1» и СИП-1 ЛИ.

Данный вид контроля также может осуществляться периодически с использованием пробоотборных устройств ПП-5 «Штиль» и ПП-100 М «Циклон».

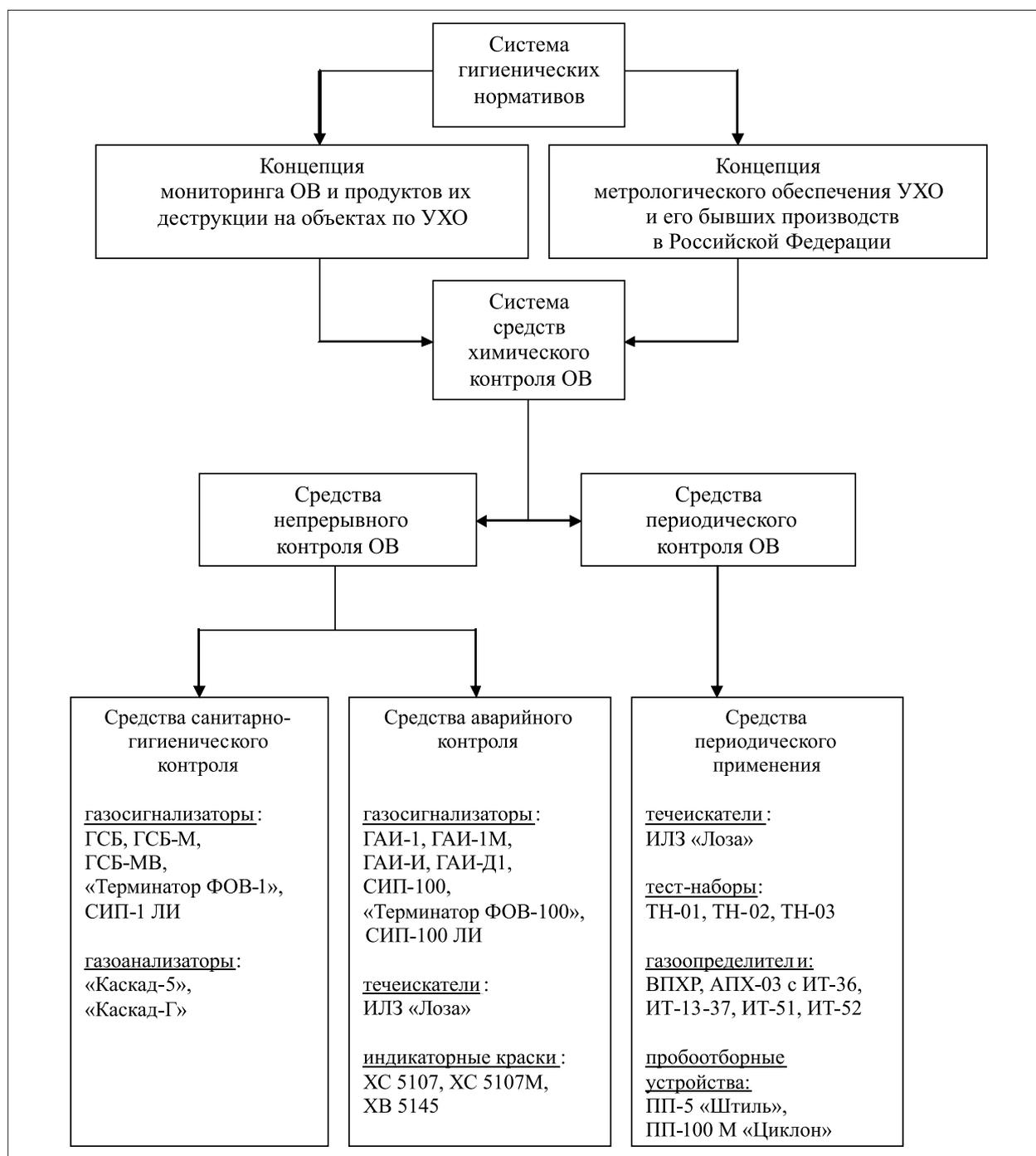


Рис. 1. Система средств химического контроля отравляющих веществ при уничтожении химического оружия.

Непрерывный контроль опасных аварийных концентраций на уровне от 100 ПДК<sub>раз</sub> по ОБ осуществляется газосигнализаторами ГАИ-1, ГАИ-1М, ГАИ-И, ГАИ-Д1, СИП-100, «Терминатор ФОВ-100» и СИП-100 ЛИ.

Периодический контроль чистоты поверхностей технологического оборудования осуществляется применением тест-наборов ТН-01, ТН-02 и ТН-03.

Непрерывный контроль герметичности технологического оборудования осуществляется га-

зосигнализаторами ГАИ-1, ГАИ-1М, ГАИ-И, а также индикаторными красками (покрытиями). Периодический контроль герметичности технологического оборудования может осуществляться течеискателем ИЛЗ «Лоза».

Контроль герметичности боеприпасов, поступающих на объекты по уничтожению химического оружия в контейнерах, осуществляется индикаторными трубками при помощи газоопределителей ВПХР и АПХ-03.

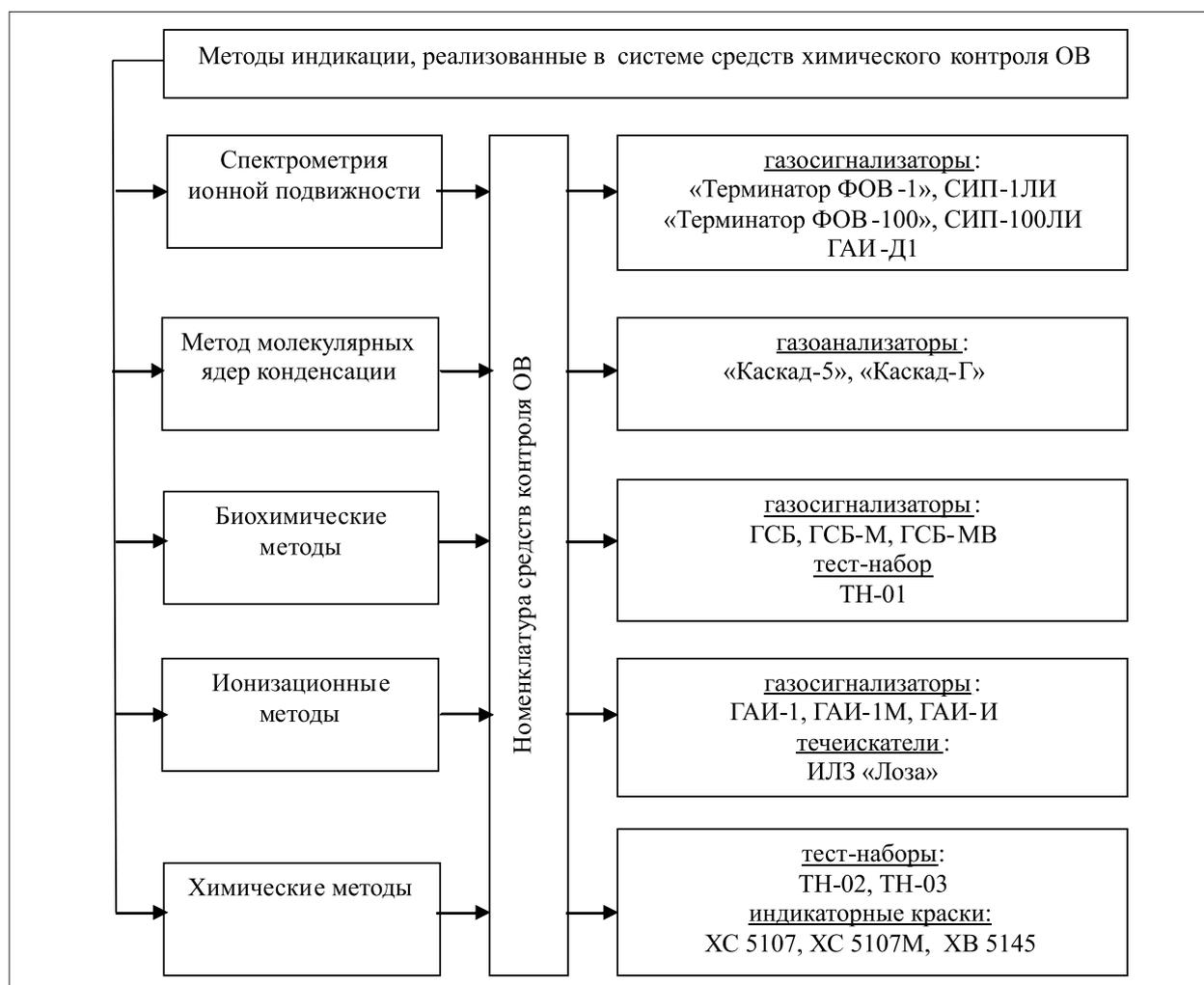


Рис. 2. Методы индикации, реализованные в системе средств химического контроля ОВ.

В системе средств химического контроля ОВ при уничтожении химического оружия не потеряли своей актуальности простейшие средства химического контроля – индикаторные трубки (ИТ). На объектах по хранению и уничтожению химического оружия применяются ИТ-51, ИТ-36 и ИТ-13-37.

С их помощью в основном решаются оперативные задачи по обнаружению ОВ как при хранении химического оружия, так и в технологическом процессе.

Широкое применение ИТ нашли при выполнении работ по уничтожению аварийных химических боеприпасов. Главным образом, для решения задачи химического контроля использовались ИТ-52, обладающие улучшенными характеристиками по чувствительности.

Опыт создания системы контроля ОВ на объектах по уничтожению химического оружия показал, что отечественная промышленность имела необходимые научно-технические ресурсы и производственные мощности, позво-

лившие в кратчайшие сроки разработать и осуществить серийный выпуск необходимой приборной базы для создания системы мониторинга (контроля) ОВ.

Таким образом, на основе концепции мониторинга для обеспечения безопасного процесса хранения и уничтожения химического оружия на объектах действует эффективная система контроля ОВ, отвечающая высоким современным требованиям.

### Литература

1. Концепция мониторинга отравляющих веществ и продуктов их деструкции на объектах по уничтожению химического оружия. М.: УНВ РХБЗ, 1998. 15 с.
2. Концепция метрологического обеспечения уничтожения химического оружия и его бывших производств в Российской Федерации. М.: Госстандарт России, 2001. 36 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». М.: Госстандарт России, 1988, 50 с.

4. Сборник инструктивно-методических документов по проблеме УХО. Отравляющие вещества кожно-нарывного действия. Часть 1. М.: ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве России, 2001.

5. Сборник инструктивно-методических документов по проблеме УХО. Фосфорорганические отравляющие вещества. Часть 2. М.: ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве России, 2001.

6. Сборник инструктивно-методических документов по проблеме УХО. Часть 2. Фосфорорганические отравляющие вещества. Т. 2. М.: Федеральное управление «Медбиоэкстрем» при Минздраве России, 2003.

7. Капашин В.П., Толстых А.В., Назаров В.Д. и др. Научно-технический отчёт «Обоснование исходных данных для проведения работ в зонах защитных мероприятий по хранению и уничтожению химического оружия и созданию системы производственного экологического мониторинга». Ассоциация РОСТ. М. 2000.

8. Коваленко И.В., Комиссаров А.Н. и др. Отчёт о НИР «Анализ и экспертиза приборного обеспечения, разработанного в рамках выполнения Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации», шифр «Хром». М.: НТЦ ФУ по БХУХО, 2003.

## Разработка методик измерений массовой доли основного вещества в государственных стандартных образцах состава фосфорорганических отравляющих веществ, основанных на методе газовой хроматографии

© 2015. В. Г. Мандыч<sup>1</sup>, к.т.н., зам. начальника управления,  
И. Н. Исаев<sup>1</sup>, к.х.н., начальник отдела, К. В. Андреев<sup>2</sup>, м.н.с.,

<sup>1</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
<sup>2</sup>Филиал ФБУ «Федеральное управление по безопасному хранению  
и уничтожению химического оружия при Министерстве промышленности  
и торговли РФ (войсковая часть 70855)» – 1206 объекта по хранению  
и уничтожению химического оружия (войсковая часть 21222),  
e-mail: fubhuho@mail.ru

В работе обоснована актуальность разработки и использования газохроматографических методик измерений массовой доли основного вещества в государственных стандартных образцах состава фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ) с погрешностью, соизмеримой с погрешностью титриметрического метода. Выбраны метод количественной обработки результатов измерений, внутренние стандарты для каждого из ФОВ и рассчитаны поправочные коэффициенты.

The work proves development and employment of gas chromatography procedure for measuring main substance mass fraction in organophosphorus certified reference materials, the measurement accuracy being comparable with titration method accuracy, to be of current interest. Selection of quantitative method for processing results, selection of internal standard and calculation of indexes are shown in the article.

Ключевые слова: фосфорорганические отравляющие вещества, газовая хроматография, государственные стандартные образцы.

Keywords: organophosphorus poisons, gas chromatography, state standard samples.

Определение массовой доли основного вещества в государственных стандартных образцах (ГСО) состава фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ) является важной аналитической задачей, так как в дальнейшем они используются при приготовлении аттестованных смесей и выполнении измерений содержания ФОВ в различных объектах окружающей и техногенной сред [1].

Классическим методом определения массовой доли основного вещества в ГСО состава ФОВ является титриметрический метод. К достоинству титриметрии следует отнести экспрессность, простоту в исполнении. Кроме того, метод не требует проведения предварительной градуировки. Границы относительной погрешности результатов измерений массовой доли основного вещества титриметрическим методом во всём диапазоне измеряемых концентраций с доверительной вероятностью  $P=0,95$  не превышают  $\delta=\pm 4\%$ .

Однако при определении массовой доли основного вещества титриметрическим мето-

дом есть вероятность получения недостоверного результата. Это связано с тем, что одна или несколько основных технологических примесей либо определяются совместно с основным веществом, либо не определяются вообще. В обоих случаях для определения примесей необходимо применять дополнительные методы анализа: или титриметрию (другой титрант), или другие физико-химические методы. При этом приходится анализировать большие навески вещества, что в случае определения массовой доли основного вещества в ГСО состава ФОВ крайне нежелательно. Кроме того, существенно увеличиваются время, трудоёмкость и погрешность анализа.

В связи с вышеизложенным разработка методик измерений массовой доли основного вещества в ГСО состава ФОВ газохроматографическим методом с погрешностью, соизмеримой с погрешностью титриметрического метода, является актуальной задачей.

В настоящее время разработаны методики измерений, определение массовой доли в

которых осуществляется методом газовой хроматографии. По совокупности литературных данных и экспериментальных исследований выявлено, что наиболее приемлемым детектором для этих методик является детектор по теплопроводности.

Количественная обработка результатов производится по методу внутреннего стандарта. Достоинства данного метода заключаются в том, что он не требует воспроизводимого ввода пробы по величине, имеет малую зависимость результатов измерений от нестабильности работы хроматографа и детектора, так как эти факторы в равной степени влияют на определяемое и стандартное соединение. Метод внутреннего стандарта является экономичным, позволяет проводить экспресс-анализ, не требует проведения предварительной градуировки аналитического оборудования. Кроме того, использование данного метода позволяет уменьшить погрешность анализа и, соответственно, её вклад в общую погрешность методики.

Внутренний стандарт, используемый для проведения количественного анализа газохроматографическим методом, должен отвечать следующим требованиям [2]:

1. Внутренний стандарт должен полностью смешиваться с компонентами анализируемой смеси и в химическом отношении быть абсолютно инертным и к компонентам смеси, и к используемым неподвижной и подвижной фазам. Желательно выбирать стандартное вещество из числа соединений, близких к объектам анализа по структуре и молекулярной массе, что исключает возможное неодинаковое влияние условий опыта на параметры пиков стандарта и определяемых соединений.

2. Концентрацию внутреннего стандарта в анализируемой пробе следует подбирать таким образом, чтобы отношение площадей (или других количественных параметров) пиков стандарта и интересующего компонента было близким к единице.

3. В принятых условиях анализа пик внутреннего стандарта должен располагаться на хроматограмме в непосредственной близости от пика объекта анализа, не накладываясь ни на него, ни на пики других веществ.

Важно, чтобы стандарт не содержал примесей, пики которых накладываются на пики определяемых соединений. Поэтому предварительно в тех же условиях контролируют содержание в стандарте нежелательных примесей.

Экспериментально было установлено, что наиболее подходящими внутренними

стандартами являются: для зарина – О,О'-диметилметилфосфонат, для зомана – триэтилфосфат, для вещества типа ви-икс – гексахлорбензол.

В ходе проведения экспериментальных исследований при разработке методик измерений было установлено, что оптимальным является использование кварцевой капиллярной колонки HP-5MS с нанесённой жидкой 95%-ной метил- и 5%-ной фенилсиликоновой неподвижной фазой с параметрами: длина – 30 м, диаметр – 0,32 мм, толщина неподвижной фазы – 0,25 мкм. Кроме того, для предотвращения перегрузки колонки ввод пробы осуществляется в режиме с делением потока 20:1.

Согласно теории метода внутреннего стандарта для каждого вещества при разработке методик был определён поправочный (нормировочный) коэффициент. Для этого готовились смеси внутренних стандартов и ГСО состава определяемых веществ, проводился их анализ на газовом хроматографе, оснащённом детектором по теплопроводности, и на основе полученных площадей пиков были рассчитаны поправочные коэффициенты по формуле:

$$k = \frac{S_{СТ} \cdot m_x \cdot \omega_x}{S_x \cdot m_{СТ} \cdot \omega_{СТ}}$$

где  $S_{СТ}$  – площадь пика внутреннего стандарта, усл. ед.,

$S_x$  – площадь пика анализируемого вещества, усл. ед.,

$m_x$  – масса навески анализируемого вещества, мг,

$m_{СТ}$  – масса навески внутреннего стандарта, мг,

$\omega_x$  – массовая доля основного вещества в ГСО состава анализируемого вещества, %,

$\omega_{СТ}$  – массовая доля основного вещества в ГСО состава внутреннего стандарта, %.

Результаты расчёта поправочных коэффициентов представлены в таблицах 1-3.

Для каждого вещества был рассчитан коэффициент  $k$ , который составил: для зарина – 1,08, для зомана – 1,06, для вещества типа Ви-икс – 0,89.

Для определения массовой доли основного вещества в ГСО состава ФОВ к навеске анализируемого вещества добавляется определённое количество внутреннего стандарта, смесь растворяется в гексане и проводится дальнейший анализ приготовленной пробы на газовом хроматографе, оснащённом детектором по теплопроводности.

С целью уменьшения погрешности, вносимой при взвешивании, масса каждой навески

Таблица 1

Результаты анализа растворов зарина с добавлением внутреннего стандарта

Номер пробы	Площадь пика зарина, $S_{GB}$ , усл. ед.	Площадь пика O,O'-диметилметилфосфоната, $S_{ДММФ}$ , усл. ед.	$S_{ДММФ}/S_{GB}$ , усл. ед.	Коэффициент k
1	149,80	186,70	1,25	1,13
2	132,60	163,70	1,24	1,12
3	146,50	177,90	1,21	1,10
4	152,30	173,70	1,14	1,03
5	147,80	177,30	1,20	1,08
6	153,70	178,00	1,16	1,05
7	153,30	174,90	1,14	1,03
8	152,80	171,30	1,12	0,01
9	149,40	185,10	1,24	1,12
10	148,70	182,50	1,23	1,11
Среднее значение	148,69	177,11	1,19	1,08

Таблица 2

Результаты анализа растворов зомана с добавлением внутреннего стандарта

Номер пробы	Площадь пика зомана, $S_{GD}$ , усл. ед.	Площадь пика триэтилфосфата, $S_{ТЭФ}$ , усл. ед.	$S_{ТЭФ}/S_{GD}$ , усл. ед.	Коэффициент k
1	209,40	273,70	1,31	1,05
2	211,60	279,20	1,32	1,06
3	199,30	262,70	1,32	1,06
4	203,50	270,70	1,33	1,07
5	201,20	270,20	1,34	1,08
6	203,90	270,30	1,33	1,07
7	202,80	271,30	1,34	1,07
8	203,20	263,60	1,30	1,04
9	202,70	267,80	1,32	1,06
10	201,50	267,30	1,33	1,07
Среднее значение	203,91	269,68	1,32	1,06

Таблица 3

Результаты анализа растворов вещества типа Ви-икс с добавлением внутреннего стандарта

Номер пробы	Площадь пика вещества типа Ви-икс, $S_{VX}$ , усл. ед.	Площадь пика гексахлорбензола, $S_{ГХБ}$ , усл. ед.	$S_{ГХБ}/S_{VX}$ , усл. ед.	Коэффициент k
1	156,90	149,40	0,95	0,88
2	153,20	146,90	0,96	0,88
3	156,90	152,80	0,97	0,90
4	156,30	151,90	0,97	0,90
5	156,90	149,70	0,95	0,88
6	155,80	153,20	0,98	0,91
7	179,00	176,00	0,98	0,91
8	175,70	170,20	0,97	0,89
9	180,60	174,40	0,97	0,89
10	183,80	171,90	0,94	0,86
Среднее значение	165,51	159,64	0,96	0,89

должна быть не менее 30 мг. Объем растворителя (гексана), добавляемого к навескам, – не менее 30 см<sup>3</sup>.

Используя полученные значения площадей пиков, массы навесок, а также массовой доли основного вещества во внутреннем стандарте, рассчитывается массовая доля основного вещества в ГСО состава соответствующего

соединения по формуле:

$$\omega = \frac{k \cdot S_{в-ва} \cdot m_{вн.с} \cdot \omega_{вн.с}}{S_{вн.с} \cdot m_{в-ва}}$$

где  $S_{в-ва}$  – площадь пика определяемого соединения, усл. ед.,

$m_{вн.с}$  – масса навески внутреннего стандарта, мг,

$\omega_{\text{вн.с}}$  – массовая доля основного вещества во внутреннем стандарте, % масс,

$m_{\text{в-ва}}$  – масса навески определяемого соединения, мг,

$S_{\text{вн.с}}$  – площадь пика внутреннего стандарта, усл.ед.,

$k$  – нормировочный множитель для определяемого соединения.

Разработанные методики измерений проходят процедуру установления метрологических характеристик, аттестации и внесения в Федеральный реестр.

### Литература

1. Капашин В.П., Пункевич Б.С., Загребин Е.М., Памфилов С.О. Разработка и использование в системах химико-аналитического контроля объектов по уничтожению химического оружия государственных стандартных образцов токсичных химикатов и продуктов их деструкции // Рос. хим. ж. 2007. Т. 51. № 2. С. 118–121.
2. Основы аналитической химии. В 2 кн. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения: Учеб. для вузов / Золотов Ю.А., Дорохова Е.Н., Фадеева В.И. и др. / Под ред. Ю. А. Золотова. – 2-е изд. М.: Высш. шк., 1999. 351 с.

## Возможность вольтамперометрического определения высокотоксичных веществ в объектах окружающей среды на металл-полимерных электродах на примере гидразина

© 2015. И. В. Коваленко<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., А. М. Смолин<sup>2</sup>, аспирант, Д. В. Жужельский<sup>3</sup>, с.н.с., Н. Е. Кондратьева<sup>4</sup>, ассистент,

<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,

<sup>3</sup>Открытое акционерное общество «ГосНИИхиманалит»,

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
e-mail: fubhuho@mail.ru, alexsmolin@himanalit.ru, dmitry@volta.spb.ru, vkondratiev@mail.ru

В статье описаны новые подходы к разработке электрохимических сенсоров для определения гидразина в различных объектах. Отмечается, что в настоящее время существует недостаточное количество официальных методик для анализа гидразина в природных и сточных водах на уровне утверждённых величин ПДК и выявлена необходимость разработки методики определения гидразина с нижним порогом определения близким к ПДК. Предложены электродные сенсоры на основе ансамбля наночастиц палладия в полимерной матрице, позволяющей осуществлять высокочувствительное определение гидразина в составе вольтамперометрического комплекса АВС-1.1. Изучены и подобраны оптимальные условия определения концентрации гидразина, определены диапазоны концентраций для детектирования гидразина. Установлен предел обнаружения гидразина 3 мкг/дм<sup>3</sup> в водных растворах предложенным методом, что близко к величинам ПДК, утверждёнными нормативными документами.

This article describes new approaches for developing of electrochemical sensors for the determination of hydrazine in various samples. It was noted that there are currently insufficient number of formal methods for the qualitative hydrazine analysis in natural and waste waters at a level of limit of detection. Therefore there is need the development of method for hydrazine determining with concentration close to limit of detection. The electrode sensors have been proposed based on the ensembles of palladium nanoparticles in a polymer matrix, which allows highly sensitive hydrazine determination by using voltammetric analyzer АВС 1.1. It was studied and found optimal conditions for determining of hydrazine and linear concentration ranges for hydrazine detection. The detection limit of hydrazine 3 mg/dm<sup>3</sup> in aqueous solutions by proposed method was established, which is close to the values of the limit of detection as approved by environmental regulations.

**Ключевые слова:** гидразин, палладий, сенсор, электрохимический комплекс, модифицированный электрод, вольтамперометрия.

**Keywords:** hydrazine, palladium, sensor, voltammetric analyzer, electrochemical complex, modified electrode, voltammetry.

В настоящее время известно около 20 млн. химических соединений, из которых 60–80 тысяч производятся в промышленном масштабе [1–4]. Загрязнение химическими веществами атмосферного воздуха, воздуха рабочей зоны, питьевой воды и воды водных объектов, почвы даёт основание считать химический фактор одним из ведущих факторов риска для здоровья настоящих и будущих поколений.

Вопросы контроля высокоопасных и опасных веществ в объектах производственной и окружающей природной среды остаются актуальными и в настоящее время. Так, на-

пример, для осуществления мероприятий химико-аналитического контроля содержания различных вредных веществ при уничтожении химического оружия используется более 300 методик измерений. Преобладающими из них являются методики, основанные на использовании газохроматографического метода с применением различных детекторов. Широкое применение также получили и другие методы, такие как титриметрический, ферментативный, ионометрический, фотометрический, капиллярного электрофореза, полярографический и хромато-масс-спектрометрический.

Значительный опыт химико-аналитического контроля высокоопасных веществ, накопленный в ходе выполнения работ по уничтожению запасов химического оружия в Российской Федерации, реализованные методологические и методические подходы указывают на необходимость использования полученных в этой отрасли ценных знаний в целях совершенствования методов экологического контроля и других опасных химических веществ [5]. К числу таких веществ относится гидразин.

Гидразин и его производные являются токсичными веществами, присутствие которых в воде, воздухе и других объектах даже в низких концентрациях опасно для здоровья человека. Поэтому поиск надёжных и простых способов детектирования этих химических веществ представляет важную задачу для создания безопасных условий жизнедеятельности. Это особенно актуально в связи с тем, что гидразин и его производные по-прежнему широко используются в различных областях промышленности, техники, сельского хозяйства [6-8].

Так, гидразин и его алифатические производные широко используются в хозяйственной деятельности человека как ценные химические реагенты в химической промышленности и фармацевтике. Они входят в состав катализаторов, ингибиторов коррозии, выступают как антиоксиданты, эмульгаторы, восстанавливающие агенты, красители питания, а также используется вместо сульфита натрия в котлах в качестве поглотителя кислорода для предотвращения кислородной коррозии.

Гидразин является компонентом высокоэффективного ракетного топлива из-за его высокой восстанавливающей способности и освобождения большой энергии. Он также присутствует в составе компонентов некоторых взрывчатых веществ.

В сельском хозяйстве гидразин и производные по-прежнему используются в составе пестицидов, регуляторов роста растений.

Энергетические блоки тепловых электростанций, работающие в жёстких коррозионных условиях (высокая температура (505–520°С) и давление (14 МПа водяного пара), подвергаются сильной коррозии. В целях увеличения срока эксплуатации энергетических котлов для предотвращения негативного влияния коррозии проводят обескислороживание питательной воды с помощью гидразина [9].

Гидразин относится к веществам первого класса опасности. Гидразин и его производные – высокотоксичные загрязнители окру-

жающей среды, обладают канцерогенным и мутагенным действием. Разбавленные растворы гидразина и его солей губительно действуют на морские водоросли, одноклеточные и простейшие организмы. У млекопитающих гидразин вызывает судороги. В организм животных гидразин и его производные могут проникать многими путями: при вдыхании паров, через кожу или через пищеварительный тракт. Хотя контакт с небольшим количеством гидразина вряд ли причинит значительный вред, однако длительное воздействие его оказывает разрушительное воздействие на внутренние органы (печень, почки) и центральную нервную систему человека.

При надлежащем контроле вероятность неконтролируемой утечки гидразина в окружающую среду невелика, тем более что гидразин быстро разрушается в присутствии кислорода и обнаружение высоких уровней гидразина в окружающей среде маловероятно. Однако длительное воздействие даже малых концентраций гидразина может быть действительно опасным для людей, находящихся в контакте с ним.

Среди существующих методов обнаружения гидразина преобладают экстракционно-хроматографический метод [9], титриметрия [10], кулонометрия [11], спектрофотометрия [12] и электрохимические методы [13–15]. Для определения гидразина в концентрациях близких или ниже ПДК необходим в высшей степени чувствительный метод.

Одним из таких методов детектирования гидразина на уровне низких содержаний в воде и воздухе является использование метода вольтамперометрии и амперометрии на химически модифицированных электродах. Электрохимические сенсоры имеют ряд преимуществ для использования в переносном варианте приборов по определению гидразина и особенно в полевых условиях при анализе объектов окружающей среды.

Адекватность оценки воздействия гидразина на окружающую среду и обеспечения её безопасности определяется используемыми методиками химического анализа. Необходимость их совершенствования вызвана современными требованиями по обеспечению высокого уровня селективности, не допускающего ложно-положительного обнаружения, а также по повышению чувствительности из-за ужесточения санитарно-гигиенических нормативов. Низкая трудоёмкость и экспрессность методик, доступность их широкому кругу лабораторий также должны быть учтены

среди требований к методикам экологического контроля из-за большого объема выполняемых аналитических работ при обследовании значительных по масштабам территорий.

Таким образом, разработка сенсоров по определению гидразина в объектах окружающей среды является важной областью исследования.

Предельно допустимая концентрация гидразина в воде санитарно-бытового назначения составляет  $0,01 \text{ мг/дм}^3$  [6], в воде рыбохозяйственных объектов –  $0,00025 \text{ мг/дм}^3$  [7]. Считается, что для корректного проведения анализа предел определения гидразина по методическому обеспечению должен быть в 2-5 раз ниже ПДК [8]. В настоящее время официальных методик, позволяющих определить гидразин на уровне ПДК, существует ограниченное количество [8].

До недавнего времени в нашей стране определение концентрации гидразина в сточных водах можно было осуществить по отраслевому стандарту Министерства энергетики и электрификации СССР, введённому в 1986 году (ОСТ 34-70-715-85), в соответствии с которым проводится фотокolorиметрическое определение гидразина по интенсивности окраски азина, образовавшегося при его взаимодействии с пара-диметиламинобензальдегидом. Зарубежные методики определения гидразина в природных и сточных водах аналогичны вышерассмотренной методике и имеют нижнюю границу определения гидразина на уровне  $0,005 \text{ мг/дм}^3$ .

Анализ литературных источников показал, что с помощью официальных методик определить ПДК гидразина невозможно, и в том случае, если аналитическая лаборатория не обнаруживает гидразин в пробе, то в протоколе анализа ей необходимо записать: «Концентрация гидразина менее  $0,005 \text{ мг/дм}^3$ ». Поскольку нормативы природоохранного законодательства по содержанию гидразина в сточных водах довольно жёсткие, то природоохранные органы делают вывод о превышении ПДК в 20 раз и налагают на предприятие несправедливый штраф за загрязнение окружающей среды.

Для решения задачи по созданию высокочувствительного способа определения гидразина нами был принят за основу электрохимический метод. Использование электрохимических датчиков является наиболее предпочтительным: конструкция их проста, они технологичны в изготовлении, обладают значительными возможностями по миниатю-

ризации, обладают высокой чувствительностью и воспроизводимостью по сравнению с другими не электрохимическими методами.

Для снятия циклических вольтамперограмм нами использовался анализатор вольтамперометрический АВС-1,1 (ООО «НТФ «Вольта», производство Россия) с вращающимся дисковым электродом (ВДЭ).

Используемый электрохимический комплекс для определения гидразина базируется на основе компьютерного вольтамперометрического анализатора и системы сенсоров/электродов, объединённых в электрохимической ячейке (рис. 1).

В основе комплекса лежит регистрирующий прибор, представляющий собой устройство для измерения вольтамперных характеристик анализируемых проб. Дальнейшая компьютерная обработка полученных вольтамперных кривых позволяет рассчитать содержание определяемых веществ в анализируемой пробе. Важной составной частью прибора является сенсорная часть: вольтамперометрические датчики, основанные на применении нанокompозитных материалов и организация ячейки для проведения измерений.

В основу электрохимического сенсора был положен подход использования стабильных и воспроизводимых наноструктур, а именно – металл-композитных материалов на основе проводящих полимеров [14]. В качестве чувствительного электрода используются дис-



Рис. 1. Электрохимический комплекс для определения гидразина на основе компьютерного вольтамперометрического анализатора и системы сенсоров/электродов, объединённых в единой электрохимической ячейке.

персные частицы металлов, включённые в проводящий полимер, которые можно рассматривать как ансамбль микроэлектродов, что обеспечивает, с одной стороны, их большую активную площадь поверхности, а с другой – повышенную активность и возможность существенной миниатюризации сенсоров в целом. Одновременно такой вариант исполнения сенсора позволяет значительно сэкономить использование благородных металлов (платина, золото, палладий и др.), которые обычно используются в электрохимических сенсорах в виде компактных макроэлектродов.

Электрохимические измерения проводили в стеклянной трёхэлектродной ячейке при комнатной температуре ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Измеряемые потенциалы приводятся относительно хлорсеребряного электрода (х.с.э.) в насыщенном растворе NaCl. Использовалась двухключевая модель электрода ЭСр-10101/4.2 ( $E = 0,202$  В отн. н.в.э.), внешняя оболочка была заполнена 0,1 моль/л раствором  $\text{KNO}_3$ . Скорость развёртки потенциала составляла 50 мВ/с. Электрохимические измерения на вращающемся дисковом электроде были проведены с частотой вращения 1000 об./мин. Во всех измерениях объём фонового раствора в ячейке равен 5 мл. Все концентрации гидразина указываются с учётом разбавления.

В работах [13, 14] было показано, что электрохимически полученные плёнки полимеров с включениями наночастиц палладия оказались достаточно эффективными для окисления гидразина и стабильными электродами, однако их использование осложнено многоступенчатой процедурой получения электродов. Для упрощения этой процедуры нами был использован способ получения водорастворимых дисперсий металл-полимерных композитов PEDOT:PSS/Pd. Получение растворов металл-полимерных композитов является важным практическим результатом. Этот способ позволяет более технологично наносить частицы катализатора на различные, в том числе и на непроводящие, подложки методом распыления или нанесения капли раствора на электрод-подложку. Эта методика приготовления электродов особенно актуальна при широком использовании электродов-сенсоров.

Свойства электродов PEDOT:PSS/Pd были протестированы в растворах фосфатного буфера с различным содержанием гидразина ( $10^{-6}$ – $10^{-4}$  моль/л). Экспериментально было показано, что электрокаталитическое окисление гидразина на электроде на основе поли-3,4-этилендиокситиофена с включениями ча-

стиц палладия в фосфатном буфере (рН 6,86) протекает при потенциале около 0,1 В.

Процесс каталитического окисления гидразина является диффузионно-контролируемым, чувствительность электрохимического отклика композитных плёнок PEDOT:PSS/Pd к перемешиванию раствора была подтверждена на вращающемся дисковом электроде.

В дальнейшем все измерения проводились при скорости вращения электрода 1000 об./мин. При длительном цикле экспериментов наблюдалась хорошая стабильность вольтамперограмм в пределах ограниченного диапазона потенциалов (от  $-0,5$  до  $+0,2$  В), что указывает на отсутствие заметных потерь палладия. Увеличение концентрации гидразина в растворе сопровождалось повышением общего предельного тока, связанного с электроокислением гидразина. Предельные токи были пропорциональны концентрации  $\text{N}_2\text{H}_4$  в диапазоне  $1,0 \times 10^{-7}$  –  $5,2 \times 10^{-5}$  моль/л. Это может служить основой метода электрохимического определения гидразина, который состоит в регистрации токов пика на циклическом вольтамперометре, зависящего от концентрации или измерении токов при постоянном потенциале в области пика.

Для практического анализа более удобно проводить измерения при постоянном потенциале методом амперометрических измерений. Чувствительность электрода PEDOT:PSS/Pd к гидразину была определена этим методом на вращающемся дисковом электроде, при выбранном постоянном потенциале  $E = +0,1$  В, соответствующем предельному току волны окисления гидразина.

На рисунке 2 показана зависимость отклика PEDOT:PSS/Pd (плёнки, полученные из растворов с различными концентрациями ионов  $\text{Pd}^{2+}$ ), на ВДЭ при последовательной добавке гидразина ( $1 \times 10^{-6}$  –  $1 \times 10^{-5}$  моль/л) в 0,2 моль/л фосфатном буферном растворе. Стабильный отклик тока достигался в течение 10 с.

На рисунке 2 видно, что данные хорошо подчиняются линейной зависимости тока от концентрации гидразина во всём исследуемом диапазоне концентраций. Было также установлено, что содержание частиц палладия оказывает существенное влияние на чувствительность электрода. Увеличение общего количества палладия в плёнке приводило к росту чувствительности, достигая насыщения при больших содержаниях палладия в плёнке. Предел обнаружения найден равным 2 мкг/

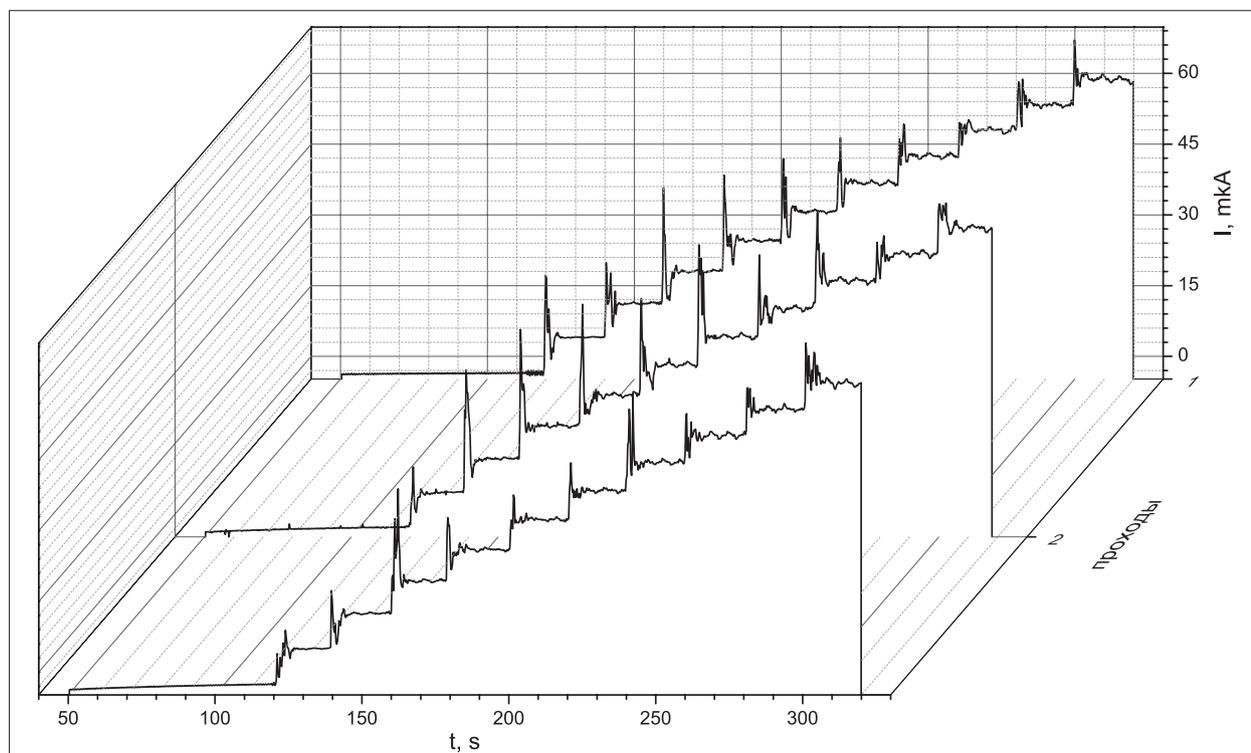


Рис. 2. Воспроизводимость токового отклика электрода PEDOT:PSS/Pd при  $E = 0,1$  В в фосфатном буферном растворе ( $pH=6,86$ ), диапазон концентраций  $N_2H_4 - 1,0 \times 10^{-6} - 1,0 \times 10^{-5}$  моль/л.

Таблица 1

Результаты экспериментального определения гидразина в сточных водах

Номер образца	Введено, мкг/дм <sup>3</sup>	Обнаружено, мкг/дм <sup>3</sup>
1	10	$9,9 \pm 0,8$
2	20	$19,6 \pm 1,3$
3	50	$48,7 \pm 2,4$
4	100	$96,8 \pm 4,6$

дм<sup>3</sup> при соотношении сигнал/шум, равном 3.

Полученное значение является достаточно низким и говорит о том, что предложенный способ электрохимического метода определения гидразина является вполне конкурентоспособным методом контроля содержания гидразина.

Тестирование электродов на многоразовое использование в растворах, содержащих  $1,0 \times 10^{-6} - 1,0 \times 10^{-5}$  моль/л гидразина, показало хорошую воспроизводимость полученных результатов. Результаты экспериментов по определению содержания гидразина в сточных водах приведены в таблице 1.

На модельных растворах было показано, что нижний предел определения гидразина составляет около 2 мкг/дм<sup>3</sup>, что находится на уровне ПДК для гидразина.

Таким образом, разработанный методический подход может являться основой для разработки методики измерения гидразина в

водных объектах на уровне регламентируемых предельно-допустимых концентраций.

### Литература

1. Вредные вещества в промышленности. Справочник. Т. 1. Органические вещества / Под ред. Н. В. Лазарева, Э. Н. Левиной. 7-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1976. 592 с.
2. Вредные вещества в промышленности. Справочник. Т. 2. Органические вещества / Под ред. Н. В. Лазарева, Э. Н. Левиной. 7-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1976. 594 с.
3. Вредные химические вещества в ракетно-космической отрасли: справочник / Под ред. В. В. Уйба. М.: «ФГБУ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, 2011. 405 с.
4. Вредные вещества в промышленности. Справочник. Т. 3. Органические вещества / Под ред. Н. В. Лазарева, Э. Н. Левиной. 7-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1976. 595 с.
5. Растегаев О.Ю., Толоконникова Т.П., Малишевский А.О., Чупис В.Н. Хемосорбционное фотометрическое определение мышьяка в газоздушных средах для целей экологического контроля и мониторинга // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 103–107.
6. СанПИН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. М.:

Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.

7. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1999.

8. Золотов Ю.А. Методология экоаналитического контроля // Журнал аналитической химии. 1999. Т. 54. № 3. С. 229.

9. Гоголашвили Э.Л., Евгеньева И.И., Евгеньев М.И. Гидразин в сточных водах тепловых электростанций: проблемы анализа // Экология и промышленность России. 2006. № 9. С. 40–41.

10. Huamin J., Weiyang H., Erkany W. Amperometric flow-injection analysis of hydrazine by electrocatalytic oxidation at cobalt tetraphenylporphyrin modified electrode with heat treatment // Talanta. 1992. V. 39. P. 45–50.

11. Malaki E.A., Koupparis M.K. Kinetic study of the determination of hydrazines, isoniazid and sodium

azide by monitoring their reactions with 1-fluoro-2,4-dinitrobenzene, by means of a fluoride-selective electrode // Talanta. 1989. V. 36. P. 431–436.

12. Dias F., Olojola A.S., Joselskis B. Spectrophotometric determination of micro amounts of hydrazine and hydroxylamine alone and in the presence of each other // Talanta. 1979. V.26.P. 47–49.

13. Batchelor-McAuley C., Banks C.E., Simm A.O., Jones T.G.J., Compton R.G. A comparison of the use of palladium nanoparticles supported on a boron-doped diamond and palladium plated BDD microdisc array // Analyst. 2006. V.131.P. 106–110.

14. Kondratiev V.V., Babkova T.A., Tolstopjatova E.G. PEDOT-supported Pd nanoparticles as a catalyst for hydrazine oxidation // J. Solid State Electrochem. 2013. V. 17. P. 1621–1630.

15. Алексеенко К.В., Баталов В.Н., Мокроусов Г.М., Мартынова Д.Н. Вольтамперометрическое определение гидразина на стеклоуглеродном электроде в водных растворах // Вестн. Том. гос. ун-та. 2013. № 376. С.192–194.

## Безопасный процесс уничтожения боеприпасов сложной конструкции – от концепции до технологии

© 2015. В. П. Капашин<sup>1</sup>, д.т.н., начальник, В. И. Холстов<sup>2</sup>, д.х.н., директор, В. Г. Мандыч<sup>1</sup>, к.т.н., зам. начальника, А. Ю. Кармишин<sup>3</sup>, к.т.н., начальник, И. В. Коваленко<sup>3</sup>, к.т.н., с.н.с., А. И. Краснянский<sup>4</sup>, генеральный директор,

<sup>1</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>2</sup>Департамент реализации конвенционных обязательств Министерства промышленности и торговли Российской Федерации,

<sup>3</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>4</sup>Открытое акционерное общество Научно-производственное предприятие «Химмаш – Старт»,

e-mail: fubhuho@mail.ru, x-st2008@yandex.ru

В статье рассмотрены этапы разработки концепции и создания технологии уничтожения боеприпасов сложной конструкции (БСК). Приведена принципиальная схема технологической линии уничтожения данного класса химических боеприпасов, которая включает выработку концепции безопасных и эффективных технологий уничтожения БСК (первый этап), разработку технологического оборудования для уничтожения БСК (второй этап) и разработку промышленных технологических линий для уничтожения БСК (третий этап). Технологические линии разборки и уничтожения БСК предложено разместить во вновь возведённых специализированных для этих целей производственных корпусах. Сложность проблемы уничтожения БСК, опыт разработки технологических линий разборки и уничтожения данного типа химических боеприпасов свидетельствует о том, что отечественные предприятия имеют необходимый научно-технический потенциал для решения такой сложной задачи.

The article describes the stages of developing the concept and creating technologies for complex design munitions (CDM) destruction. The schematic diagram of the production line of CDM destruction is shown, it includes developing the concept of safe and effective CDM destruction technologies (the first stage), developing process equipment for CDM destruction (the second stage), and developing industrial production lines for the CDM destruction (the third stage). It is suggested to place the technological lines of decommission and destruction of CDM in the new industrial buildings specialized for this purpose. The complexity of the problem of CDM destruction, the experience in developing technological lines of decommissioning and destructing chemical munitions of this type shows that domestic enterprises have all the necessary scientific and technical equipment for solving this complex problem.

**Ключевые слова:** боеприпасы сложной конструкции, опытный образец, технологическая линия.

**Keywords:** complex construction ammunition, sample, technological line.

Наряду с обычными химическими боеприпасами на объектах хранения находятся боеприпасы сложной конструкции (БСК), которые перед уничтожением требуют разборки в специализированных заводских условиях. Для уничтожения или утилизации составных частей БСК необходима разработка промышленных технологий, проектирование, изготовление специальной оснастки и создание соответствующих производственных мощностей в составе объектов по уничтожению химического оружия (ХО) [1].

Новизна и сложность решаемой проблемы потребовали проведения ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских

работ (НИОКР), направленных на разработку технологий и технологического оборудования для уничтожения БСК.

Результаты выполненных НИОКР позволили разработать новые принципы уничтожения данного класса ХО, использовать их при разработке технологического оборудования, исходных данных на проектирование, а также осуществить проектирование и создание промышленных мощностей по уничтожению БСК [1].

Проблема промышленного уничтожения БСК была решена в несколько этапов.

Боеприпасы сложной конструкции, подлежащие уничтожению, представлены двумя

видами: авиационными боеприпасами и головными частями ракет. Общее количество авиационных боеприпасов составляет 10984 шт., а головных частей ракет – 133 шт. Совокупное содержание отравляющих веществ (ОВ) в БСК – 72,9 т, что составляет 0,18% от всех запасов ОВ в Российской Федерации.

Отличительная особенность БСК от других типов химических боеприпасов состоит в том, что данные боеприпасы являются окончательно снаряжёнными и содержат, помимо ОВ, разрывные заряды и средства инициирования. Конструктивные особенности данных боеприпасов не позволяют извлечь из них разрывные заряды и средства инициирования, что в свою очередь накладывает определённые проблемы на процесс извлечения ОВ из корпуса БСК. Это важное обстоятельство потребовало разработки новых методов, новых безопасных технологий и оборудования для их уничтожения.

Уничтожение БСК является неординарной технической задачей, решаемой впервые в мировой практике. Учитывая значительные сроки хранения данных боеприпасов и специфику их конструктивного исполнения для разработки и реализации процесса уничтожения БСК, необходимо было решить комплекс последовательно выполняемых научно-технических и технологических задач. В этой связи разработка технологии уничтожения БСК осуществлялась в несколько этапов.

### **Первый этап решения проблемы уничтожения БСК. Выработка концепции безопасных и эффективных технологий уничтожения БСК**

Первый этап (2001–2003 гг.) был направлен на обоснование подходов к принципам (концепции) решения задач по выбору безопасных и наиболее эффективных технологий уничтожения БСК. В рамках опытно-конструкторской работы (ОКР) по разработке и созданию промышленного комплекса разборки БСК была обоснована технология уничтожения БСК [1, 2]. Концепция (принципиальная технологическая схема) уничтожения БСК предусматривает следующие основные этапы (стадии) уничтожения изделий: ручная разборка изделий с извлечением из них составных частей, содержащих продукты наполнения и спецхимии; контроль технического состояния взрывателей в составе вкладных элементов; автоматизированное расснаряжение

элементов БСК (извлечение ОВ с дальнейшей его детоксикацией); безопасное тепловое инициирование взрывчатого вещества (ВВ) в расснаряженном элементе БСК (подрыв) и утилизацию продуктов подрыва; уничтожение всех составных частей изделий, содержащих продукты спецхимии, полученных в результате разборки изделий или хранящихся отдельно.

Кроме того, принципиальная технологическая схема предусматривает наличие на объектах по уничтожению БСК мест (помещений), предназначенных для складирования поступающих на уничтожение изделий, их растаривания, изоляции аварийных изделий и элементов, накопителей промежуточного хранения составных частей изделий между стадиями их уничтожения.

На первом этапе отдельно в рамках выполнения ряда научно-исследовательских работ решались задачи, направленные на обеспечение безопасности при проведении погрузочно-разгрузочных работ и транспортировании БСК, а также по организации обучения обслуживающего персонала.

Значительные сроки хранения данных боеприпасов и специфика их конструктивного исполнения потребовали проведения исследований по разработке основ безопасного и эффективного расснаряжения и уничтожения БСК и возможности сокращения технологической цепочки процесса уничтожения БСК, в том числе и аварийных, и повышения безопасности процесса [1, 2].

Полученные результаты исследований использовались при разработке и реализации технологических процессов по подготовке и доставке БСК с объектов по хранению на объекты по уничтожению ХО, а также при разработке и реализации технологических процессов по их уничтожению.

### **Второй этап решения проблемы уничтожения БСК. Разработка технологического оборудования для уничтожения БСК**

Второй этап работ (2004–2008 гг.) был направлен на разработку отдельных узлов технологического процесса уничтожения БСК авиационных химических боеприпасов. Понимая сложность проблемы по утилизации неразборных химических боеприпасов – элементов БСК, имеющих в своём составе ОВ, ВВ и средства инициирования, выявилась необходимость создания взрывной камеры и специального агрегата расснаряжения элементов

БСК. Конструктивные и механические характеристики камеры и агрегата должны были позволять уничтожать этот класс боеприпасов максимально безопасно для обслуживающего персонала и окружающей среды.

Разработка и модернизация опытных образцов камеры уничтожения элементов БСК осуществлялась последовательно в ходе выполнения двух ОКР. Параллельно выполнялась ОКР по разработке опытного образца (ОО) агрегата расснаряжения элементов БСК [2].

Способов уничтожения ХО в мире предложено множество, поскольку эта проблема стоит почти три десятилетия. Проблемой уничтожения ХО занимаются практически все государства, имеющие в своём арсенале этот вид оружия – Великобритания, Германия, Россия, США, Франция, Япония. Патентно-информационный поиск показал, что за рубежом в ряде стран проводятся работы по уничтожению ХО, в том числе методом подрыва. Предложены различные способы уничтожения в зависимости от типа боеприпаса, его содержимого, технического состояния и др.

В Российской Федерации принята так называемая «двухстадийная» технология. На первой стадии вскрывается корпус боеприпаса и из него удаляется ОВ с последующим химическим обезвреживанием в реакторе. Опорожнённый корпус боеприпаса после специальной обработки обжигается и в дальнейшем будет использован как сырьё для металлоперерабатывающих производств.

На второй стадии образовавшаяся в реакторе-дозревателе реакционная масса либо сжигается, либо битумируется с последующим захоронением. По такой же технологии могут быть уничтожены неразборные элементы БСК. При этом имеется особенность – корпус боеприпаса не может быть направлен непосредственно на обжиг из-за наличия в нём взрывателя и заряда взрывчатого вещества, которые могут быть уничтожены практически лишь выжиганием или подрывом.

В результате выполнения ОКР по разработке камеры уничтожения элементов БСК [2] впервые был воплощён в металле опытный образец камеры уничтожения неразборных химических боеприпасов, содержащих ВВ и средства инициирования, и проведены его длительные взрывные испытания с применением макетов элементов БСК.

В технологии уничтожения заложен принцип подрыва боеприпаса, предварительно освобождённого от ОВ, при его разогреве в индукционном нагревателе. Нагреватель од-

новременно выполняет функцию защитного устройства для стенок камеры от осколков и большей части энергии взрыва.

Опытный образец камеры уничтожения элементов БСК представляет собой горизонтально расположенную цилиндрическую ёмкость, выполненную из аустенитной стали 08X18H10T, внутри которой находится нагреватель индукционный, предназначенный для разогрева элемента до температуры, при которой происходит взрыв или выгорание ВВ. На плоских боковых стенках камеры имеются проёмы, закрываемые шиберными устройствами, для загрузки элемента на уничтожение и выгрузки оставшихся осколков и фрагментов.

Однако результаты выполненной ОКР выявили необходимость модернизации камеры уничтожения элементов БСК. Решение данной задачи было осуществлено в рамках ОКР по модернизации камеры уничтожения элементов БСК [2]. Особенности модернизированной камеры являются: изготовление корпуса камеры из коррозионностойкой стали; изготовление эллиптических днищ; использование стационарного индукционного нагревателя; использование съёмного локализатора; использование подвижного отбойника; осуществление выгрузки осколков в нижней части корпуса камеры; увеличение диаметра шибера для выгрузки осколков; использование конуса для выгрузки осколков.

Новая конструкция камеры обеспечивала защиту стенок от осколков, свободную выгрузку осколков, доступность к внутренним устройствам для обслуживания, ремонта и дегазации.

Параллельно с решением проблем уничтожения элементов БСК в камере уничтожения в рамках ОКР по разработке ОО агрегата расснаряжения элементов БСК отработывалась технологически сложная задача по извлечению отравляющего вещества из корпуса элементов БСК с учётом требований максимального обеспечения безопасности проводимых работ и обслуживающего персонала [2].

Агрегат расснаряжения (АР) элементов БСК является одной из основных и наиболее важных составных частей линии разборки и уничтожения БСК и предназначен для удаления отравляющего вещества из корпуса элемента, промывки последнего, взвешивания и передачи в камеру уничтожения. Он является автоматическим, однопозиционным, прямооточного типа со штанговым толкателем и образован последовательным соединением

камеры расснаряжения (КР), установки взвешивания и подъёма и толкателя штангового.

Подлежащий расснаряжению элемент подаётся в камеру расснаряжения штанговым толкателем конвейера поточной линии к входному шиберу КР. Открываются входной и выходной шиберы КР, и элемент посредством штангового толкателя конвейера перемещается на подвижную платформу внутри КР. Далее платформа опускается в ванну, элемент заходит в гнездо и зажимается в позиции сверления. Начинается процесс сверления, то есть вскрытие корпуса элемента. Сверлятся две пары диаметрально расположенных отверстий. Из элемента в ванну истекает ОВ и смешивается с реакционной массой (РМ). Для ускорения этого процесса подвижная платформа совершает несколько ходов «вверх-вниз» с выстоем вверху и внизу для слива и заполнения корпуса элемента БСК.

Окончательная очистка внутренней полости элемента осуществляется в верхнем положении платформы, когда к элементу примыкают присоски трубопровода подачи реакционной массы во внутреннюю его полость для промывания струёй РМ. После этого внутренняя полость элемента продувается азотом.

Процесс расснаряжения на этом считается завершённым. Далее открываются шиберы КР и опорожнённый элемент штанговым толкателем конвейера поточной линии автоматически перемещается на весовое устройство. Одновременно на подвижную платфор-

му КР подаётся следующий (не расснаряжённый) элемент.

На весовом устройстве происходит взвешивание элемента с целью контроля полноты эвакуации ОВ и наличия остатков РМ.

Затем элемент БСК посредством двухпозиционного транспортера переносится от КР к платформе подъёмника для подачи (подъёма) подлежащего уничтожению элемента на уровень загрузочного проема камеры уничтожения. После подъёма элемент перемещается штанговым толкателем агрегата расснаряжения в камеру уничтожения, где происходит его подрыв.

### Третий этап решения проблемы уничтожения БСК. Разработка промышленных технологических линий для уничтожения БСК

На третьем этапе (2008–2013 гг.), используя результаты завершённых на первых двух этапах работ, была осуществлена разработка технологической линии уничтожения БСК авиационных химических боеприпасов.

Отработка параметров технологического процесса разборки БСК, расснаряжения и уничтожения их элементов в едином технологическом цикле последовательно осуществлялась в ходе выполнения двух ОКР: ОКР по разработке технологической линии разборки и уничтожения БСК на объекте по уничтожению

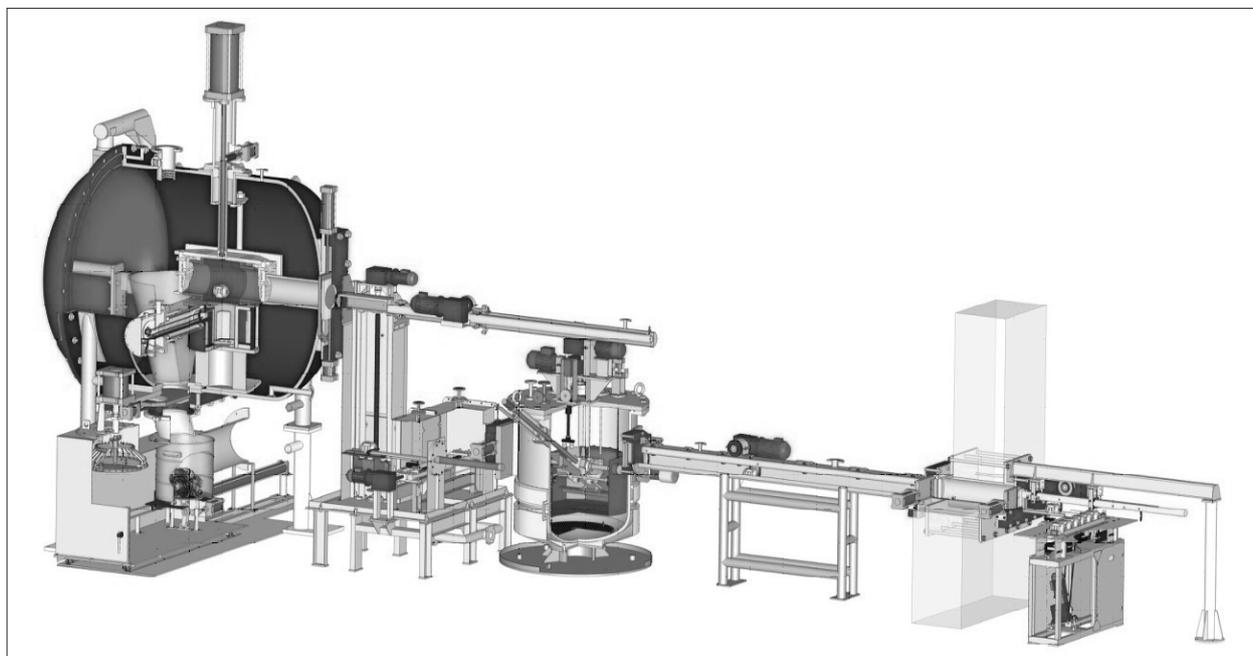


Рис. Принципиальная схема технологической линии разборки и уничтожения элементов БСК (без комплекта технологического оборудования разборки БСК)

химического оружия в пос. Марадыковский Кировской области и ОКР по модернизации технологической линии разборки и уничтожения БСК [2].

Созданный впервые в мире опытный образец технологической линии разборки и уничтожения БСК (ТЛ РУ БСК) был подвергнут всесторонним испытаниям, которые завершились в 2010 году.

Принципиальная схема технологической линии разборки и уничтожения БСК представлена на рисунке. В состав технологической линии разборки и уничтожения БСК входят: комплект технологического оборудования разборки БСК; система подачи элементов БСК в АР; АР с системой подачи элементов БСК из АР в камеру уничтожения (КУ); оборудование уничтожения элементов БСК-КУ; устройство выгрузки для безопасного удаления осколков уничтоженных элементов БСК.

Проведённые испытания показали, что выбранная технологическая схема уничтожения БСК и её аппаратная реализация в целом обеспечивают разборку и уничтожение БСК в заданном режиме. В ходе испытаний ТЛ РУ БСК выявилась необходимость её дооснащения дополнительным оборудованием и модернизация отдельных её элементов для улучшения эксплуатационных характеристик, технического обслуживания (ремонта) линии и на случай возникновения нештатных (аварийных) ситуаций.

В этой связи были решены следующие технические задачи: проведена модернизация агрегата расснаряжения с целью обеспечения безопасной замены режущего инструмента сверлильного устройства и обеспечения более полной эвакуации отравляющих веществ из элементов БСК при их расснаряжении; оснащение агрегата расснаряжения аппаратурой видеоконтроля с целью обеспечения контроля за процессом расснаряжения элементов БСК; оснащение камеры уничтожения дополнительным шибберным устройством с аппаратурой видеоконтроля с целью обеспечения безопасности проведения работ при уничтожении элементов БСК и техническом обслуживании технологической линии.

Решение вышеуказанных задач было осуществлено в 2011 году в рамках ОКР по модернизации ТЛ РУ БСК. Модернизация линии позволила повысить безопасность работ как при нормальной эксплуатации ТЛ РУ БСК, так и при возникновении нештатных (аварийных) ситуаций, а также повысила её ремонтпригодность.

Также в рамках третьего этапа для решения вопроса по уничтожению БСК боевых частей ракет отдельно было разработано технологическое оборудование для уничтожения конструктивных элементов, извлекаемых при разборке БСК для объекта по уничтожению ХО «Щучье» [2]. Исходя из того, что самой опасной и технологически сложной является стадия ручной разборки БСК, операцию их ручной разборки должен проводить персонал, обученный для работы не только с отравляющими, но также и со взрывчатыми веществами и прошедший обучение на инертных макетах БСК и их элементов. Для этих целей были разработаны инертные макеты БСК авиационных химических боеприпасов и боевых частей ракет и их элементов, а также необходимые средства обучения.

Ввиду того, что БСК боевых частей ракет имеют в своём составе большие массы ВВ, а также электромеханические вкладные элементы, потребовалась разработка технических решений по обеспечению безопасности процессов разборки, расснаряжения и уничтожения. В 2013 году для решения данной проблемы завершено выполнение ОКР по созданию опытного образца технологической линии разборки и уничтожения боеприпасов номенклатуры ГРАУ применительно к производству уничтожения ХО на объекте «Щучье» [2].

Результаты выполненных НИОКР явились основой для осуществления проектирования и создания производств по уничтожению БСК на объектах по уничтожению химического оружия в пос. Мирный Кировской области и Леонидовка Пензенской области и г. Щучье Курганской области.

Технологические линии разборки и уничтожения БСК размещаются во вновь возведённых производственных корпусах. В 2013 году первая технологическая линия по уничтожению БСК начала свою работу на объекте по уничтожению химического оружия в Пензенской области. В реальных условиях была подтверждена жизнеспособность концепции и правильность выбранных технических и технологических решений по уничтожению БСК.

Производственные мощности по уничтожению БСК успешно и, что очень важно, безопасно и безаварийно функционируют на объектах по уничтожению ХО в Кировской, Пензенской и Курганской областях.

Проблема уничтожения БСК оказалась трудной, интересной и познавательной и в конечном итоге решаемой.

Сложность проблемы уничтожения БСК и опыт разработки технологических линий разборки и уничтожения данного типа химических боеприпасов показали, что отечественные предприятия имеют необходимый научно-технический потенциал и технический задел для решения самых сложных задач в данной отрасли.

Российская Федерация разработала и обладает уникальной, не имеющей аналогов, надёжной технологией уничтожения боеприпасов сложной конструкции.

### Литература

1. Капашин В.П., Кармишин А.Ю., Коваленко И.В. Создание технологии уничтожения БСК // Необратимые процессы в природе и технике: Труды седьмой всероссийской конференции. Ч. II. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.
2. Кармишин А.Ю., Воронин В.А., Клюстер А.Е., Коваленко И.В. и др. Отчёт о НИР «Этапы создания и развития технологии уничтожения БСК», шифр «Победа». М.: НИЦ ФУ по БХУХО, 2015.

## Комбинированное применение ферментного и бактериального биокатализаторов в процессах биодеструкции ФОВ и продуктов их разложения

© 2015. Е. Н. Ефременко<sup>1,2</sup>, д.б.н., зав. лабораторией, И. В. Лягин<sup>1,2</sup>, к.х.н., с.н.с.,  
Д. А. Гудков<sup>1</sup>, к.х.н., н.с., Н. А. Степанов<sup>1,2</sup>, к.х.н., н.с., О. В. Сенько<sup>1,2</sup>, к.х.н., н.с.,  
О. В. Маслова<sup>1</sup>, к.х.н., н.с., Д. А. Ковалёв<sup>2</sup>, к.х.н., н.с., Н. В. Завьялова<sup>3</sup>, д.б.н., г.н.с.,  
В. И. Холстов<sup>4</sup>, д.х.н., директор, А. А. Янковская<sup>5</sup>, офицер отдела,

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,

<sup>2</sup>Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН,

<sup>3</sup>27 Научный центр МО РФ,

<sup>4</sup>Департамент реализации конвенционных обязательств

Министерства промышленности и торговли РФ,

<sup>5</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

e-mail: fubhuho@yandex.ru

В статье представлены результаты комбинированного использования гексагистидин-содержащей органофосфатгидролазы, гидролизующей различные фосфорорганические соединения, и биокатализатора в виде иммобилизованных клеток бактерий рода *Pseudomonas*, осуществляющего метаболическое разложение метилфосфоновой кислоты, в процессах биодеструкции фосфорорганических отравляющих веществ и продуктов их гидролиза в составе сложных по химическому составу реакционных масс, образующихся в результате химического уничтожения супернейротоксикантов. Обсуждается эффективность разложения отдельных компонентов указанных сред на каждой стадии их обработки. Показано, что применение аэробного активного ила для удаления остаточных загрязнений в виде клеточных метаболитов на последней стадии обработки сред позволяет получить нетоксичные стоки, удовлетворяющие требованиям муниципальной канализационной системы.

The work presents results of combined application of hexahistidine-containing organophosphorus hydrolase, hydrolyzing different organophosphate compounds, and biocatalyst based on immobilized bacterial cells of genus *Pseudomonas*, realizing the metabolic degradation of methylphosphonic acid, in the processes of biodestruction of organophosphorous chemical warfare agents and products of their hydrolysis in the content of reaction mass characterizing by complex content and accumulating during chemical elimination of superneurotoxins. The efficiency of degradation of components of the mentioned media at each stage of the biotreatment is discussed. It is shown, that the use of aerobic active sludge for removing of residual pollutions in the form of cell metabolites from media at the last stage of their treatment enables the obtaining of nontoxic waste water meeting the demands of municipal waste system.

Ключевые слова: фосфорорганические отравляющие вещества, гексагистидин-содержащая органофосфатгидролаза, иммобилизованные клетки, *Pseudomonas*, аэробный активный ил, биокатализаторы, биоразложение.

Keywords: organophosphorous chemical warfare agents, hexahistidine-containing organophosphorus hydrolase, immobilized cells, *Pseudomonas*, aerobic active sludge, biocatalysts, biodegradation.

Согласно принятым в РФ технологиям химического уничтожения фосфоросодержащих отравляющих веществ (ФОВ), в получаемых реакционных массах (РМ) остаётся часть неразложившихся нейротоксичных фосфорорганических соединений (ФОС) [1, 2]. Дальнейшее обезвреживание образующихся РМ является крайне важной задачей, поскольку конечный состав РМ должен соответствовать нормативам токсикологической и

экологической безопасности [3], а это означает, что разложение фосфонатов, как наиболее токсичных компонентов РМ, должно быть максимальным. К тому же метилфосфоновая кислота (МФК), являющаяся продуктом разложения диизобутилового и изобутилового эфиров МФК (продуктов разложения вещества типа ви-икс), также должна быть подвержена разложению как предшественник синтеза ФОВ [4].

Для разложения фосфорорганических компонентов РМ, получаемых после уничтожения вещества типа ви-икс, наиболее эффективными являются биокаталитические способы, поскольку они предполагают проведение биодеградации компонентов РМ в экологически безопасных условиях (без применения сильных химических окислителей и концентрированных щелочных растворов), а также в технологическом плане не требуют применения высоких температур, повышенного давления и использования оборудования, изготовленного из дорогих коррозионностойких материалов [5, 6]. При этом существует небольшой набор биологических катализаторов, которые могут быть вовлечены в схему разложения компонентов РМ, и самым эффективным способом их использования может быть их комбинированное применение, позволяющее последовательно осуществлять процесс деструкции образующихся продуктов деградации ФОВ.

Так, в данной работе для биоразложения фосфорорганических компонентов РМ вещества типа ви-икс использовался подход, основанный на последовательной обработке РМ препаратом фермента гексагистидинсодержащей органофосфатгидролазы ( $\text{His}_6\text{-ОРН}$ ) (I-ая стадия, рис. 1), который проявляет высокую гидролитическую активность по отношению к различным ФОВ, взятым для разложения, как в виде чистых веществ, так и в составе РМ [7, 8]. Далее ферментативные гидролизаты РМ обрабатывались биокатализатором, специально разработанным на основе клеток бактерий *Pseudomonas sp.78Г* [9], иммобилизованных методом включения в криогель поливинилового спирта (ПВС). Клетки обладали способностью осуществлять разложение МФК (II-ая стадия, рис. 1) и утилизировать фосфат, накапливающийся в среде с РМ после разложения всех ФОС, в качестве источника фосфора [10, 11]. При реализации

II-ой стадии в среду деградации РМ дополнительно вводилась глюкоза как необходимый для иммобилизованных клеток источник углерода. На III-ей стадии использованного способа обезвреживания РМ осуществлялась доочистка полученных сточных вод из реактора по разложению МФК от остаточных концентраций экотоксикантов с использованием стандартных очистных сооружений, работающих с применением активного аэробного ила.

Процесс трёхстадийной обработки реакционных масс, полученных гидролизной детоксикацией (РМ-ГД), был реализован в условиях пилотной установки. Для проведения стадии ферментативного гидролиза РМ ( $V_{\text{реактора}} = 50 \text{ л}$ ) был наработан препарат фермента  $\text{His}_6\text{-ОРН}$  с активностью 5000 ед/мл в количестве 30 л, а для определения эффективности разложения МФК под действием иммобилизованных клеток *Pseudomonas sp. 78Г* на пилотной установке ( $V_{\text{реактора}} = 650 \text{ л}$ ) было наработано 120 кг биокатализатора (рис. 2).

Первоначально с использованием ферментного препарата был показан высокоэффективный гидролиз ФОВ в составе реакционных масс, полученных по рецептуре дегазации №4М (РМ-РД-4М) под действием  $\text{His}_6\text{-ОРН}$ . Было установлено, что введение этого фермента в реакционную массу РМ-РД-4М, содержащую остаточные концентрации зарина или вещества типа ви-икс ( $6 \times 10^{-6}$ ,  $7 \times 10^{-6}$  моль/л), с целью их биокаталитического гидролиза, обеспечивает глубокое ферментативное разложение указанных концентраций ФОВ в течение 30 мин. (рис. 3). При этом для вещества типа ви-икс степень разложения за указанное время составляет 94%, а для зарина в составе РМ-РД-4М было установлено 100% его разложение за тот же период времени.

Аналогичным образом была проведена обработка ферментом и образцов РМ-ГД с предварительным их разбавлением 100 ммоль/л карбонатным буфером до концентрации веще-



Рис. 1. Принципиальная схема биоразложения фосфорорганических компонентов РМ вещества типа ви-икс, использованная в работе и состоящая из трёх основных стадий: I – разложение в составе РМ остаточных концентраций вещества типа ви-икс и эфиров МФК; II – разложение МФК, III – доочистка сточных вод под действием аэробного активного ила.

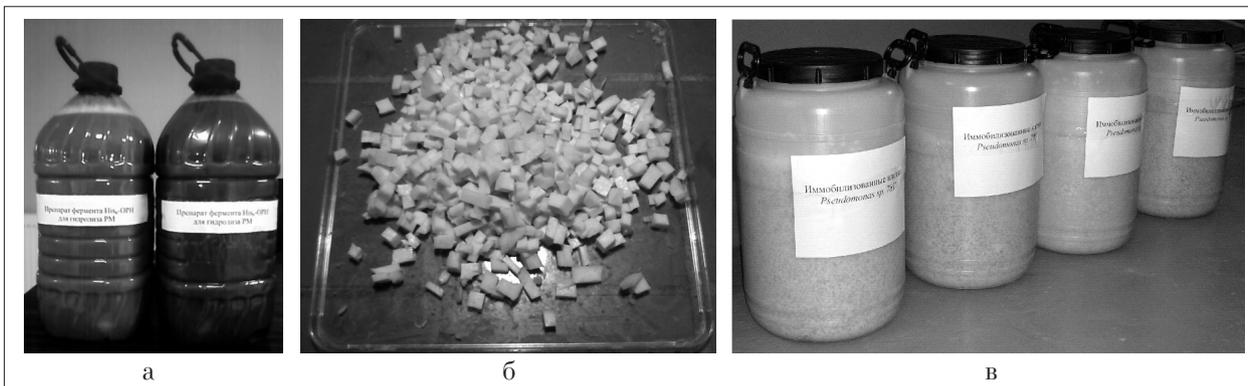


Рис. 2. Внешний вид препаратов, разработанных в рамках этой работы и наработанных для их применения на пилотной установке с целью биообработки реакционных масс, полученных после уничтожения ФОВ: а – ферментный препарат His<sub>6</sub>-ОРН (V тары=5л); б, в – биокатализатор в виде иммобилизованных клеток *Pseudomonas sp.* 78Г (V тары=50 л).

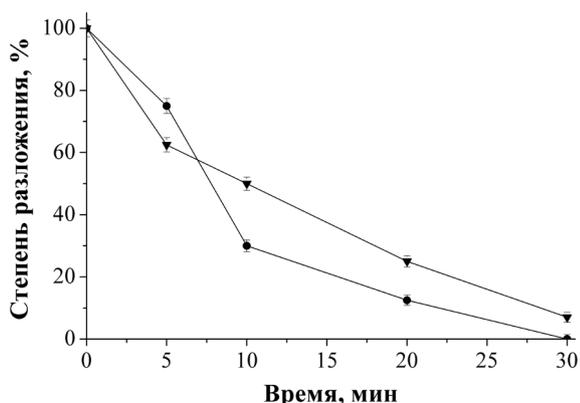


Рис. 3. Гидролиз  $6 \times 10^{-6}$  моль/л зарина (●) и  $7 \times 10^{-6}$  моль/л вещества типа ви-икс (▼) под действием фермента His<sub>6</sub>-ОРН в составе реакционных масс, полученных по технологии РМ-РД-4М.

ства типа ви-икс, равной  $7,5 \times 10^{-6}$  моль/л. При этом концентрации О,О'-диизопропилового эфира МФК и О-изобутилового эфира МФК составили, соответственно,  $9,6 \times 10^{-4}$  моль/л и  $35,8 \times 10^{-3}$  моль/л. Далее ферментативно обработанные образцы РМ подавались в реактор с иммобилизованными клетками бактерий. Результаты суммарного разложения фосфонатов в составе РМ-ГД под действием фермента His<sub>6</sub>-ОРН и биокатализатора (табл. 1) по-

казали, что основная доля всех фосфонатов подвергалась деструкции на ферментативной стадии обработки РМ, но иммобилизованные клетки бактерий, осуществляя разложение МФК и утилизируя фосфаты, способствовали сдвигу общего химического равновесия в системе в сторону образования конечного продукта (фосфата), что и обеспечивало в целом глубокое биоразложение ФОС в составе РМ.

Было установлено, что клетки *Pseudomonas sp.* 78Г, иммобилизованные в криогель ПВС, осуществляют 100%-ное разложение МФК в концентрации 200 мг/л за 28 ч, а 300 мг/л – за 40 ч со скоростью 7,2-7,5 мг/л/ч, что в 25 раз быстрее, по сравнению со свободными клетками того же штамма (рис. 4). При этом исходная концентрация МФК, которая может быть введена в реактор без риска снижения эффективности каталитического действия биокатализатора в виде иммобилизованных клеток бактерий, была практически в 2 раза выше, по сравнению со свободными клетками. Также была показана возможность повторного использования биокатализатора в виде иммобилизованных клеток в процессе разложения МФК. Характеристики биокатализатора при этом мало отличались от тех, что иммобилизованные клетки демонстрировали после их первичного примене-

Таблица 1

Достижимая общая степень деструкции различных ФОС на стадии обработки ферментом His<sub>6</sub>-ОРН и биокатализатором в виде иммобилизованных клеток *Pseudomonas sp.* 78Г в процессе комплексного биоразложения РМ-ГД

Стадия обработки	Достижимая общая степень разложения, %		
	ИБЭМФК	ДИБЭМФК	МФК
Обработка ферментом	83 ± 2	97 ± 2	65 ± 3
Обработка биокатализатором в виде иммобилизованных клеток	91 ± 3	99 ± 1	90 ± 1

ИБЭМФК – О-изобутиловый эфир метилфосфоновой кислоты  
 ДИБЭМФК – О,О'-диизобутиловый эфир метилфосфоновой кислоты  
 МФК – метилфосфоновая кислота

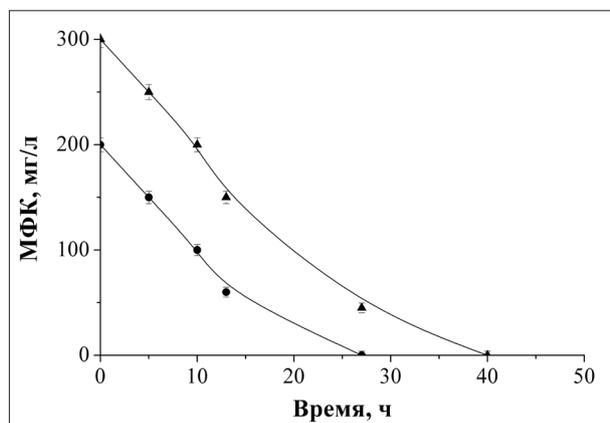


Рис. 4. Кинетика разложения метилфосфоновой кислоты (▲ – 300 мг/л, ● – 200 мг/л) под действием иммобилизованных клеток *Pseudomonas sp.* 78Г.

ния (табл. 2). Согласно уровню концентрации внутриклеточного АТФ в иммобилизованных клетках, который контролировался с использованием высокочувствительного биолюминесцентного метода, основанного на применении люциферин-люциферазного реагента, клетки сохраняли высокий энергетический статус благодаря активному метаболизму и демонстрировали при этом практически постоянный уровень скорости деструкции МФК.

Процесс утилизации накапливающегося в среде фосфата и усвоения глюкозы иммо-

билизованными клетками бактерий сопровождался накоплением в среде метаболитов и некоторым увеличением уровня ХПК среды деградации РМ. Обработка такой среды аэробным активным илом (рис. 1) позволила получить сточные воды, соответствующие по своим характеристикам нормам канализационного стока (табл. 3). При этом был проведён не только анализ компонентного состава полученного стока, но и сделана оценка экотоксичности полученных сточных вод с использованием иммобилизованных клеток светящихся фотобактерий, быстро теряющих свою биолюминесценцию в присутствии различных токсикантов [12].

Комплексная биологическая обработка РМ-ГД, содержащих 0,1% вещества типа ви-икс и высокие концентрации различных фосфонатов, была проведена в рамках этой работы впервые и представляет собой совершенно новый биотехнологический процесс, основанный на применении оригинальных российских биокатализаторов (ферментного и микробного).

Таким образом, в процессах безопасного разложения компонентов РМ, полученных после химического уничтожения отравляющих веществ, было продемонстрировано эффективное применение биокатализаторов, разра-

Таблица 2

Характеристики биокатализатора на основе иммобилизованных клеток бактерий, включённых в криогель поливинилового спирта, при их первичном и повторном использовании для разложения МФК в ферментативно обработанных образцах РМ-ГД

Параметры сравнения	Применение биокатализатора	
	первичное	повторное
АТФ, моль/г биокатализатора	$(2,01 \pm 0,11) \times 10^{-9}$	$(1,96 \pm 0,04) \times 10^{-9}$
Скорость разложения МФК	$7,35 \pm 0,05$ мг/л/ч	$7,50 \pm 0,15$ мг/л/ч

Таблица 3

Состав сточных вод, обработанных аэробным активным илом после комплексного биоразложения ФОС в составе РМ-ГД под действием фермента His<sub>6</sub>-ОРН и биокатализатора в виде иммобилизованных клеток *Pseudomonas sp.* 78Г

Контролируемый параметр	ПДК для канализационного стока, мг/л	Обнаруженная концентрация, мг/л
Азот (аммонийный)	20,0	38 ± 2
Азот (нитрат)	10,2	5,9 ± 0,3
Азот (нитрит)	1,0	3,6 ± 0,4
Сульфаты	500	31 ± 3
Хлориды	350	30 ± 1
Фосфаты	1,14	2,5 ± 0,4
МФК	–	< 0,1
Изобутиловый эфир МФК	–	< 0,1
ХПК	500	460 ± 9
Экотоксичность, определяемая с использованием клеток светящихся бактерий	≤ 20	< 20

ботанных в РФ, в виде фермента, способного, согласно результатам работы, не только катализировать гидролиз ФОВ в составе реакционных масс, содержащих высокие концентрации продуктов разложения отравляющих веществ, но и осуществлять частичное разложение даже этих продуктов; а также в виде иммобилизованных клеток микроорганизмов, обладающих уникальными каталитическими характеристиками для деградации ФОС, являющихся продуктами разложения фосфорорганических отравляющих веществ, в том числе в средах со сложным химическим составом.

### Заключение

В данной работе показана эффективность комбинированного использования биокатализаторов в виде фермента  $\text{His}_6$ -ОРН и иммобилизованных клеток-деструкторов ФОС рода *Pseudomonas* для решения таких сложных экологических задач, к которым относится детоксикация сред с остаточными концентрациями ФОВ. Результаты работы подтверждают уникальные каталитические характеристики и большой прикладной потенциал применённых биокатализаторов. Способность эффективного функционирования разработанных биокатализаторов в сложных по химическому составу системах открывает новые возможности для биокаталитического, экологически безопасного решения проблем, связанных с деструкцией ФОВ и продуктов их деградации.

### Литература

1. Уткин А.Ю., Либерман Б.М., Кондратьев В.Б., Капашин В.П., Холстов В.И. Математическое описание процессов детоксикации фосфорорганических отравляющих веществ // РХЖ. 2007. Т. LI (2). С. 12–18.
2. Уткин А. Ю., Пыжьбянов И.В., Шелученко В.В., Петрунин В.А., Капашин В.П., Холстов В.И., Кондратьев В.Б. Способ уничтожения химических боеприпасов, снаряжённых фосфорорганическими отравляющими веществами и имеющих в корпусе технологические резьбовые отверстия // Патент РФ на изобретение № 2352375 (20.04.2009).
3. Munro N. B., Talmage S. S., Griffin G. D., Waters L. C., Watson A. P., King J. F., Hauschild V. The sources, fate, and toxicity of chemical warfare agent degradation products // Research Reviews. 1999. V. 107. № 12. P. 933–974.
4. Международная конвенция о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении // ОЗХО. С. N. 610. 2005. 179 с.
5. Ефременко Е.Н., Завьялова Н.В., Гудков Д.А., Лягин И.В., Сенько О.В., Гладченко М.А., Сироткина М.С., Холстов А.В., Варфоломеев С.Д., Холстов В.И. Экологически безопасная биодеградация реакционных масс, образующихся при уничтожении фосфорорганических отравляющих веществ // РХЖ. 2010. Т. LIV. № 4. С. 19–24.
6. Ефременко Е.Н., Завьялова Н.В., Лягин И.В., Сенько О.В., Гудков Д.А., Аксенов А.В., Степанов Н.А., Сироткина М.С., Спиричева О.В., Иванов Р.В., Лозинский В.И., Варфоломеев С.Д., Кондратьев В.Б., Холстов В.И. Способ биоразложения фосфорорганических соединений в составе реакционных масс, получаемых после химического уничтожения вещества типа ви-икс // Патент РФ на изобретение № 2408724 (10.01.2011). Бюл. № 1.
7. Ефременко Е.Н., Лягин И.В., Завьялов В.В., Варфоломеев С.Д., Завьялова Н.В., Холстов В.И. Ферменты в технологии уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ // РХЖ. 2007. Т. LI. № 2. С. 24–29.
8. Ефременко Е.Н., Вотчицева Ю.А., Курочкин И.Н., Варфоломеев С.Д., Гачок И.В., Завьялова Н.В., Капашин В.П., Холстов В.И. Способ ферментативного гидролиза боевых отравляющих веществ // Патент РФ на изобретение № 2296164 (27.03.2007). Бюл. № 9.
9. Харечко А.Т., Мягких А.В., Колесников И.О., Колесников Д.П., Королев В.Д., Лысов А.А., Матущенко Ю.А., Завьялова Н.В., Климентьев Ю.А. Штамм *Pseudomonas species* 78Г, предназначенный для деградации продуктов деструкции фосфорорганических отравляющих веществ // Патент РФ на изобретение № 2154103 (10.08.2000). Бюл. № 22.
10. Ефременко Е.Н., Завьялова Н.В., Сенько О.В., Лобастов С.Л., Лягин И.В., Аксенов А.В., Варфоломеев С.Д. Биокатализатор на основе иммобилизованных клеток бактерий для разложения метилфосфоновой кислоты // Патент РФ на изобретение № 2360967 (10.07.2009). Бюл. № 19.
11. Ефременко Е.Н., Лягин И.В., Сенько О.В., Сироткина М.С., Завьялова Н.В. Иммобилизованные гетерогенные биокатализаторы для разложения С-Р-связи в продуктах уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ // Вестн. РУДН. Сер. «Экология и безопас. жизнедеят.». 2011. № 1. С. 61–66.
12. Ефременко Е.Н., Сенько О.В., Куц В.В., Аленина К.А., Холстов А.В., Исмаилов А.Д. Люминесцентный биокатализатор для определения токсикантов // Патент РФ на изобретение № 2394910 (20.07.2010). Бюл. № 20.

**Процесс капсулирования водного раствора фторида калия,  
полученного при разделении реакционной массы,  
образовавшейся в результате детоксикации рецептуры ВР-55  
дегазирующей рецептурой РД-4М**

© 2015. А. Ю. Кармишин, к.т.н., начальник, Т. В. Воробьёв, к.х.н.,  
начальник управления, Е. А. Василькова, н.с., И. В. Палагина, н.с.,

Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: fubhuho@mail.ru

Материал данной статьи включает описание технологического процесса разделения реакционной массы, образовавшейся при детоксикации ВР-55 дегазирующей рецептурой РД-4М, и обоснование метода извлечения высокотоксичного фторида калия из водно-солевого слоя для предотвращения его негативного воздействия на оборудование в процессе высокотемпературной переработки реакционной массы. Извлечение фторида калия из водно-солевого слоя происходит в две стадии. На первой стадии происходит его осаждение гипсом во фторид кальция. На второй стадии происходит капсулирование образовавшегося осадка цементом. Образующиеся бетонные блоки направляются на площадку временного хранения. Процесс переработки водно-солевых смесей на основе фторида калия, полученного при разделении реакционных масс, образовавшихся в результате детоксикации рецептуры ВР-55, в настоящее время реализуется в рамках опытно-промышленных испытаний на объектах по уничтожению химического оружия «Марадьковский» Кировской области и «Леонидовка» Пензенской области.

The article describes the process of separation of the reaction mixture resulting from detoxification of ВР-55 with the degassing compound RD-4M. It also includes justification of the method of extraction of highly toxic potassium fluoride from the water-salt layer in order to prevent its negative effects on the equipment during high temperature processing of the reaction mass. Extraction of potassium fluoride from the aqueous salt layer occurs in two stages. At the first step it is precipitated with gypsum in calcium fluoride. At the second stage the precipitation formed is encapsulated with cement. The resulting concrete blocks are sent to the temporary storage site. Processing water-salt mixtures with potassium fluoride, resulting from separation of the reaction mass formed as a result of detoxification the compound ВР-55 is currently being implemented in the framework of pilot tests at the two chemical weapons destruction plants: «Maradykovsky» in Kirov region and «Leonidovka» in Penza region.

**Ключевые слова:** реакционные массы, высокотемпературная переработка,  
водно-солевой слой, капсулирование.

**Keywords:** reaction mass, high-temperature processing,  
water-salt layer, encapsulation.

На объектах по уничтожению химического оружия для уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ принята двухстадийная технология. На первом этапе происходит детоксикация отравляющего вещества, на втором – переработка реакционных масс (РМ).

Однако при детоксикации ВР-55 дегазирующей рецептурой РД-4М образуется РМ, в которой содержится большое количество фторида калия. Фторид калия является высокоагрессивным и токсичным веществом 2 класса опасности.

В процессе высокотемпературной переработки этой РМ происходят такие негативные явления, как:

– преждевременное разрушение футеровочного материала внутренней камеры установки термического обезвреживания жидких отходов;  
– периодическая забивка солевыми отложениями коммуникаций и форсунок подачи РМ [4].

Поэтому появилась необходимость разработки процесса разделения РМ на органический и неорганический слои.

Разработанный процесс заключается в разделении РМ на органический слой, который собирается в накопительную ёмкость и затем подаётся в печное отделение объекта по уничтожению химического оружия на установку термического обезвреживания жидких отходов, и на водный раствор фторида калия

(водносолевая смесь – ВСС), который передаётся на установку по переработке ВСС для капсулирования [2–4].

Таблица 1

Состав водно-солевой смеси фторида калия

Вещество	Содержание вещества, % (масс.)
Вода	55,85
Калия фторид	34,77
Калия гидроксид	6,05
Калия карбонат	2,05
Пинаколиновый спирт	0,08
Изобутиловый спирт	0,57
N-метил-2 пирролидон	0,55
Эфир метилфосфоновый кислоты, суммарно	0,0024
Трибутиламин	0,04
Дизельное топливо	0,03
Зоман	$6,11 \cdot 10^{-6}$

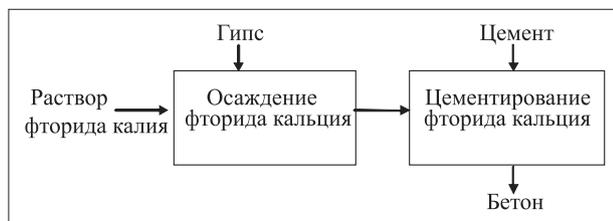


Рис. 1. Схема процесса капсулирования.

Состав водно-солевой смеси приведён в таблице 1.

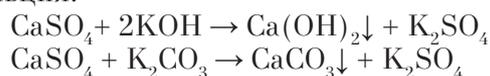
Процесс капсулирования состоит из двух стадий (рисунок 1):

На первой стадии происходит осаждение фторида кальция.

В раствор водносолевой смеси фторида калия добавляется гипс (алебастр  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) с целью осаждения фтора в виде фторида кальция по реакции:



Одновременно протекают реакции гипса с присутствующими в растворе едким калием и карбонатом калия с образованием сульфата калия, гидроксида кальция и карбоната кальция:



При интенсивном перемешивании в течение 60 мин. образуется суспензия фторида кальция в растворе калия сульфата. Процесс сопровождается незначительным тепловым эффектом; реакционная смесь нагревается до 60–70°C.

Полнота осаждения фторида калия гипсом контролируется экспресс-анализом водной фазы на содержание фторид-ионов.

На второй стадии капсулирования (цементирования) в полученную суспензию фторида

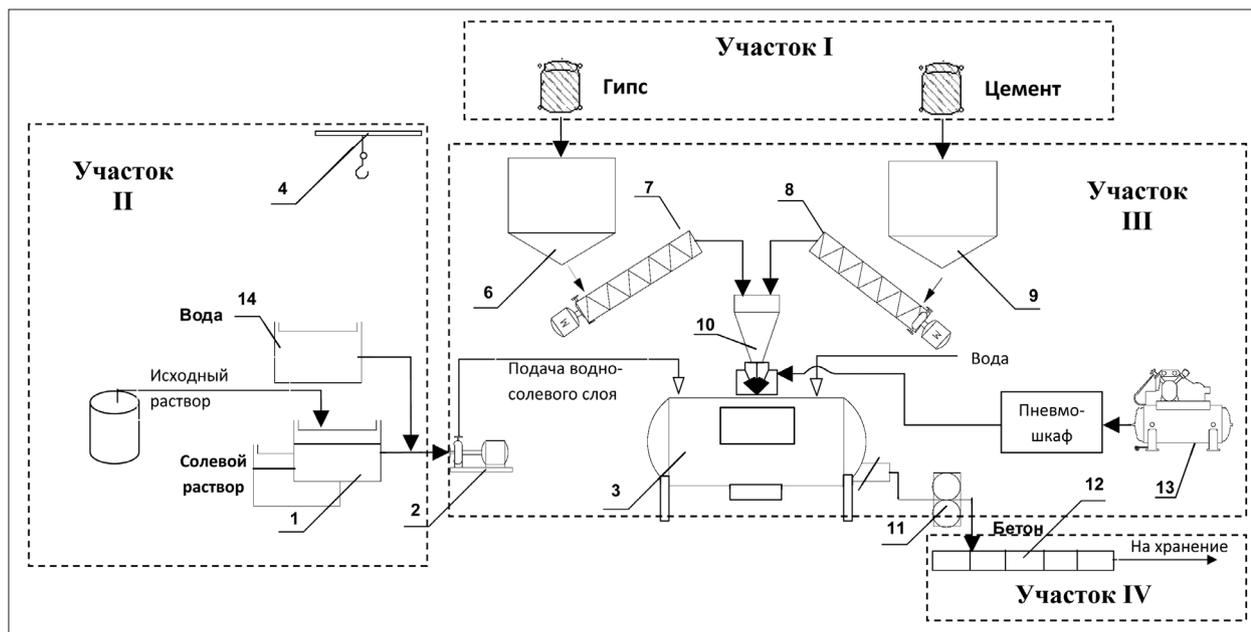


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема переработки ВСС.

- 1 – расходная ёмкость с фторидом калия; 2 – дозировочный насос;
- 3 – смеситель СЛБ-ПЛ-1000 ДЕЛЬТА; 4 – кран-балка; 5 – мешок с гипсом или цементом «биг-бен»;
- 6, 9 – станция растаривания МКР типа «Биг-Бэг» с приёмным бункером;
- 7-8 – винтовой конвейер ВК-219-8000; 10 – бункер дозатор для гипса и цемента объёмом 0,8 м<sup>3</sup>;
- 11 – винтовой (героторный) растворонасос СОСНА 4,6.500; 12 – установка для производства строительных блоков СТРОМ-2; 13 – компрессор; 14 – ёмкость с водой.

Таблица 2

Характеристика бетонных блоков

№ п/п	Показатель, ед. изм.	Значение показателя	№ п/п	Показатель, ед. изм.	Значение показателя
1	Внешний вид	Твёрдое вещество серого цвета	6	Массовая доля компонентов, %: – фторид кальция – сульфат калия – кристаллогидраты силикатов и алюмо-ферросиликатов кальция	9-11 24-26 63-67
2	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1700-1900			
3	Вымываемость с поверхности, %, не более	0,1	7	Класс опасности: – для окружающей природной среды – для человека	IV III
4	Прочность на сжатие, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	8,0-12,0 (80-120)	8	Размеры бетонных блоков, мм	500x600x400
5	Водопоглощение, %, не более	0,16	9	Масса бетонных блоков, кг	250

кальция добавляется цемент. Через 10 мин. цементная смесь выливается из смесителя в формы. При затвердевании цементного раствора происходит капсулирование суспензии фторида кальция в бетон. Образующиеся бетонные блоки через сутки выгружаются из форм и направляются на площадку временного хранения.

Переработка водносолевой смеси фторида калия осуществляется на установке по переработке ВСС [3], принципиальная технологическая схема которой приведена на рисунке 2.

Бетонные блоки, полученные в процессе переработки ВСС, по результатам биотестирования относятся к отходам четвёртого класса опасности для окружающей природной среды и к третьему классу опасности для человека (умеренноопасные) (табл. 2).

Основными критериями качественной переработки ВСС методом капсулирования с использованием гипса и цемента являются:

- полнота нейтрализации фторида калия в нерастворимый в воде фторид кальция гипсом. Это обеспечивает получение продукта (бетона) с минимальной токсической опасностью;

- оптимальное соотношение компонентов бетона: вода : раствор фторида калия : гипс : цемент = 0,2 : 1 : 0,58 : 0,6. Этим обеспечивается максимальная устойчивость бетона и реализуется принцип минимизации воздействия на окружающую природную среду и здоровье человека.

Данный технологический процесс переработки ВСС, полученного при разделении РМ,

образовавшейся в результате детоксикации рецептуры ВР-55 дегазирующей рецептурой РД-4М, в настоящее время реализуется на объектах по уничтожению химического оружия «Марадыковский» (пгт. Мирный Кировской области) и «Леонидовка» (пос. Леонидовка Пензенской области) в рамках проведения опытно-промышленных испытаний.

Литература

1. Технический отчёт о проведении опытно-промышленных испытаний технического решения по выделению фторида калия из реакционной массы, полученной при детоксикации зомана вязкого рецептурой РД-4. М. ФУ БХУХО. 2012. 56 с.
2. Отчёт о научно-исследовательской работе «Разработка и создание экспериментальной мобильной установки переработки водного раствора фторида калия, образовавшегося при выделении неорганических веществ из реакционной массы от уничтожения ВР-55 рецептурой РД-4М», ООО «ТехЭкоПлазма». М. 2012. 141 с.
3. «Исходные данные на технологический процесс переработки водного раствора фторида калия, образовавшегося при выделении неорганических веществ из реакционной массы от уничтожения ВР-55 рецептурой РД-4М», ООО «ТехЭкоПлазма». М. 2012 г. 67 с.
4. Научно-технический отчёт о работе «Поддержание заданных технологических параметров в ходе эксплуатации объекта по уничтожению химического оружия «Леонидовка» пос. Леонидовка Пензенской области», ОАО НПП «Химмаш-Старт». Пенза. 2014 г. 200 с.

**Технологический процесс ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области**

© 2015. В. С. Романов, к.б.н., зам. начальника отдела, С. В. Лимонов, н.с.,  
Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье изложены особенности технологического процесса ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области.

Описан порядок проведения работ по дегазации и демонтажу строительных материалов и технологического оборудования зданий и сооружений объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области, термическому обезвреживанию отходов, образующихся в ходе ликвидации последствий деятельности.

Акцентируется внимание на том, что выполнение всех мероприятий технологического процесса ликвидации последствий деятельности позволит привести в безопасное состояние здания и сооружения объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области, в результате чего появится возможность использования всего имущественного комплекса в интересах обеспечения обороны и безопасности государства и других государственных нужд, а в случае отсутствия такой потребности – вовлечения в хозяйственный оборот на основе инвестиционных проектов.

The article describes the details of the process of eliminating the effects of the chemical weapons storage and destruction plant in Pochep in Bryansk region.

It describes the work on decontamination and dismantling building materials and technological equipment of buildings of the chemical weapons storage and destruction plant in Pochep in Bryansk region, as well as thermal treatment of waste resulting from the liquidation activities.

It focuses on the fact that going through all the stages of the process will allow to make safe the buildings of the chemical weapons storage and destruction plant of Pochep in Bryansk region. As a result there will be an opportunity to use the complex again for defense of the state and for other public needs. If it is not required then it could be involved in economic circulation on the basis of investment projects.

**Ключевые слова:** объект по хранению и объект по уничтожению химического оружия, ликвидация последствий деятельности, дегазация, демонтаж, термическое обезвреживание отходов.

**Keywords:** the storage facility and facility for destruction of chemical weapons, decontamination of soil, decontamination, dismantling, thermal waste.

К концу 2015 года на объекте по уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области будет завершено уничтожение запасов химического оружия (ХО) [1].

В целях вовлечения в хозяйственный оборот имущественного комплекса объекта по хранению и объекта по уничтожению ХО в г. Почеп Брянской области необходимо провести комплекс специальных мероприятий по ликвидации последствий деятельности и получить соответствующие заключения о безопасности всех зданий и сооружений. Необходимость проведения комплекса специальных мероприятий по ликвидации последствий деятельности обусловлена тем, что на объекте по хранению

и объекте по уничтожению ХО обращались высокотоксичные отравляющие вещества (ОВ) и продукты их детоксикации, которыми могут быть загрязнены оборудование и строительные материалы отдельных зданий и сооружений данных объектов, что делает их источниками потенциальной химической опасности [2].

Технологический процесс ликвидации последствий деятельности объекта по уничтожению химического оружия будет включать в себя следующие стадии:

– дегазацию наружных поверхностей оборудования, кабельных материалов, строительных конструкций методом орошения в помещениях I и II группы опасности;

– демонтаж и разделку на мерные элементы (фрагментирование) оборудования, кабельных и строительных материалов;

– дегазацию фрагментов технологического оборудования и кабельных материалов, находившихся ранее в непосредственном контакте с ОВ или реакционными массами (РМ), методом погружения в дегазирующий раствор и выдержки в этом растворе;

– снятие оплётки с фрагментов кабеля для отдельной подачи на термообезвреживание медных жил кабеля и материалов изоляции;

– удаление (снятие) строительных материалов с пола, стен и фундаментов под оборудованием;

– частичный (выборочный) демонтаж (удаление) бетонных и железобетонных конструкций фундаментов, расположенных под технологическим оборудованием, где по результатам анализа «глубинных» проб обнаружено загрязнение ОВ;

– дегазацию в ходе демонтажа сколов и кусков железобетона, бетона, кирпича методом орошения;

– измельчение сколов и кусков железобетона, бетона, кирпича в дробильном оборудовании;

– термическое обезвреживание фрагментов демонтированных материалов;

– переработку отработанных дегазирующих растворов;

– очистку дымовых газов печей термообезвреживания;

– захоронение твёрдых отходов на существующем участке захоронения отходов.

Технологический процесс ликвидации последствий деятельности объекта по хранению ХО будет включать в себя следующие стадии:

– дегазацию поверхностей строительных конструкций хранилищ и сооружений, в которых хранились ОВ;

– демонтаж сооружений комплексов уничтожения аварийных боеприпасов, в которых ранее производились работы с аварийными боеприпасами, снаряжёнными ОВ.

### **Проведение работ по дегазации и демонтажу строительных конструкций и технологического оборудования**

Для дегазации наружных поверхностей оборудования, трубопроводов, кабельных коммуникаций и строительных конструкций помещений I и II группы опасности (корпус 1, здание 1 (участок залива реагента), здания 2/2А, 2/2Б, 2/2В, 11, 29, склад 30/3, здание

10) будет использоваться полидегазирующая рецептура «Макс», которая обладает следующими свойствами:

- высокой адгезией к обрабатываемым поверхностям и обволакивающим действием к твёрдым пылевым частицам, что значительно снижает её расход по сравнению с водными растворами на основе гипохлоритов;

- образованием на обрабатываемой поверхности устойчивого химически активного экрана, а после высыхания рецептуры – полимерной плёнки, препятствующей диффузии ОВ с поверхности;

- полифункциональностью – полидегазирующими и высокими дезинфицирующими свойствами [3].

Обработка поверхностей будет производиться однократно с нормой расхода дегазирующего раствора 0,3 л/м<sup>2</sup>. Способ обработки поверхностей – распыление дегазирующего раствора либо с помощью автономных приборов специальной обработки (АПСО) (в зданиях: корпус 1, здание 1 (участок залива реагента), здания 2/2А, 2/2Б, 2/2В, 11, 29, 10), либо из автомобиля АРС (склад 30/3) и последующего протирания щётками.

После дегазации наружных поверхностей будут выполняться работы по демонтажу оборудования, трубопроводов, кабельных коммуникаций, строительных материалов во всех перечисленных выше зданиях и сооружениях. Демонтированные металлоизделия и конструкции будут разделяться непосредственно на местах демонтажных работ. Листовой металл будет разрезаться на фрагменты размером 500х500 мм, погонажные изделия (трубы, профильный прокат) – на элементы длиной не более 1,0 м. При этом будут применяться два способа резки: «холодный» способ – углошлифовальной машиной («болгаркой») и «горячий» способ – газовой пропан-бутановой резкой и воздушно-плазменной резкой.

Фрагменты технологического оборудования, трубопроводов и кабельных материалов, полученные при разделке в помещениях I и II группы опасности корпуса 1, здания 1 (участок залива реагента), зданий 11, 29, склада 30/3, и находившиеся ранее либо в непосредственном контакте с ОВ, либо с РМ, будут подвергаться дополнительной дегазации методом погружения в ванны, заполненные водным перекисно-щелочным раствором. Объём раствора в ванне составит 630 л, а масса материала, погружаемого в ванну, будет достигать до 250 кг на одну операцию. Продолжительность одной операции – 2 часа.

Затем фрагменты будут ополаскиваться методом погружения в ванны, заполненные технической водой, и обдуться сжатым воздухом для удаления капельной влаги с поверхности фрагментов.

После завершения работ по демонтажу и разделке металла и кабеля на фрагменты будут выполняться работы по демонтажу бетона – удалению 10–12-сантиметрового слоя с полов, с фундаментов под оборудование и пр. в зданиях и сооружениях: корпус 1, здание 1 (участок залива реагента), здания 2/2А, 2/2Б, 2/2В, 11, 29, 10, склад 30/3.

Разрушение бетона будет производиться с помощью отбойных молотков. Для предотвращения пыления и (одновременно) дегазации возможных загрязнений в «глубинных» слоях бетона зона работ в корпусе 1, здании 1 (участок залива реагента), в зданиях 2/2А, 2/2Б, 2/2В, 11, 29, 10 будет орошаться водным перекисно-щелочным раствором из переносных приборов типа АПСО. Расход перекисно-щелочного раствора составит 7,2 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона. Пылеподавление в зонах работ при демонтаже бетонных конструкций склада 30/3 будет осуществляться орошением водой, подаваемой из автомобиля АРС.

### Термическое обезвреживание отходов

Термическое обезвреживание отходов, образующихся в ходе ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению ХО, будет проводиться на существующих участках термического обезвреживания отходов производства:

– в корпусе 1 будут использоваться: установка сжигания твёрдых отходов, оборудование очистки дымовых газов от минеральных компонентов, оборудование по приёму и подготовке отходов, насосное и тягодутьевое оборудование;

– в здании 11 в отделении 05 будут использоваться: печь с выдвижными тележками, установка очистки дымовых газов от минеральных компонентов, оборудование по приёму и подготовке отходов, насосное и тягодутьевое оборудование.

На установку сжигания твёрдых отходов, расположенную в корпусе 1, будут подаваться следующие сгораемые отходы: рубероид, паронит, полиэтилен, резина, деревянные конструкции, ветошь, использованная при дегазационных работах, использованные средства индивидуальной защиты, полиэтиленовые мешки (упаковка отходов).

Сжигание отходов будет проводиться при температуре 900°С.

В печь с выдвижными тележками, расположенную в здании 11, будут подаваться несоргаемые отходы: оксид алюминия, активированный уголь, минеральная вата, строительные отходы (бетон, кирпич), металл.

В соответствии с положениями санитарных правил СП 2.2.1.2513-09 термическое обезвреживание металла будет проводиться при температуре не менее 900°С [4]. Термообработка изделий из алюминия будет проводиться при температуре 550°С.

Отходы, образующиеся в результате сжигания твёрдых отходов в корпусе 1 (зола и шлак от сжигания резины, отработанные средства индивидуальной защиты, паронит, рубероид, дерево и ветошь) будут направляться на полигон захоронения промышленных отходов.

После окончания работ по термообезвреживанию всё оборудование, размещённое в помещении 16 корпуса 1, будет продегазировано и демонтировано. Все отходы, образовавшиеся после демонтажа, будут направлены на термообезвреживание в здание 11.

Отходы, образующиеся в результате термического обезвреживания твёрдых отходов в здании 11 (зола и шлак от сжигания, отходы оксидов и гидроксидов от обжига металла, обожжённая минеральная вата, строительный мусор (бетон, кирпич), отработанный уголь, оксид алюминия, керамические кольца Рашига), будут направляться на полигон захоронения промышленных отходов.

### Заключение

Выполнение всех мероприятий технологического процесса ликвидации последствий деятельности позволит привести в безопасное состояние здания и сооружения объекта по хранению и объекта по уничтожению ХО в г. Почеп Брянской области, в результате чего появится возможность использования всего имущественного комплекса в интересах обеспечения обороны и безопасности государства и других государственных нужд, а в случае отсутствия такой потребности – вовлечения в хозяйственный оборот на основе инвестиционных проектов.

### Литература

1. Капашин В.П. Выполнение завершающего этапа уничтожения запасов химического оружия в Российской

Федерации // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 12–14.

2. Кармишин А.Ю., Радюшкин Ю.Г., Брызгалина Е.В., Клюев А.М., Рудь В.Л., Белов С.А. Организационно-технические аспекты разработки исходных данных на вывод из эксплуатации и ликвидацию последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 15–20.

3. Кармишин А.Ю., Воробьев Т.В., Брызгалина Е.В., Кинаш Е.В., Сипаков А.С., Романов В.С., Карпов А.В., Лякин А.С., Рудь В.Л., Берестов В.А. Проведение

испытаний по оценке результативности дегазации поверхностей технологического оборудования и строительных конструкций с применением полидегазирующей рецептуры ПДР «Макс» на промышленной территории ФКП «Горный». Технический отчёт (инв. № 2925). М.: НИЦ ФУБХУХО, 2013. 103 с.

4. Санитарные правила СП 2.2.1.2513-09. Гигиенические требования к размещению, проектированию, строительству, эксплуатации и перепрофилированию объектов по уничтожению химического оружия, реконструкции зданий и сооружений и выводу из эксплуатации объектов по хранению химического оружия.

## Разрыв С-Р связи в фосфонатах под действием ферментных биокатализаторов

© 2015. Е. Н. Ефременко<sup>1</sup>, д.б.н., зав. лабораторией,  
В. В. Завьялов<sup>2</sup>, к.х.н., зам. начальника отдела, Н. В. Завьялова<sup>3</sup>, д.б.н., г.н.с.,  
В. И. Холстов<sup>4</sup>, д.х.н., директор, А. А. Янковская<sup>5</sup>, офицер отдела,  
<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
<sup>2</sup>Экспертно-криминалистический центр МВД России,  
<sup>3</sup>27 Научный центр Минобороны России,  
<sup>4</sup>Департамент реализации конвенционных обязательств Минпромторга России,  
<sup>5</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: fubhuho@yandex.ru

В статье представлен обзор данных литературы и материалы собственных исследований, доказывающие факт разрыва С-Р связи в фосфонатах при биодеструкции фосфорорганических отравляющих веществ и продуктов их гидролиза с помощью ферментных биокатализаторов. Обсуждаются известные механизмы ферментативной деструкции фосфонатов.

Показано, что под действием фермента гексагистидин-содержащей органофосфатгидролазы (His<sub>6</sub>-ОРН), иммобилизованного в сорбционном геле, образованном суперсорбентом Stochosorb 500 Powder, реакция гидролиза фосфорорганического отравляющего вещества нервно-паралитического действия ви-икс проходит до минерализации с разрывом С-Р связи и образованием неорганического соединения (фосфорной кислоты) непосредственно в слое фильтрующе-сорбирующего материала при нормальном атмосферном давлении и температуре, не превышающей температуру тела человека (36,6°C).

Разработана общая схема реакции гидролиза вещества ви-икс под действием фермента His<sub>6</sub>-ОРН, иммобилизованного в сорбционном геле, содержащемся в ферментсодержащих пакетах фильтрующе-сорбирующих защитных материалов. Предложено использование фермента His<sub>6</sub>-ОРН в качестве одного из эффективных средств решения проблемы глубокого разложения производных фосфонової кислоты, а также обеспечения надёжной защиты персонала.

Создан научно-практический задел в области исследований новых защитных материалов, который может быть применён для повышения безопасности работ, планируемых к проведению для разложения фосфонатов, накопленных за предыдущие годы уничтожения фосфорорганических соединений.

The review of modern literature data and materials of own investigations proving the fact of cleavage of C-P bond in phosphonates in the processes of biodestruction of organophosphorus chemical warfare agents and their hydrolytic products under the action of enzymatic biocatalysts is presented in the work. The mechanisms of enzymatic destruction of phosphonates are discussed.

It was shown that the hydrolysis of organophosphorous compound such as Vx possessing neuroparalytic action is going on up to complete its mineralization under the action of hexahistidine-organophosphate hydrolase (His<sub>6</sub>-ОРН) immobilized in sorption gel composed by super absorbent Stochosorb 500 Powder. It is happens with the disruption of C-P bond and appearance of inorganic compound such as phosphoric acid directly in the layer of filtering-sorbing material at the regular atmospheric pressure and temperature not exceeding the body temperature (36.6°C).

The general scheme of Vx hydrolysis catalyzed by enzyme His<sub>6</sub>-ОРН immobilized in sorbing gel, localized inside of enzyme-containing packet of filtering-sorbing protective materials was developed.

The use of enzyme His<sub>6</sub>-ОРН as one of the effective means in a solution of the problem of deep destruction of phosphonic acid derivatives and thereby the solution of safe personnel defense was offered.

The theoretical and practical basis in the field of investigation of new safe materials that can be applied to increase security of activities that are planed in degradation of phosphonic acid derivatives, accumulated within the last decade of organophosphorous compounds' destruction, was created herein.

Ключевые слова: фосфонаты, биокатализаторы, фермент, деструкция, С-Р связь.

Keywords: phosphonates, biocatalysts, enzyme, destruction, C-P bond.

### Биодеструкция С-Р связи в фосфонатах

Фосфонаты являются классом фосфорорганических соединений с С-Р связью, которая весьма устойчива к химическому гидролизу и термическому разрушению [1]. Фосфонаты

встречаются среди соединений как биогенного (2-аминоэтилфосфонової кислота [2], алафосфалин и фосфомицин [3]), так и антропогенного происхождения.

К производным фосфонової кислоты антропогенного происхождения относят-

ся отравляющие вещества (ОВ) нервно-паралитического действия (ви-икс, зарин и зоман). Продуктами их разложения являются менее токсичные эфиры метилфосфоновой кислоты, которые более устойчивы к биоразложению естественной микробиотой почвы, поэтому обнаруживаются спустя десятилетия даже на глубине свыше 1 м [4], однако они подвергаются деструкции под действием бактериальных ферментов.

В настоящее время известно несколько ферментов микроорганизмов, ответственных за процесс деструкции С-Р связи в клетках: фосфонатаза (2-фосфоацетальдегидгидролаза, ЕС 3.11.1.1), специфически разлагающая 2-фосфоацетальдегид [5], фосфоацетатгидролаза (ЕС 3.11.1.2), расщепляющая фосфоацетат [6], фосфонопируватгидролаза (ЕС 5.4.2.9) [7] и С-Р-лиаза [8]. Причём первые три фермента не способны разлагать С-Р связь в метилфосфоновой кислоте и используются в качестве субстратов для очень узкого круга фосфонатов с активированной С-Р связью.

Предполагается, что клетки *E. coli* и других микроорганизмов обладают полиферментным комплексом – С-Р-лиазой, отвечающим за расщепление алкилфосфонатов с неактивированной С-Р связью. В ходе расщепления образуются соответствующие алканы и фосфат, который далее используется в качестве единственного источника фосфора. Генетические исследования установили, что С-Р-лиаза в клетках *E. coli* кодируется четырнадцатью генами *phn* оперона, *phnCDEFGHIJKLMNPO* [9]. *Phn* оперон является частью *Pho* регулона, состоящего из генов и оперонов, транскрипция которых индуцируется в условиях фосфорного голодания.

Установлено, что С-Р-лиаза проявляет свою активность только в клетках, и её актив-

ность никогда достоверно не была обнаружена в бесклеточных экстрактах. Данный факт существенно ограничил изучение механизма действия этого фермента и дал скачок развитию альтернативных методов изучения фермента в поиске аналогичных химических процессов, а также исследованиям *in vivo*. Результатом исследований стали три предположительных механизма действия С-Р-лиазы.

Согласно *первому механизму*, процесс инициируется образованием фосфонильного радикала, последующая фрагментация которого приводит к образованию метафосфата и алкильного радикала. Далее алкильный радикал взаимодействует с растворителем и, отрывая атом водорода от молекулы воды, превращается в алкан. Данный механизм был предложен по аналогии с механизмом химического разрушения С-Р связи с помощью  $Pb(OAc)_4$  при нагревании (рис. 1) [10]. При нагревании  $Pb(OAc)_4$  генерирует большое количество радикалов, которые атакуют алкилфосфонат. В результате внутримолекулярной перегруппировки происходит высвобождение алкильного радикала, который может взаимодействовать с растворителем с образованием алкана или алкена. Данный механизм согласуется с процессом биоразложения алкилфосфонатов ввиду того, что продуктом деградации  $CD_3PO_3H_2$  клетками *E. coli* является  $CD_3H$ .

Образование алкильного радикала является специфической особенностью деградации алкилфосфонатов. Обнаружение среди продуктов деградации не только алканов, но и алкенов свидетельствует в пользу свободно-радикального механизма деградации. Вместе с этим в случае биоразложения фосфонатов количество образовавшихся алканов существенно превышает количество алкенов: их соотношение равно 30:1 [11]. Данное значе-

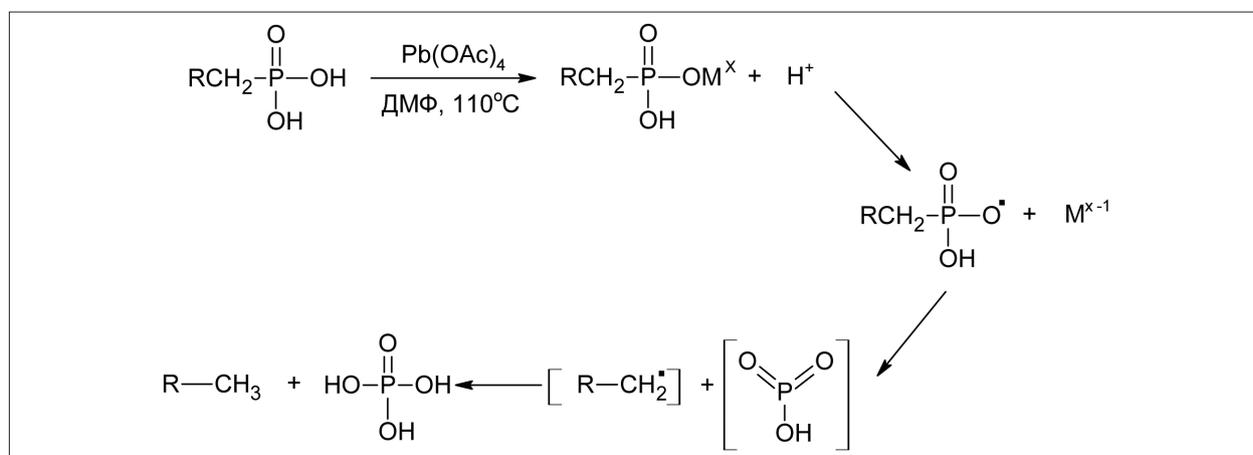


Рис. 1. Радикальный механизм разрушения С-Р связи. ДМФ – диметилформамид, М – металл.

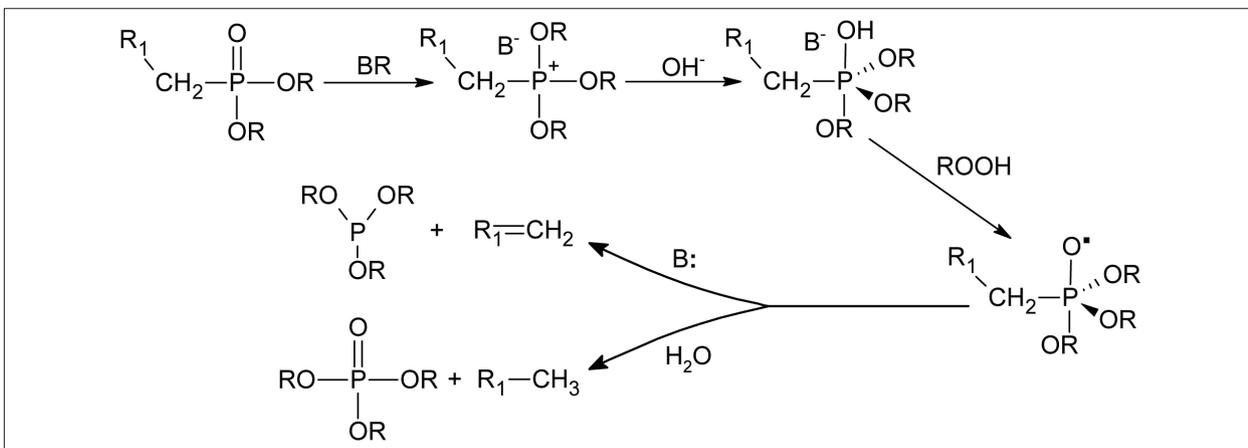


Рис. 2. Схема реакции разрушения С-Р связи, идущая через образование фосфониевого иона.

ние не согласуется с таковым для реакции с  $Pb(OAc)_4$ , для которой оно составляет 8:1. Таким образом, полного соответствия данного механизма с биоразложением С-Р связи не наблюдается. При этом остаётся не выясненным конечный фосфорсодержащий продукт. Предполагается, что разрушающаяся метафосфорная кислота быстро реагирует с водой и образуется ортофосфорная кислота. Однако есть и альтернативное предположение, согласно которому фосфорсодержащий продукт разложения С-Р связи может взаимодействовать с нуклеотидами и участвовать в образовании молекулы АТФ. Учитывая, что в некоторых работах среди продуктов деградации алкилфосфонатов была обнаружена  $\alpha$ -1-этилфосфорнорибоза [12], не исключено, что именно нуклеозиды являются акцепторами фосфорной группы алкилфосфонатов. Кроме того, не выясненным остаётся вопрос отсутствия в качестве продуктов реакции  $R-CH_2OH$  и  $R-CH_2-CH_2-R$ , которые могут образовываться в ходе радикального процесса.

Согласно второму механизму расщепление С-Р связи в алкилфосфонатах с помощью С-Р-лиазы осуществляется через образование фосфониевого иона (рис. 2) [13]. Алкилфосфонаты могут быть превращены в алкилфосфониевые ионы присоединением электрофила по  $Ad_E$  механизму по двойной связи между кислородом и фосфором. Алкилфосфониевые ионы стабилизируются в органических растворителях (хлороформ, ацетонитрил). Далее в результате добавления перекиси водорода происходит образование радикала. Внутримолекулярная перегруппировка приводит к гомолитическому разрыву С-Р связи с образованием алкильного радикала, который, взаимодействуя с растворителем, образует алкан. В присутствии сильного основания

возможно образование алкена, фосфорная группа при этом переходит в фосфит. Алканы, таким образом, будут главными продуктами биodeградации, следовые количества алкенов могут возникать в результате конкурентного  $\beta$ -элиминирования фосфониевого иона.

Недостатком данного механизма является использование в качестве исходного субстрата триэфиров алкилфосфонатов, свойства которых существенно отличаются от свойств солей и кислот. Кроме того, стоит отметить, что образование фосфониевого иона, который возникает только в органических растворителях, маловероятно во внутриклеточных условиях.

Согласно третьему механизму дефосфорилирование происходит как побочная реакция конденсации аминоксидофосфоната с пиридоксалем или с пиридоксальфосфатом (рис. 3) [14].

Исследования реакций трансминирования и дефосфорилирования 2-амино-3-фосфонопропионовой кислоты, катализируемые ионами металла и пиридоксалем [15] показали, что добавление ионов металла является обязательным условием для проведения реакции дефосфорилирования. В смесях, содержащих только 2-амино-3-фосфонопропионовую кислоту, или 2-амино-3-фосфонопропионовую кислоту и пиридоксаль без ионов металла, или 2-амино-3-фосфонопропионовую кислоту с ионами металла, не происходит образование фосфатов.

Следовательно, для реакции дефосфорилирования необходимо присутствие ионов металла и пиридоксала. Более поздние исследования [16] внесли уточнения в механизм реакции аминоксидофосфонатов с пиридоксалем (рис. 4).

Аминогруппа фосфоната образует основание Шиффа с пиридоксалем. Происходит перераспределение электронной плотности и

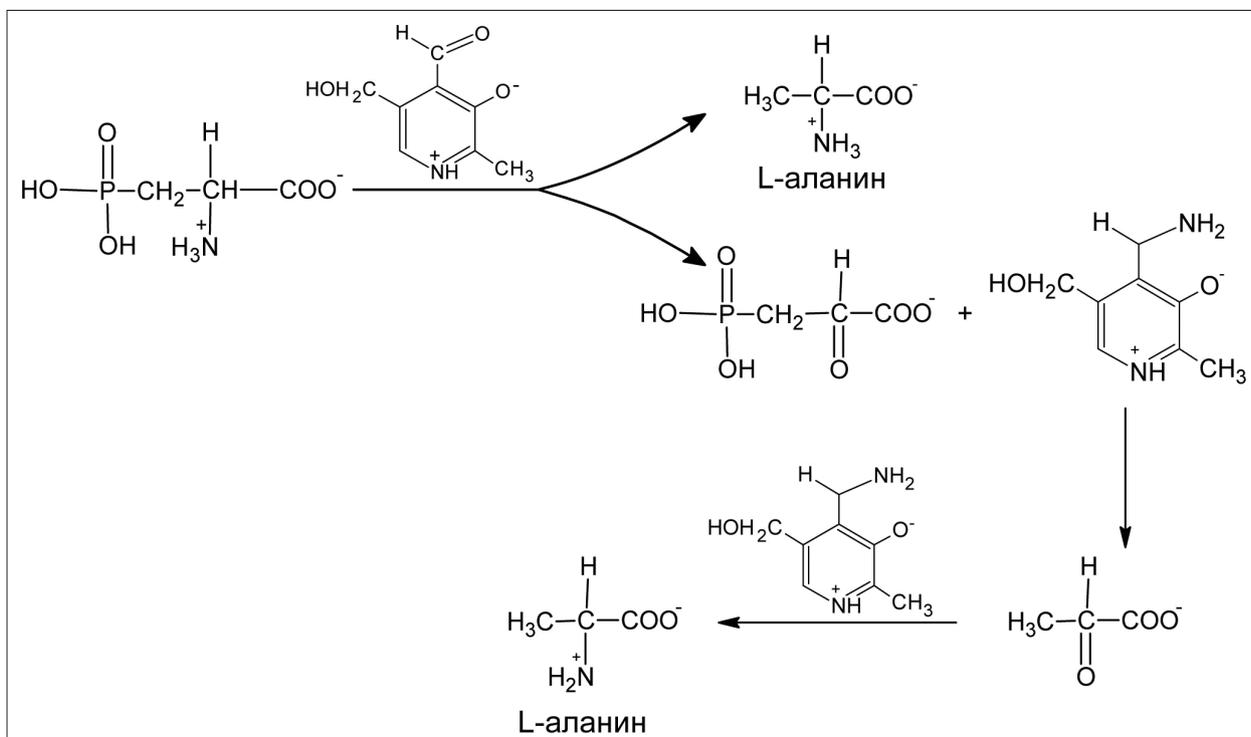


Рис. 3. Образование L-аланина из 2-амино-3-фосфоно-пропионой кислоты под действием пиридоксала.

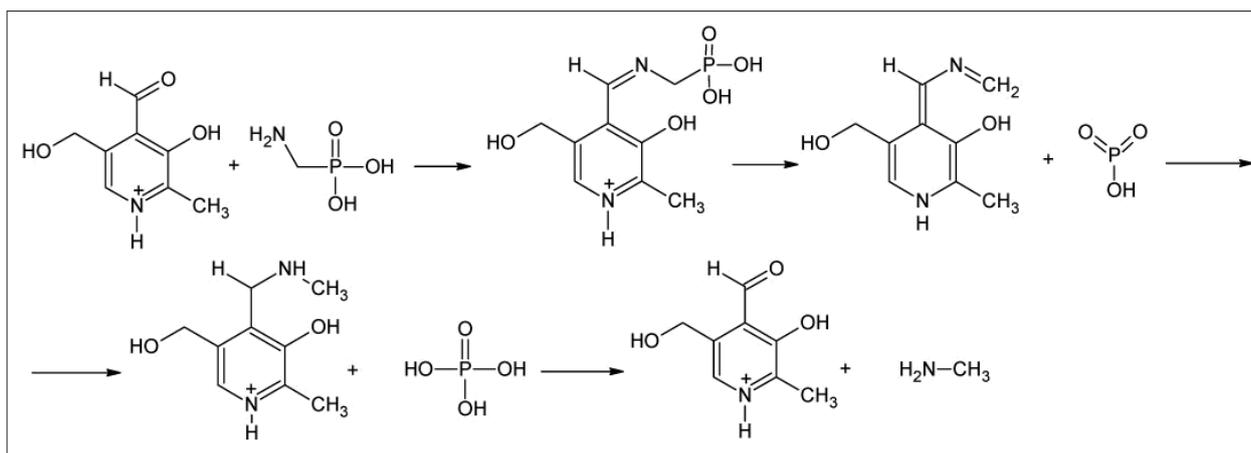


Рис. 4. Механизм реакции дефосфорилирования аминоксфоната с пиридоксалем.

высвобождение метафосфорной кислоты, которая, реагируя с водой, образует ортофосфорную кислоту. Далее происходит гидролиз основания Шиффа с образованием амина и пиридоксала. Исследования разрушения С-Р связи различных субстратов показали [16], что данный механизм имеет ограниченное применение: далеко не все субстраты взаимодействуют согласно ему.

Сегодня чётко установлено, что способность разлагать фосфонаты по С-Р-лиазному механизму встречается среди ферментов грамотрицательных бактерий гораздо чаще, чем среди ферментных систем грамположительных бактерий. Это отдельные представите-

ли семейств *Arthrobacteriaceae*, *Bacillaceae*, *Rhodobacteriaceae*, *Alcaligenaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae* (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Kluyvera*) и *Rhizobiaceae* (*Rhizobium*, *Agrobacterium*).

По способности расщеплять С-Р связь с помощью С-Р-лиазы бактерии делят на три класса [17]. Первый класс бактерий представлен клетками *E. coli*, способными разлагать алкил- и фенилфосфоновую кислоты, но не глифосат. Второй класс бактерий представлен клетками *Enterobacter aerogenes*, способными эффективно разлагать алкил- и фенилфосфоновую кислоты, однако разложение глифосата они производят слабо. Третий класс бактерий представлен клет-

ками рода *Pseudomonas*, способными осуществлять разложение алкил- и фенилфосфоновой кислоты и глифосата одинаково эффективно. Однако интересно отметить, что С-Р-лиазную активность внеклеточных экстрактов как у клеток *E. coli*, так и у *Pseudomonas sp. PG2982* тестировать не удалось [18, 19].

Использование биотехнологического подхода к разрыву С-Р связи в фосфонатах, основанного на применении ферментных технологий, стало возможным только после того, как на протяжении последних 10 лет был проведён большой объём исследований в различных странах мира, направленных на поиск источников выделения ферментов, активных по отношению к фосфонатам и продуктам их химического разрушения [20], на сравнение их каталитических характеристик и оценку возможности масштабирования их производств для практического использования в технологии разложения фосфонатов.

Интересным объектом исследований в процессах разложения фосфонатов стал фермент органофосфатгидролаза (ОРН, ЕС 3.1.8.1) [21], которая характеризуется самой широкой субстратной специфичностью и является единственным ферментом в мире среди всех известных на сегодняшний день, способным гидролизовать ви-икс наряду с заринном и зоманом и продуктами их детоксикации. Учитывая способность ОРН гидролизовать фосфонаты, стала очевидной возможность применения этого фермента в технологии уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ) на разных этапах её реализации: 1) для проведения гидролиза остаточных количеств ФОВ и продуктов их химического гидролиза, 2) в составе индивидуальных самодезазирующих средств защиты от воздействия ФОВ, 3) в составе препаратов и средств, предназначенных для эффективной дегазации территорий, технического инвентаря, оборудования и помещений на объектах по хранению и уничтожению химического оружия.

При введении гексагистидинового ( $\text{His}_6$ ) последовательности на N-конец молекулы ОРН ( $\text{His}_6$ -ОРН) был получен рекомбинантный фермент, который проявлял высокую каталитическую активность по отношению к различным ФОВ в сравнении с другими известными ферментами, гидролизующими подобные соединения: к ви-икс – в 2,2 раза, к зарину – в 7 раз при нейтральном значении рН [5, 6, 8, 22–25].

Успешные результаты по применению  $\text{His}_6$ -ОРН для гидролиза чистых ОВ послу-

жили основанием для проведения испытаний данного фермента в реакциях гидролиза ФОВ в составе реакционных масс [6]. Проведённые исследования показали, что, бесспорно, непрерывные технологии, основанные на применении проточных реакторов, заполненных иммобилизованными формами фермента, представляются наиболее привлекательными способами решения технологических задач [17, 18]. Помимо этого использование иммобилизованных препаратов обеспечивает возможность их многократного применения, что существенно снижает стоимость процесса в целом. Все эти и многие другие факторы увеличивают интерес к разработкам эффективных иммобилизованных форм ОРН для деструкции ФОВ [20, 21].

### Применение $\text{His}_6$ -ОРН в качестве компонента средств защиты для разрыва С-Р связи в молекулах ФОВ

При решении комплекса вопросов, связанных с реализацией технологии уничтожения ФОВ, ферментативное разложение фосфонатов представляет большой интерес для создания новых высокоэффективных средств защиты персонала с использованием ферментсодержащих препаратов.

Обсуждая вопросы, связанные с обеспечением безопасности персонала, следует отметить, что наиболее эффективными в составе средств индивидуальной защиты являются материалы, обеспечивающие не только эффективную сорбцию и удержание ОВ, но и осуществляющие их разложение (дегазацию).

Так, известны различные фильтрующе-сорбирующие защитные материалы, механизм защитного действия которых основан на применении сорбентов, содержащих различные вещества, катализирующие разложение сорбированных токсичных веществ до существенно менее токсичных продуктов.

Такие защитные материалы при попадании на их поверхность зарина в концентрации  $10 \text{ г/м}^2$  обеспечивают его разложение за 3 ч при температуре  $40\text{--}50^\circ\text{C}$ . Однако использование таких химических катализаторов в составе защитных материалов приводит к колоссальному удорожанию самих материалов, поскольку эффективный гидролиз обеспечивается лишь высокой концентрацией катализаторов (до 65% от массы сорбента) и высокой степенью их измельчения (размер гранул до  $250 \text{ мкм}$ ) [26].

Альтернативу химическим катализаторам, вводимым в сорбенты в составе защитных фильтрующе-сорбирующих самодезазирую-

щихся материалов, могут составить ферменты, способные высокоспецифично катализировать гидролиз токсичных веществ, поскольку известно, что скорости разложения ФОВ под действием, например, ОРН превышают скорости реакций, катализируемых химическими реагентами [20, 21], и при этом одинаковая степень конверсии ФОВ обеспечивается существенно меньшими количествами ферментов в сравнении с химическими катализаторами.

Очевидно, что наиболее целесообразным является использование ферментов в иммобилизованной форме, что обеспечивает длительное сохранение каталитической активности ферментов и упрощает процедуру их введения в структуру защитных материалов.

В России разработан ферментсодержащий материал, предназначенный для использования в составе средств индивидуальной защиты от ФОВ. Действие данного материала основано на одновременной абсорбции и детоксикации (гидролизе) ФОВ под действием иммобилизованного фермента  $\text{His}_6$ -ОРН [27]. В качестве носителя для физической иммобилизации фермента используется сорбент на основе акрилата, который обладает колоссальной абсорбционной ёмкостью и способен удерживать большие объёмы сорбируемых веществ. Такой фильтрующе-сорбирующий самодегазирующийся материал при нанесении на его поверхность ви-икс в концентрации  $10 \text{ г/м}^2$  обеспечивает нейтрализацию его паров при температуре до  $45^\circ\text{C}$  на 100% за 3–7 ч. при рН 7,8–10,5, гарантируя отсутствие паров токсичного химиката за слоем защитного материала на протяжении не менее 96 часов. Данный материал сохраняет свои защитные свойства на 100% после его хранения в герметичной упаковке до 12 месяцев.

При проведении исследований по оценке защитных характеристик ферментсодержащих пакетов материалов по ФОВ на примере вещества ви-икс был предположен следующий механизм их защитного действия от ФОВ.

В защитном слое ферментсодержащих пакетов фильтрующе-сорбирующих защитных материалов сначала осуществляется сорбция подведённых к нему паров ФОВ и их растворение в жидкости, содержащейся в сорбционном геле, создаваемом суперсорбентом Stochosorb 500 Powder. Затем растворённый токсичный химикат (ТХ) равномерно распределяется в объёме сорбционного геля и молекулы ТХ поступают к активному центру фермента  $\text{His}_6$ -ОРН, и далее под действием фермента происходит гидролиз ТХ (ФОВ).

Для подтверждения этого механизма защитного действия ферментсодержащих пакетов фильтрующе-сорбирующих защитных материалов были проведены исследования на пакетах материалов, в защитном слое которых использовался сорбционный гель с иммобилизованным ферментом  $\text{His}_6$ -ОРН и на его аналоге, не содержащем фермент, который использовался в качестве контроля.

Было установлено, что представляющие собой олеофобную мембрану верхние слои изучаемых пакетов материалов содержат ви-икс и дисульфид – один из первичных продуктов его распада, в то время как в нижнем слое ферментсодержащего пакета материалов ви-икс и дисульфид отсутствуют, однако присутствуют продукты деструкции вещества ви-икс: метилфосфоновая кислота, её кислый эфир и фосфорная кислота.

В нижнем слое контрольного пакета в отличие от ферментсодержащего пакета ви-икс и дисульфид были обнаружены, хотя и в меньших количествах, чем в верхнем слое (на один десятичный порядок меньше), что свидетельствует о том, что основная часть ФОВ осталась на поверхности покровного слоя. Согласно проведённому хроматографическому определению было установлено, что продукты деструкции вещества ви-икс-метилфосфоновая кислота, её кислый эфир и фосфорная кислота в нижнем слое контрольного пакета отсутствуют.

Наличие кислого эфира метилфосфоновой кислоты, самой метилфосфоновой кислоты и фосфорной кислоты в нижнем слое ферментсодержащего пакета свидетельствует о произошедшем биокаталитическом процессе гидролиза как самого вещества ви-икс, так и продуктов его деструкции (эфиров метилфосфоновой кислоты, метилфосфоновой кислоты) под действием иммобилизованного фермента  $\text{His}_6$ -ОРН. Обнаружение фосфорной кислоты в свою очередь указывает на возможное расщепление С-Р связи в метилфосфоновой кислоте.

Таким образом, проведённые исследования на примере гидролиза вещества ви-икс подтвердили предполагаемый механизм защитного действия ферментсодержащих пакетов материалов, основанный на реакции ферментативного гидролиза ФОВ.

Выдвинутое предположение о возможности расщепления С-Р связи в процессе ферментативной деструкции ФОВ и первичных продуктов представляется чрезвычайно важным, так как гарантирует обеспечение надёжной защиты организма человека при использовании в средствах индивидуальной

защиты ферментсодержащих пакетов материалов не только от самих высокотоксичных ФОВ, но и от достаточно токсичных продуктов их первичного гидролиза (например, эфиров метилфосфоновой кислоты).

Для подтверждения этого было проведено исследование гидролиза ФОВ непосредственно в ферментсодержащем гелеобразующем полимерном сорбенте. Было показано, что ферментативному гидролизу под воздействием His<sub>6</sub>-ОРН подвергается не только вещество ви-икс (вещество не обнаруживается), но и метилфосфоновая кислота и её эфиры. Вместо этих соединений была обнаружена фосфорная кислота – продукт деструкции метилфосфоновой кислоты. Фосфорная кислота могла в исследуемой системе образоваться только при расщеплении С-Р связи между атомом фосфора и метильным радикалом в молекуле метилфосфоновой кислоты.

При этом необходимо отметить, что использовавшиеся в ходе вышеизложенных исследований ви-икс и метилфосфоновая кислота перед началом экспериментов были подвергнуты тщательной проверке на наличие примесей, и фосфорная кислота при этом обнаружена не была.

Проведённые исследования и полученные результаты позволили разработать общую схему реакции гидролиза вещества ви-икс под действием фермента His<sub>6</sub>-ОРН, иммобилизованного в сорбционном геле ферментсодержащих пакетов фильтрующе-сорбирующих защитных материалов (рис. 5).

Таким образом, на примере вещества ви-икс было установлено, что фермент His<sub>6</sub>-ОРН, иммобилизованный в гелеобразующем полимерном сорбенте, способен катализировать расщепление как Р-S и Р-О связей, а также Р-F и Р-CN связей, как было установлено ранее [20, 22], так и С-Р связи, и осуществлять деструкцию как высокотоксичных фосфорорганических отравляющих веществ, так и первичных продуктов их гидролиза, до образования фосфорной кислоты – неорганического соединения, т.е. проводить минерализацию фосфорорганических токсичных химикатов.

Как установлено, ферментативный гидролиз ви-икс под действием органофосфатгидролазы является наиболее трудноосуществимым, что позволяет считать данный ТХ «тест-веществом» по ферментативному гидролизу фосфорорганических соединений так же, как иприт уже давно является «тест-веществом» по проникновению через защитные материалы [20].

### Заключение

На сегодняшний день изучение возможности использования ферментов, способных осуществлять гидролиз ФОВ, является одним из главных направлений исследований специалистов, решающих вопросы экологически приемлемой детоксикации фосфонатов в различных странах мира.

Совокупность достижений в области химической энзимологии и биотехнологии обеспечила наличие научно-практической базы для развития нового ферментативного подхода к решению комплекса ключевых проблем, связанных как с реализацией технологий уничтожения ФОС, так и с обеспечением безопасности занятого в данном процессе персонала.

Проведённые экспериментальные исследования показали, что под действием фермента His<sub>6</sub>-ОРН, иммобилизованного в сорбционном геле, образованном суперсорбентом Stochosorb 500 Powder, реакция гидролиза ФОВ нервно-паралитического действия ви-икс проходит с разрушением С-Р связи и образованием неорганического соединения – фосфорной кислоты.

Полученные результаты позволяют предложить использование фермента His<sub>6</sub>-ОРН в качестве одного из эффективных путей решения проблемы глубокого разложения фосфонатов, а также обеспечения надежной защиты персонала. Созданный научно-практический задел в этой области исследований новых защитных материалов может быть применён для повышения безопасности работ, планируемых к проведению для разложения фосфонатов, накопленных за предыдущие годы уничтожения ФОС.

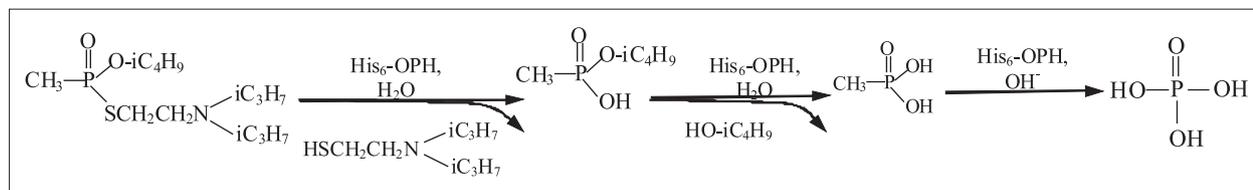


Рис. 5. Общая схема ферментативного гидролиза ви-икс с разрушением С-Р связи и образованием фосфорной кислоты.

## Литература

1. Freedman L.D., Doak G.O. The preparation and properties of phosphonic acids // *Chem. Rev.* 1957. V. 57. № 3. P. 479–523.
2. Horiguchi M., Kandatsu M. Isolation of 2-aminoethane phosphonic acid from Rumen protozoa // *Nature.* 1959. V. 184. № 4690. P. 901–902.
3. Hilderbrand R.L., Henderson T.G. The role of phosphonates in living system. London: C.R.C. Press. 1989. P. 5–30.
4. Small M.J. Compounds formed from the chemical decontamination of HD, GB, and VX and their environmental fate. Fort Detrick, MD: U.S. Army Medical Bioengineering research and Development Laboratory. Tech rpt 8304, 1984. DTIC accession no. AD-A149515.
5. LaNauze J.M., Rosenberg H., Shaw D.C. The enzymic cleavage of the carbon-phosphorus bond: Purification and properties of phosphonate // *Biochim. Biophys. Acta.* 1970. V. 212. P. 332–350.
6. McMullan G., Quinn J.P. In vitro characterization of a phosphate starvation-independent carbon-phosphorus bond cleavage activity in *Pseudomonas fluorescens* 23F // *J. Bacteriol.* 1994. V. 176. № 2. P. 320–324.
7. Ternan N.G., Hamilton J.T.G., Quinn J.P. Initial in vitro characterisation of phosphonopyruvate hydrolase, a novel phosphate starvation-independent, carbon-phosphorus bond cleavage enzyme in *Burkholderia cepacia* Pal6 // *Arch. Microbiol.* 2000. V. 173. № 1. P. 35–41.
8. Wackett L.P., Shames S.L., Venditti C.P., Walsh C.T. Bacterial carbon-phosphorus lyase: products, rates, and regulation of phosphonic and phosphinic acid metabolism // *J. Bacteriol.* 1987. V. 169. № 2. P. 710–717.
9. Metcalf W.W., Wanner B.L. Mutational analysis of an *Escherichia coli* fourteen-gene operon for phosphonate degradation, using Tnpho A elements // *J. Bacteriol.* 1993. V. 175. P. 3430–3442.
10. Frost J.W., Loo S., Cordeiro M.L., Li D. Radical-based dephosphorylation and organophosphonate biodegradation // *J. Am. Chem. Soc.* 1987. V. 109. P. 2166–2174.
11. Cordeiro M.L., Pompliano D.L., Frost J.W. Degradation and detoxification of organophosphonates: cleavage of the carbon-phosphorus bond // *J. Am. Chem. Soc.* 1986. V. 108. P. 332–334.
12. Avila L.Z., Draths K.M., Frost J.W. Metabolites associated with organophosphonate C-P bond cleavage: chemical synthesis and microbial degradation of [<sup>32</sup>P]-ethylphosphonic acid // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 1991. V. 1. № 1. P. 51–54.
13. Avila L.Z., Bishop P.A., Frost J.W. Hydrocarbon and phosphate triester formation during homolytic hydrolysis of organophosphonium ions: an alternate model for organophosphonate biodegradation // *J. Am. Chem. Soc.* 1991. V. 113. № 6. P. 2242–2246.
14. Cassaigne A., Lacoste A.-M., Neuzil E. Transamination non enzymatique des acides amines // *Biochim. Biophys. Acta.* 1971. V. 252. P. 506–515.
15. Martell A.E., Langohr M.F. Metal ion- and pyridoxal-catalysed transamination and dephosphorylation of 2-amino-3-phosphonopropionic acid. A new phosphonate model // *J. Chem. Soc. Chem. Comm.* 1977. V. 10. P. 342–344.
16. Avila L.Z., Loo S.H., Frost J.W. Chemical and mutagenic analysis of aminomethylphosphonate biodegradation // *J. Am. Chem. Soc.* 1987. V. 109. № 22. P. 6758–6764.
17. Матыс С.В. Деградация метилфосфоната *E. coli*: физиологические и биохимические аспекты. Диссертация. 2003. С. 56.
18. Нифантьев Э.Е. Химия фосфорорганических соединений. М.: 1971.
19. Кононова С.В., Несмеянова М.А. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами // *Биохимия.* 2002. Т. 67. С. 220–233.
20. Ефременко Е.Н., Варфоломеев С.Д. Ферменты деструкции фосфорорганических нейротоксинов // *Успехи биологической химии.* 2004. Т. 44. С. 307–340.
21. Ефременко Е., Сергеева В. Органофосфатгидролаза – фермент, катализирующий деградацию фосфорсодержащих отравляющих веществ и пестицидов // *Известия АН Сер. Хим.* 2001. Т. 10. С. 1743–1749.
22. Dumora C., Marche M., Doignon F., Aigle M., Cassaigne A., Crouzet M. First characterization of the phosphonoacetaldehyde hydrolase gene of *Pseudomonas aeruginosa* // *Gene.* 1997. V. 197. № 1-2. P. 405–412.
23. Baker A.S., Ciocci M.J., Metcalf W.W., Kim J., Babbitt P.C., Wanner B.L., Martin B.M., Dunaway-Mariano D. Insights into the mechanism of catalysis by the P-C bond-cleaving enzyme phosphonoacetaldehyde hydrolase derived from gene sequence analysis and mutagenesis // *Biochemistry.* 1998. V. 37. P. 9305–9315.
24. Quinn J.P., Peden J.M.M., Dick R.E. Carbon-phosphorus bond cleavage by gram-positive and gram-negative soil bacteria // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1989. V. 31. P. 283–287.
25. Schowanek D., Verstraete W. Phosphonate utilization by bacterial cultures and enrichments from environmental samples // *Appl. Environ. Microbiol.* 1990. V. 56. P. 895–903.
26. Vempati R.K., Biehl E.R., Hegde R.S., Don Y.S. Method fo degrading chemical warfare agents using MN (VII) oxide with and without solid support // Патент США № 8084662 B2 (27.12.2011).
27. Ефременко Е.Н., Завьялов В.В., Завьялова Н.В., Гореленков В.К., Гудков Д.А., Лягин И.В., Варфоломеев С.Д., Холстов В.И. Фильтрующе-сорбирующий самодегазирующийся материал для средств индивидуальной защиты от воздействия фосфорорганических соединений // Патент РФ на изобретение № 2330717 (10.08.2008). Бюл. № 22.

## Технология получения активных углей на основе уплотнённого растительного сырья

© 2015. В. М. Мухин<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, Ю. Ф. Таранченко<sup>2</sup>, к.х.н., с.н.с.,  
Т. В. Гиматдинов<sup>3</sup>, аспирант,

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>3</sup>Открытое акционерное общество «Электростальское научно-  
производственное объединение «Неорганика»,  
e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье представлены материалы исследований по разработке высокоактивного угля с применением отечественной сырьевой базы, предназначенного, в том числе для восстановления почв.

Показано, что исходное сырье является одним из определяющих факторов при формировании основных качественных показателей углеродных адсорбентов: насыпной плотности, параметров пористой структуры, адсорбционных свойств и механической прочности. В качестве сырья для изготовления активных углей (АУ), отвечающих современным требованиям, были исследованы уплотнённое растительное сырье в виде скорлупы орехов и оболочки ядер плодов фруктовых деревьев – персика и абрикоса. Установлено, что угли на основе оболочек ядер плодов абрикоса и персика по своим свойствам находятся на одном уровне с АУ на основе скорлупы кокосовых орехов, а по многим показателям значительно превосходят серийно выпускаемые на данный момент отечественные угли.

Предложен эффективный приём восстановления почв, загрязнённых пестицидами, на основе углеадсорбционной детоксикации. Способ включает в себя внесение в почву активного угля (АУ) в виде зёрен, порошка или водной суспензии, которые обеспечивают поглощение пестицидов из почвы. Экспериментально установлено, что применение активированного угля УРС-ПА в дозе 100 г/га способствует полному снятию эффекта токсичности и данная марка активированного угля может быть использована для восстановления почв.

The article presents the research on the development of highly active coal using domestic raw material base for soil restoration.

It is shown that the feedstock is one of the main factors in forming quality indicators of carbon adsorbents, such as bulk density, parameters of porous structure, adsorption properties and mechanical strength. Compact vegetable raw material, such as nut shell and fruit stone shells of peach and apricot, was used for manufacturing activated carbons (AC) meeting modern requirements. It was found that coal based on fruit stone shells of apricot and peach are on the same level with the AC based on coconut shell, and in many ways they are far superior to the contemporary commercially available domestic coal. An effective technique of restoring soil contaminated with pesticides through carbon-adsorption detoxification is suggested. The method comprises incorporating active carbon (AC) in the form of grains, powder, or aqueous suspension, into the soil, which provides absorption of soil pesticides. It is experimentally established that the use of activated carbon SRU-PA at a dose of 100 g/ha contributes to the overall effect of toxicity elimination, and this brand of activated carbon can be used to restore soil.

The article presents the research on the development of highly active coal using domestic raw material base for soil restoration.

It is shown that the feedstock is one of the main factors in forming quality indicators of carbon adsorbents, such as bulk density, parameters of porous structure, adsorption properties and mechanical strength. Compact vegetable raw material, such as nut shell and fruit stone shells of peach and apricot, was used for manufacturing activated carbons (AC) meeting modern requirements. It was found that coal based on fruit stone shells of apricot and peach are on the same level with the AC based on coconut shell, and in many ways they are far superior to the contemporary commercially available domestic coal. An effective technique of restoring soil contaminated with pesticides through carbon-adsorption detoxification is suggested. The method comprises incorporating active carbon (AC) in the form of grains, powder, or aqueous suspension, into the soil, which provides absorption of soil pesticides. It is experimentally established that the use of activated carbon SRU-PA at a dose of 100 g/ha contributes to the overall effect of toxicity elimination, and this brand of activated carbon can be used to restore soil.

Ключевые слова: углеадсорбционная детоксикация, реабилитация почв, уплотнённое растительное сырье, скорлупа орехов, оболочки ядер плодов фруктовых деревьев, активированные угли.

Keywords: carbon-absorption detoxification, soil rehabilitation, compact vegetable raw, nut shells, fruit stone shells, activated carbons.

Впервые с масштабным применением химического оружия (ХО) человечество столкнулось 22 апреля 1915 года в годы первой мировой войны, когда неподалёку от Бельгийского города Ипр в результате рассеяния хлора из 6000 баллонов в страшных мучениях погибло более 5000 человек. На мировой арене появилось новое страшное оружие, ужасающее своей убойной силой и непредсказуемыми последствиями. В этом году исполнилось ровно 100 лет событиям, предопределившим целую эпоху разработки, производства и утилизации отравляющих веществ (ОВ), составляющих основу химического оружия [1-5].

По предварительным итогам реализации целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации», утверждённой постановлением Правительства Российской Федерации 21 марта 1996 г. № 305, к апрелю 2015 г. Российской Федерацией уничтожено более 34,6 тыс. тонн ОВ, или свыше 86 % от имевшихся порядка 40 тыс. тонн запасов. Данный факт свидетельствует о том, что Российская Федерация верна принятым на себя международным обязательствам, а также тому, что процесс уничтожения запасов ХО находится на завершающей стадии.

Для реализации программных обязательств было построено 7 специализированных объектов по уничтожению химического оружия (непосредственно в местах его хранения): «Горный» – Саратовская область, «Камбарка» и «Кизнер» – Удмуртская Республика, «Марадыковский» – Кировская область, «Леонидовка» – Пензенская область, «Щучье» – Курганская область, «Почеп» – Брянская область. В 2005 и 2009 гг. полностью завершили работу по предназначению объекты в пос. Горный и г. Камбарке. В 2015 г. к ним присоединятся объекты в пос. Леонидовка, пгт. Мирный, г. Почеп и г. Щучье.

По словам полномочного представителя Президента РФ в Приволжском федеральном округе М. Бабича, все объекты, принимавшие участие в уничтожении ХО, планируется вовлечь в хозяйственную деятельность в интересах государства или бизнеса. С целью выполнения данной задачи из совокупности мероприятий, необходимых для вовлечения данных объектов в хозяйственный оборот, одной из основных является реабилитация и рекультивация почв. Экологический аспект таких работ очевидный. При уничтожении ОВ на том или ином объекте достигались показатели их деструкции, делающие их безопасными для человека.

С другой стороны, происходящие в течение многих десятилетий процессы хранения и уничтожения ХО, могли обуславливать загрязнение почв сверхтоксичными ксенобиотиками. При передаче таких земель под строительство объектов жилья и промышленности необходимо проводить мероприятия по реабилитации таких территорий, и введения их в хозяйственную деятельность. Для безопасного пребывания людей на таких территориях земельный покров должен быть обезврежен.

Пестициды, как и ОВ, относятся к классу стойких органических загрязнителей (СОЗ), поэтому технологии реабилитации почв загрязнённых пестицидами полностью могут быть применены и к решению задач реабилитации почв, загрязнённых продуктами уничтожения, а также отходами производства химического оружия.

Наиболее эффективным приёмом восстановления почв, загрязнённых остатками пестицидов, является их углеадсорбционная детоксикация. Способ включает в себя внесение в почву активного угля (АУ) в виде зёрен, порошка или водной суспензии, который обеспечивает достаточно быстрое поглощение пестицидов из почвенных растворов в фиксированное пористым материалом с развитой адсорбирующей поверхностью состояние, что резко ограничивает интенсивность и саму возможность контакта корневой системы растений с этими токсикантами. Последующее высвобождение (десорбция) пестицидов из АУ может иметь место как растянутый во времени процесс, не создающий в упомянутых растворах сколько-нибудь высоких концентраций десорбированных ядохимикатов, подавляющих способность почв к самоочищению. Таким образом, углеадсорбционная обработка загрязнённых почв создаёт условия, снижающие или исключаящие опасность экологического ущерба [6–7].

В литературе имеется большое число работ по реабилитации почв, загрязнённых пестицидами, которые также относятся к классу токсичных химикатов [8–10].

Задача нашего исследования заключалась в разработке высокоактивного угля с применением отечественной сырьевой базы, предназначенного, в том числе, для восстановления почв.

Исходное сырьё является одним из определяющих факторов при формировании основных качественных показателей углеродных адсорбентов: насыпная плотность, параметры

Таблица 1

Физико-химические характеристики и параметры пористой структуры АУ из различных видов сырья [11]

Марка АУ	$\Delta$ , г/дм <sup>3</sup>	П, %	Массовая доля золы	Объём пор, см <sup>3</sup> /г		Доля микропор в суммарном объёме пор, %	Адсорбционная активность, мг/г	
				$V_{\Sigma}$	$V_{ми}$		по йоду	по метиленовому голубому
АГ-3	470	75	12,0	0,80	0,25	31	700	200
АР-В	600	60	13,1	0,58	0,24	41	600	150
СКТ-3	550	70	14,7	0,75	0,40	53	950	210
АРТ-1	500	70	6,0	0,80	0,44	43	800	200
БАУ-А	240	40	10,0	1,70	0,32	20	650	200
ОУ-А	-	-	-	0,75	0,28	37	550	225
Требования современных углеадсорбционных процессов	400-500	>85	<5,0	0,7-1,4	>0,5	>70	>900	>250

Примечание:  $\Delta$  – насыпная плотность АУ; П – прочность АУ.

Таблица 2

Характеристики АУ из скорлупы кокосовых орехов

Марка АУ	Производитель	$\Delta$ , г/дм <sup>3</sup>	П, %	Массовая доля золы, %	Объём пор, см <sup>3</sup> /г		Доля микропор в суммарном объёме пор, %	Адсорбционная активность, мг/г по	
					$V_{\Sigma}$	$V_{ми}$		йоду	метил. голубому
PHO 8x30	Еврокарб, Великобритания	580	91	3,7	0,45	0,35	78	940	150
YAO 18x40	Еврокарб, Великобритания	473	91	0,8	0,70	0,40	57	940	234
WSC-207GR	СатклифСпикмен, Великобритания	497	90	5,0	0,62	0,36	58	920	110
Norit RO 3515	Норит, Нидерланды	545	90	4,9	0,62	0,36	58	770	90
JX-102	Китай	622	93	4,6	0,51	0,31	60	400	100
8X16	Индия	525	91	3,0	0,51	0,32	62	690	100

Примечание:  $\Delta$  – насыпная плотность АУ; П – прочность АУ.

пористой структуры, адсорбционные свойства и механическая прочность.

Традиционно в нашей стране основными видами сырья для производства АУ являлись каменные угли (АУ марок АГ и АР), торф (АУ марок СКТ и АРТ) и древесина (АУ марок БАУ и ОУ) (табл. 1). Эти АУ хотя и удовлетворяют основным требованиям потребителей, в то же время имеют ряд существенных недостатков, ограничивающих их применение.

Как следует из данных, приведённых в таблице 1, серийно выпускаемые отечественные АУ имеют низкую прочность, высокое содержание золы, недостаточное развитие объёма микропор и большую долю «балластных» транспортных макропор.

Поиск прорыва в области высококачественного сырья для изготовления АУ, отвечающих современным требованиям, закономерно привёл к уплотнённому растительному сырью (УРС), в частности, к скорлупе орехов и оболочкам ядер плодов абрикоса и персика.

Безусловно, лучшими АУ являются угли на основе скорлупы кокосового ореха. Особенность основы из скорлупы кокосовых орехов, являющейся идеальным сырьём для получения АУ, как раз и заключается в их высокой плотности, поэтому пористая структура карбонизованной скорлупы при медленном проведении низкотемпературной стадии термического разложения характеризуется весьма малым развитием мезо- и макропористости с большим числом относительно равномерно распределённых центров или зародышей образования микропор. В результате, при деликатном активировании карбонизованной скорлупы до обгаров 50-60% преимущественно развиваются микропоры, объём которых может достигать 0,5-0,6 см<sup>3</sup>/г с характеристической энергией адсорбции  $E_0 = 18,82-20,92$  кДж/моль при сумме объёмов мезо- и макропор, не превышающей 0,2 см<sup>3</sup>/г. Отсутствие в структуре АУ излишних объёмов мезо- и макропор обуславливает высокую

Таблица 3

Физико-химические показатели АУ из УРС

№ п/п	Основа	$\Delta$ , г/дм <sup>3</sup>	Массовая доля золы, %		Массовая доля железа, %	
			общей	водорастворимой	общего	водорастворимого
1	Оболочка ядер плодов персика	545	4,00	1,30	0,14	91,3
2	Оболочка ядер плодов абрикоса	570	3,70	1,25	0,09	92,0
3	Скорлупа грецкого ореха	410	3,4	1,20	0,12	88,8
4	Скорлупа кедрового ореха	165	3,6	1,80	0,08	87,0

Примечание:  $\Delta$  – насыпная плотность АУ.

механическую прочность угля [12–15]. В таблице 2 приведены характеристики широко применяемого в мире АУ из скорлупы коксового ореха ряда производителей.

Анализ физико-химических свойств АУ из скорлупы коксовых орехов показывает, что они отвечают всем современным требованиям, предъявляемым к АУ по прочности, зольности и развитию микропор. Это, главным образом, предопределило их широкое применение в самых различных угледсорбционных процессах, особенно в западных странах [16–18].

Однако важно отметить, что данный тип уплотнённого растительного сырья на территории РФ отсутствует. Поэтому проведён широкий поиск альтернативной основы данного растительного сырья.

Нами были исследованы следующие типы отечественного УРС: оболочки ядер плодов абрикоса и персика (Краснодарский край), грецкого ореха (Ростовская область), кедрового ореха (Иркутская область) с целью получения АУ. В таблице 3 приведены физико-химические показатели АУ из данных типов УРС.

Получение АУ из отечественного УРС проводилось в две стадии. На первой стадии исходную оболочку ядер плодов (скорлупу) дробили и высеивали фракцию 1–3 мм, которую подвергали карбонизации в ретортной печи со скоростью подъёма температуры 5–7°С/мин до конечной температуры 450–500°С, и выдерживали при конечной температуре карбонизата в течение 40 мин. Затем на второй стадии реторту переводили в режим активации, которую осуществляли при температуре 850–870°С, при расходе водяного пара 6 кг на 1 кг выгружаемого продукта.

В данном случае скорость подъёма температуры при проведении процесса карбонизации имеет определяющее значение, особенно в зоне основного выделения летучих веществ. Это связано с тем, что при пиролизе (карбонизации) органической массы протекают сложные процессы, которые сопровождаются одновременно протекающими реакциями разложения и конденсации (уплотнения).

Основная стадия термической деструкции заключается, главным образом, в разрушении высокомолекулярных веществ на низкомолекулярные, вследствие отрыва периферийных радикалов и отщепления отдельных групп (карбокисильных и гидроксильных). В результате удаления боковых цепей образуются свободные валентности у периферийных атомов углерода, которые, соединяясь между собой, образуют высококонденсированное вещество (полукокс или кокс). При быстром проведении данного процесса следует ожидать разрыв органических молекул исходного сырья на значительное число крупных «осколков», в то же время при медленном нагреве отрываются наиболее слабоудерживаемые группы атомов [15].

Основными преимуществами медленного подъёма температуры являются: высокая насыпная плотность и механическая прочность; образование большого количества кристаллитов (зародышей микропор), позволяющих получить в процессе активации высокий объём микропор и супермикропор.

Активирование (активация) также является одной из основных ответственных стадий технологического процесса получения углеродных адсорбентов. При этом важно отметить, что в предложенном способе получения АУ оболочек ядер плодов абрикоса и персика, при обгарах 40–50%, начинает формироваться полимодальная микропористая структура, размер микропор находится в широком диапазоне 0,3–1,5 нм, что позволяет сорбировать вещества с различной молекулярной массой. Этот фактор является важным критерием для выполнения задач настоящего исследования.

В таблице 4 приведены параметры пористой структуры и адсорбционные свойства АУ из различных типов УРС.

Анализ данных о параметрах пористой структуры, представленных в таблице 4, в совокупности с данными о физико-химических и адсорбционных свойствах, полученных АУ показал, что угли на основе оболочек ядер плодов абрикоса и персика по своим

Таблица 4

Характеристика важных технических показателей АУ из УРС

Основа	Обгар, %	$\Delta$ , г/дм <sup>3</sup>	П, %	Параметры пористой структуры по ТОМЗ					Адсорбционная активность по йоду
				$V_{\Sigma}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{ми}$ , см <sup>3</sup> /г	$W_0$ , см <sup>3</sup> /г	$E_0$ , кДж/моль	$X_0$ , нм	
Оболочка ядер плодов персика	40-50	390	94	0,90	0,50	$W_{01}=0,40$ $W_{02}=0,20$	$E_{01}=19,1$ $E_{02}=10,3$	$X_{01}=0,52$ $X_{02}=0,97$	1150
Оболочка ядер плодов абрикоса	40-50	370	85	0,75	0,34	$W_{01}=0,38$ $W_{02}=0,20$	$E_{01}=19,7$ $E_{02}=11,2$	$X_{01}=0,71$ $X_{02}=1,04$	1000
Скорлупа грецкого ореха	40-50	410	88,8	0,83	0,30	0,31	26,6	1,52	670
Скорлупа кедрового ореха	40-50	165	87,0	1,80	0,35	0,36	25,4	1,34	780

Примечание:  $\Delta$  – насыпная плотность АУ; П – прочность АУ.

Таблица 5

Нейтрализация отрицательного действия остатков гербицидов АУ в вегетационном сосуде

Доза хлорсульфурана, г/га	Доза АУ, кг/га	Масса надземных органов опытных растений, % к контролю			
		Огурцы	Томаты	Свекла	Редис
0,4	0	81	60	2	70
0	25	99	99	93	106
0,4	25	76	76	15	97
0	50	104	104	99	107
0,4	50	82	82	25	101
0	100	109	109	98	113
0,4	100	97	97	58	106

свойствам находятся на одном уровне с АУ на основе скорлупы кокосовых орехов, а по некоторым показателям значительно превосходят серийно выпускаемые на данный момент отечественные угли.

Нами также были проведены экспериментальные исследования по изучению сорбционных свойств АУ из УРС по отношению к одному из типичных гербицидов. Для эксперимента были отобраны АУ из оболочки ядер плодов абрикоса и персика (для целей настоящей работы, именуемые в дальнейшем УРС-ПА). В эксперименте использовались образцы дерново-подзолистой почвы (наиболее характерной для Подмосковья) с опытного поля Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ). В качестве тест-растений использовали огурцы, томаты, столовую свёклу и редис.

Образцы почв, просеянные через 5 мм сито, обрабатывали загрязнителем, которым в нашем случае был гербицид хлорсульфуран (ХСФ) в дозе 0,4 г/га. Выбор такого загрязнителя почвы был обусловлен тем, что это типичный представитель гербицидов последнего поколения, обладающий уникальной физиологической активностью, долго сохраняющийся в почве. Контролем служили образцы почвы, не обработанные ХСФ. Перед посевом тест-растений различные дозы АУ УРС-ПА вносили в почву в виде мелкодисперсного по-

рошка с размером частиц <90 мкм. Почвенную смесь тщательно перемешивали и помещали в вегетационные сосуды (парафированные бумажные стаканы), вместимостью 600 г почвы, после чего высевали семена испытуемых тест-растений.

Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 5.

Данные, приведённые в таблице 5, свидетельствуют, что внесение в почву АУ УРС-ПА в дозах до 100 кг/га (если бы его вносили на реальную почву) оказывает благоприятное влияние на рост и развитие тест-растений, выращенных на почве, загрязнённой остатками ХСФ, токсическое действие которого сильнее всего проявилось на столовой свёкле и томатах.

Применение АУ в дозе 100 кг/га полностью снимает эффект токсичности ХСФ для огурцов, томатов и редиса, и особенно ярко это наблюдается на свёкле.

В соответствии с принятой системой тестирования новых гербицидов, а также методами реабилитации почв, загрязнённых их остатками (разработаны ВНИИФ), было установлено, что результаты вегетационных опытов (в сосудах), проведённых по стандартной методике, полностью воспроизводятся в полевых испытаниях [19].

В результате проведённого исследования получены образцы АУ из уплотнённого расти-

тельного сырья и пригодного для проведения мероприятий по реабилитации почв. Установлено, что оптимальной основой для получения АУ с целью применения при восстановлении почв является оболочка ядер плодов персика и абрикоса, ввиду образования при обгарах до 50% полимодальной микропористой структуры, имеющей принципиальное значения для целей настоящей работы. Полученный опытный образец АУ УРС-ПА в дозе 100 кг/га позволяет полностью снять эффект токсичности, что в целом способствует использованию восстановленных почв в хозяйственном обороте.

В настоящее время ведётся разработка технической документации на изготовление опытно-промышленной партии АУ с перспективной организации промышленного производства.

### Литература

1. Де-Лазари А.Н. Химическое оружие на фронтах мировой войны 1914-1918 гг. М.: Вузовская книга, 2008. 268 с.
2. Франке З. Химия отравляющих веществ. Т.2. М.: Химия, 1973. –405 с.
3. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. М.: Воениздат, 1990. 271с.
4. Франке З. Химия отравляющих веществ. Т.1. М.: Химия, 1973. 440 с.
5. Антонов Н.С. Химическое оружие на рубеже двух столетий. М.: Прогресс, 1994. 174 с.
6. Мухин В.М., Дубоносов В.Т., Шмелев С.И., Белоусов В.С. «Адсорбционные процессы в решении проблем защиты окружающей среды». Рига: Институт химии древесины Латвийской АН, 1991. С. 32–36.
7. Мухин В.М., Дубоносов В.Т., Шмелев С.И., Белоусов В.С. Применение активных углей для детоксикации почв, загрязненных остатками пестицидов // Российский химический журнал. 1995. Т. 39. № 6. С. 135–138.
8. Мухин В.М., Спиридонов Ю.Я. Рекультивация почв с помощью активных углей // Вестник татарского отделения Российской экологической академии. Казань: Изд-во «Экоцентр», 2006. №3 (29). С. 12–13.
9. Мухин В.М., Спиридонов Ю.Я. Применение углеродных адсорбентов для повышения эффективности сельскохозяйственного производства и получения экологически чистой пищи // Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья: Материалы III международной конференции, 22-24 сентября 2008 г. Белгород: Изд-во «Бел ГУ», 2008. С. 178–179.
10. Мухин В.М., Спиридонов Ю.Я. Защита почв с использованием активных углей // Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии: Материалы 7-ой международной научно-практической конференции. М.: ФГУП «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», 2011. С. 23–28.
11. Мухин В.М., Чебыкин В.В., Галкин Е.А. Активные угли. Эластичные сорбенты. Катализаторы, осушители и химические поглотители на их основе: Номенклатурный каталог. М.: Руда и металлы, 2003. 280 с.
12. Дубинин М.М. Научные основы путей развития производства активных углей (газов, рекуперационных, обесцвечивающих). М. 1976. 46 с.
13. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. М.: Металлургия, 2000. 352 с.
14. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1984. 592с.
15. Плаченев Т.Г. Технология сорбентов. Ч.1. Активированные угли. Изд.: Ленингр. хим-технолог. ин-та Ленвоенсовета, 1941. 195 с.
16. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды. М.: Химия, 1989. 512 с.
17. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности // Основы энвайроменталистики. Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2000. 800 с.
18. Кинле Х, Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. М.: Химия, 1984. 215 с.
19. Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г., Спиридонова Г.С., Мухин В.М. Эффективный и экологически безопасный способ восстановления плодородия почв, загрязнённых остатками пестицидов и другими поллютантами // Материалы второго всероссийского научно-производственного совещания. Российская Академия сельскохозяйственных наук. Изд.: ВНИИ фитопатологии, 2000. С. 266–273.

## Биопрепарат с расширенным спектром биодegradативной активности для рекультивации почвы объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский»

© 2015. А. С. Туманов<sup>1</sup>, к.м.н., начальник, Т. Я. Ашихмина<sup>2,3</sup>, д.т.н., зав. лабораторией, зав. кафедрой, А. А. Лещенко<sup>1</sup>, д.т.н., в.н.с., И. П. Погорельский<sup>1</sup>, д.м.н., в.н.с., С. А. Шаров<sup>4</sup>, начальник отдела, В. В. Тетерин<sup>1</sup>, к.б.н., начальник отдела, А. Г. Лазыкин<sup>1</sup>, к.б.н., с.н.с., Г. В. Филимонова<sup>1</sup>, м.н.с., А. В. Ежов<sup>1</sup>, д.м.н., с.н.с., Р. Г. Пермяков<sup>1</sup>, м.н.с.,  
<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр ФГБУ «48 Центральный научно-исследовательский институт» Минобороны России,  
<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
<sup>3</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,  
<sup>4</sup>Объект по хранению и уничтожению химического оружия «Марадыковский»,  
e-mail: ecolab2@gmail.com

Объектом изучения является биопрепарат – деструктор фосфорорганических соединений, нефти и нефтепродуктов, созданный на основе бактерий двух штаммов *Pseudomonas fluorescens* ЕК-5-93 и *Pseudomonas putida* ЕК-8-14. Биопрепарат предназначен для рекультивации почвы на промплощадке и прилегающей территории объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский». Бактерии обоих штаммов непатогенны, биосовместимы, экологически безопасны, стабильны по признаку биодеструкции экотоксикантов, неприхотливы по питательным потребностям, технологичны, не персистируют в объектах окружающей среды при отсутствии субстрата для деструкции. Разработана технология производства биопрепарата. Готовый к применению лиофильно обезвоженный биопрепарат представляет собой пористую массу светло-жёлтого цвета без посторонних включений. Целью выполненных исследований являлось расширение спектра деградативного потенциала биопрепарата за счёт дополнительного введения в его состав бактериального штамма *Pseudomonas putida* ЕК-8-14 – эффективного деструктора нефтезагрязнений почвы. У биопрепарата – деструктора, полученного по разработанной технологии, была изучена нефтедеструктирующая активность и способность к деградации глифосата. Изучение нефтедеструктирующей активности биопрепарата проведено в опытах *in vitro* при культивировании входящих в состав биопрепарата микроорганизмов в минеральной среде с нефтью. Моделирование природных условий процесса рекультивации почвы проводили на испытательном стенде с системами кондиционирования, контроля, регистрации и поддержания технологических параметров рекультивации. Эффективность деградации экотоксикантов оценивали методом капиллярной газовой хроматомасс-спектрометрии с масс-селективным детектированием. Показана высокая нефтедеструктирующая активность микроорганизмов, входящих в состав биопрепарата, использующих углеводороды нефти в качестве источника углерода и энергии. В ходе аналитического определения содержания глифосата в почве было установлено, что при его исходном содержании 53,6 мг/кг к 12 суткам эксперимента количество экотоксиканта снизилось до уровня 0,15 мг/кг, что ниже исходного содержания в 357 раз и меньше ПДК (0,5 мг/кг). Результаты выполненных исследований свидетельствуют о возможности практического использования деградативного потенциала биопрепарата – деструктора в ходе осуществления мероприятий по биоремедиации почвы и очистке ее от экотоксикантов.

The object of the study is a biological preparation – destructor of organophosphorus compounds, oil and oil products, created on the basis of the two bacterial strains of *Pseudomonas fluorescens* EC-5-93 and *Pseudomonas putida* EC-8-14. The biopreparation is designed for soil remediation at the industrial site and adjacent territory of the object for destruction of chemical weapons «Maradykovsky». The bacteria of both strains are non-pathogenic, biocompatible, ecologically safe, stable on the grounds of biodegradation of ecotoxicants, unpretentious for nutritional needs, technological, do not persist in the environment in the absence of a substrate for degradation. The technology of production of the biopreparation is designed. Ready to use freeze-dried biological preparation is a porous mass of light-yellow color without inclusions.

The aim of the study is to expand the range of degradative potential of the biopreparation due to the additional introduction into its structure of the bacterial strain *Pseudomonas putida* EC-8-14 – effective destructor of oil pollutants of soil. The activity to oil degradation of the biopreparation obtained according to the technology developed has been investigated in experiments *in vitro* by culturing the microorganisms included in the biopreparation in mineral medium with oil. Simulation of natural conditions of soil remediation and the study of the ability of the biopreparation to degradation of glyphosate was carried out on a test stand with systems for air-conditioning, monitoring, recording and maintenance of technological parameters of recultivation. Efficiency of ecotoxicants degradation was assessed by CG-СМ spectrometry with mass-selective detection. The high activity of the microorganisms included in the biopreparation, to degradation of petroleum hydrocarbons and ecotoxicants is shown. During the analytical determination of glyphosate in soil it was found that when the initial content of glyphosate was 53,6 mg/kg, to 12 days of experiment the amount of ecotoxicants decreased to the level of 0,15 mg/kg, which is lower than the initial content in 357 times and the MPC (0,5 mg/kg).

The results of the study indicate the possibility of the practical use of the biopreparation-destructor degradative potential in the course of bioremediation of soil and cleaning it from toxicants.

**Ключевые слова:** ремедиация, экотоксикант, фосфорорганические соединения, нефть, микроорганизмы, биодеструкция.

**Keywords:** remediation, ecotoxins, organophosphorus compounds, oil, bacteria, biodegradation.

### **Введение**

Негативное антропогенное воздействие на почву является одной из острейших проблем современного общества [1, 2]. Непрерывный рост антропогенных нагрузок на окружающую среду в целом, и на почву в частности, идёт параллельно с ростом производства и потребления. Обратной стороной цивилизации является загрязнение и деградация почвы, рассматриваемые как устойчивое негативное изменение состава, строения и свойства почвы, включая частичное или полное её разрушение в результате хозяйственной или иной деятельности, а также воздействия различных факторов природного и техногенного характера, приводящие к ухудшению или утрате способности почвы выполнять свои функции [1, 3].

Наряду с потенциальными экотоксикантами, подлежащими санации после прекращения деятельности объекта уничтожения химического оружия (УХО) «Марадыковский», такими как фосфорорганические соединения, деструкции подлежат нефть и нефтепродукты [2, 3]. Их совместное длительное нахождение в почве может вызвать крайнюю степень деградации – уничтожение почвенного покрова, являющегося важнейшим сорбционно – химическим барьером на пути миграции экотоксикантов из атмосферы в грунтовые воды и реки [2, 4].

Для преодоления негативного антропогенного воздействия на почво-грунты и экосистемы антропогенных ландшафтов используют технологию рекультивации [5]. Рекультивация земель – это комплекс инженерных и санитарно – гигиенических мероприятий, предусматривающих улучшение (восстановление) свойств грунтов в целях исключения физического и химического негативного воздействия на окружающую природную среду [3, 5, 6]. В процессе восстановления исходного состояния земельных участков, загрязнённых экотоксикантами, необходимо осуществлять мероприятия по охране окружающей среды: ускорить деградацию экотоксикантов, ликвидировать засоленность и солонцева-

тость почв, а также осуществить ряд других мероприятий. Сам же процесс рекультивации земель и грунтов предполагает удаление экотоксикантов из состава почвы и собственно рекультивацию, включающую технический и биологический этапы. Технический этап рекультивации – это проведение работ, создающих необходимые условия для дальнейшего использования рекультивированных земель по целевому назначению или для проведения мероприятий по восстановлению плодородия почв. Таким образом, меры технической рекультивации направлены на ускорение процессов физического очищения почвы.

Биологический этап включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы [5–7]. По существу, биорекультивация – это оптимизация физико-химических и биологических факторов очищения почвы. Сам же этап биорекультивации выполняется после завершения технического этапа и заключается в подготовке почвы, внесении удобрений и биопрепаратов, подборе трав и травосмесей, посевах и уходе за посевами, что обеспечивает закрепление поверхностного слоя почвы корневой системой растений, создание сомкнутого травостоя и предотвращает развитие водной и ветровой эрозии почвы на нарушенных землях. Таким образом, биопрепараты, содержащие микроорганизмы – деструкторы загрязняющих почву соединений, являются составной частью биологической рекультивации, которая призвана ускорить процесс разрушения экотоксикантов в почве [6–8].

В настоящее время ведутся исследования по разработке экологически приемлемых, экономически оправданных, эффективных технологий рекультивации почв как на территориях объектов УХО, так и на территориях, расположенных в непосредственной близости от таких объектов [2, 8]. Основу предлагаемых адаптивных технологий составляют микробные биотехнологии, использующие высокий

деградативный потенциал микроорганизмов – деструкторов экотоксикантов. Так, для осуществления реабилитационных мероприятий на промплощадке объекта УХО «Марадыковский» после его перепрофилирования для рекультивации почвы создан биопрепарат – деструктор фосфоорганических соединений (ФОС) на основе природного штамма биодеструктора *Pseudomonas fluorescens* ЕК-5-93. Штамм экологически безопасен, непатогенный, проявляет в присутствии органических кислот С-Р – лиазную активность [9], способен к накоплению биомассы в процессе культивирования и обладает рядом положительных эксплуатационных характеристик, обуславливающих возможность его использования при переработке остаточных количеств реакционных масс, образующихся в процессе утилизации ФОС.

С учётом того, что рекультивируемые земли и прилегающая к ним территория объекта УХО «Марадыковский» после завершения всего комплекса работ должны представлять собой оптимально организованный и сбалансированный ландшафт [5–7], представляется целесообразным расширить деградативный потенциал существующего биопрепарата – деструктора ФОС, введя в его основу бактериальный штамм, активно деградирующий нефтезагрязнения в почве.

### Материалы и методы

В работе использовали культуру бактерий *P. fluorescens* ЕК-5-93, выделенную из биопрепарата-деструктора ФОС. Микроорганизмы, утилизирующие углеводороды нефти, выделены методом накопительных культур из мест естественной адаптации к нефтепродуктам. Отбор культуры, перспективной для дальнейшего использования, осуществляли по способности утилизировать углеводороды нефти и расти на специальной глюкозо-минеральной среде с нефтью [10].

Идентификация перспективного для включения в состав биопрепарата штамма нефтедеструктора произведена специалистами ФГУП ГосНИИ Генетика на основании анализа первичной нуклеотидной последовательности генов 16S рибосомальной РНК.

Изучение биосовместимости микроорганизмов деструкторов нефти и ФОС проведено методом попарного культивирования бульонных культур на плотной питательной среде, предложенной Н. А. Глушановой и Б. А. Шендеровым [11].

Процесс лиофильного высушивания культур микроорганизмов-деструкторов проводили на установке TG-6 (Германия) по технологическому режиму: температура сублиматора – 40°C; длительность сублимационного периода 6 ч; максимальная температура досушивания +25°C; разрежение в системе от 200 до 100 мкм; продолжительность высушивания 24 ч [12].

Культивирование этих бактерий проводили на агаре Хоттингера. Концентрацию живых микробов в суспензиях оценивали методом посева серийных десятикратных разведений на плотную питательную среду в чашках Петри с последующим подсчётом выросших колоний. Общую концентрацию бактерий в культурах и суспензиях определяли по стандарту мутности ГИСК им Л.А. Тарасевича (ОСО 43-28-29-86П).

Изучение нефтедеструктирующей активности биопрепарата проводили в опытах *in vitro*, выращивая микроорганизмы биопрепарата в глюкозо-минеральной среде с нефтью при шуттелировании.

Для количественного определения нефти в образцах использовали метод капиллярной газовой хроматомасс – спектрометрии, сочетающей в себе газовую хроматографию и масс – спектрометрию. Исследования проводили на газовом хроматомасс – спектрометре GCMS – QP2010 Plus («Shimadzu», Япония) с масс – фильтром квадрупольного типа. Последующую обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения GCMS Solution 2.5, укомплектованного универсальной библиотекой масс – спектров 250 000 органических соединений NIST 05. Для количественного определения анализируемого компонента применяли метод внешнего стандарта. Расчет проводили по площадям пиков.

Моделирование натуральных условий процесса биорекультивации почвы проводили на испытательном стенде, оборудованном системами поддержания и контроля технологических параметров ведения процесса [13]. Эффективность деградации глифосата в составе гербицида «Раундап» в почве исследовали с использованием ВЖХ-МС на приборе Prominense с масс-селективным детектором LCMS-2010 («Shimadzu» Япония) и колонкой Luna C18 («Phenomenax», США). Расчётное содержание глифосата в почве составило 50 мг/кг.

Статистическую обработку результатов экспериментов выполняли по методу Кербера в модификации И.П. Ашмарина и А.А. Воробьева [13].

### Результаты

Разработанная специалистами НИЦ ФГБУ «48 ЦНИИ» Минобороны России технология производства экологически безопасного стандартизованного препарата-деструктора ФОС на основе бактерий штамма *P. fluorescens* ЕК-5-93 обеспечивает высокую жизнеспособность бактерий, находящихся в лиофильно высушенном состоянии [12]. Под данную технологию необходимо было адаптировать культуру нового штамма бактерий, активно утилизирующих углеводороды нефти и биосовместимых с бактериями, на основе которых создан биопрепарат.

Из большого количества первичных изолятов микробных культур, выделенных из образцов почв Кировской области, загрязняемых в течение длительного времени сырой нефтью и нефтепродуктами, для последующего изучения были отобраны 6 культур, которые на среде с нефтью были способны утилизировать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода. Одна из исследуемых культур, кроме способности к интенсивному росту на среде с нефтью, характеризовалась ускоренным ростом на агаре Хоттингера на уровне 170–180 млрд. микробных клеток в 1 мл. Именно эта культура была исследована в ФГУП ГосНИИГенетики как *Pseudomonas putida* (наш коллекционный номер штамма *P. putida* ЕК-8-14). Деструкция сырой нефти в жидкой среде при исходной концентрации 15 г/л составляет 26,8% через 14 суток при температуре 27–29°C, а в почве при тех же условиях – 35,3% за тот же период. Биодеструкция нефтепродуктов (дизельное топливо, керосин) в почве составила 35,8% соответственно.

Культурально-морфологические признаки. При росте на агаре Хоттингера через 48 часов роста бактерии формируют колонии округлые, выпуклые, блестящие, прозрачные с ровными краями, диаметром 2,5–3 мм. На агаре Эндо – колонии бледно – розовые, что свидетельствует об отсутствии у бактерий способности ферментировать лактозу. В бульоне Хоттингера рост бактерий в виде равномерного помутнения со слизистым осадком. Окраска бактерий по Граму отрицательная.

Физиолого-биохимические признаки. Штамм *P. putida* ЕК-8-14 является аэробным. Температурный оптимум 27–29°C. В качестве источника углерода потребляет глюкозу, не использует сахарозу. Прототроф, в дополнительных факторах роста не нуждается. Аэробный и анаэробный тест Хью – Лейфсона отрица-

тельный. Обладает оксидазной и каталазной активностью, пигмент не образует, желатин не разжижает, крахмал не гидролизует. Штамм не обладает патогенностью, токсичностью, не способен к диссеминации во внутренние органы подопытных животных. Штамм обладает биодеструктивной активностью в отношении С–С связей нефти и нефтепродуктов, используя образующиеся при расщеплении углеродсодержащие фрагменты для роста микробных клеток.

Результаты оценки биосовместимости бактерий штамма *P. putida* ЕК-8-14 с бактериями *P. fluorescens* ЕК – 5-93, составляющими основу биопрепарата-деструктора ФОС, свидетельствуют об их биосовместимости (отсутствии антагонизма) и возможности включения штамма *P. putida* ЕК-8-14 в состав биоагентов, на основе которых целесообразно создавать новый биопрепарат с расширенным спектром деструктивной активности в отношении ФОС и нефти (нефтепродуктов), с перспективой использования для рекультивации загрязнённой почвы. Выявленная биосовместимость микроорганизмов-деструкторов *P. fluorescens* ЕК – 5 – 93 и *P. putida* ЕК-8-14 предполагает проведение следующего этапа – пилотных испытаний, связанных с определением значений показателей деструкции нефти (нефтепродуктов). В предварительных опытах было показано, что в клетках обоих штаммов присутствует крупная плаزمиды с молекулярной массой порядка 60–65 МДа. С большой долей вероятности можно предполагать, что эта плазмиды несёт гены биодegradации экотоксикантов. Действительно, посев бактерий штамма *P. fluorescens* ЕК-5-93 на плотную питательную среду с нефтью позволил установить их способность к разложению углеводородов нефти и утилизации в качестве единственного источника углерода для роста и размножения. Таким образом, биосовместимые микроорганизмы *P. fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-14 в результате синергизма смогут более эффективно разлагать углеводороды нефти по одному из трёх путей: монотерминальному окислению метильной группы n-алкана, субтерминальному окислению, дитерминальному окислению или по смешанному типу [14, 15].

В экспериментах по изучению нефтедеструктирующей активности бактерий обоих штаммов посевные культуры бактерий штаммов вносили в жидкую минеральную среду с нефтью в колбах, на дне которых находилась стерильная агаризованная водная почвенная вытяжка, имитирующая в определённой мере

условия биодеструкции нефтепродуктов в почве. Культивирование микроорганизмов проводили при шуттелировании в течение 10 суток при температуре 28°C. По окончании эксперимента отбирали пробы для аналитического определения продуктов деградации нефти. Контролем в экспериментах служила минеральная среда с нефтью без добавления биопрепарата. В течение всего периода культивирования контрольная среда с нефтью оставалась прозрачной, нефть частично оседала на стенках колбы, но основная её часть

в виде «линзы» находилась на поверхности среды культивирования. Опытная среда с нефтью под воздействием размножающихся микроорганизмов на 3 сутки эксперимента потемнела, а на 5 сутки стала бурой из-за окраски высокомолекулярными компонентами нефти – асфальтенами. На рисунке приведены хроматограммы, а в таблицах 1 и 2 идентифицированы компоненты исходной и деструктированной нефти.

При сопоставлении площадей пиков, выявленных на хроматограммах, которые коли-

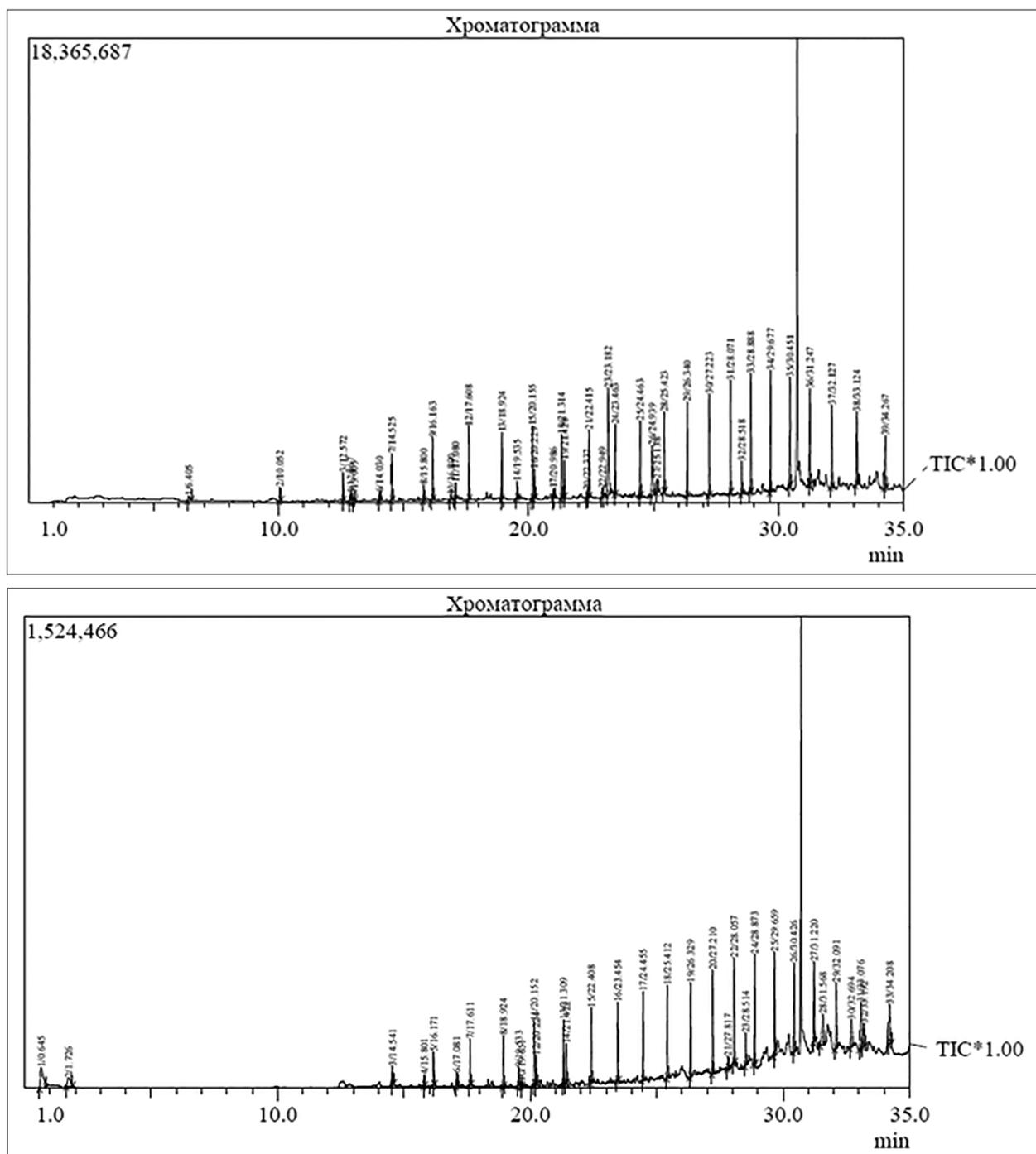


Рис. Хроматограммы определения состава исходной (1) и деструктированной (2) нефти.

ественно соответствуют идентифицированным компонентам исходной и деструктированной нефти (рисунок), можно говорить о том, что в результате воздействия микроорганизмов *P. fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-14, а также их ферментов, происходит деструкция нефти с потерей её нативности на 91,3%. Оставшиеся неизменёнными (нативными) 8,7% идентифицированных компонентов могут быть подвержены деструкции как специализированными микроорганизмами, так и почвенными микроорганизмами в случае, если процесс будет проходить в естественных природных условиях.

Из представленных результатов хроматомасс-спектрометрического анализа исследуемых образцов следует, что в исходной нефти идентифицировано 39 компонентов, а в деструктированной – 33. При этом в деструктированной нефти уменьшилось содержание компонентов, доля которых в общем количестве находится в диапазонах (0-1)%, (1-2)%, (4-6)%, (8-10)%, но в то же время возросла доля компонентов в диапазоне (2-4)% и (6-8)%. И если в образце нефти первым на хроматограмме появляется углеводород декан (C<sub>10</sub>H<sub>22</sub>) при времени выхода 6,405 мин, то в образце деструктированной нефти перед тем же углеводородом, появляющемся на хроматограмме на 14,541 мин, выявляются трихлорометан и метан (время выхода 0,645 мин), дихлоронитрометан (время выхода 1,726 мин).

Представленные в таблице 2 данные однозначно свидетельствуют о процессе деструкции нефти под влиянием ферментов микро-

организмов биопрепарата – деструктора: по сравнению с исходной нефтью в образце деструктированной нефти появились газообразные алканы (трихлорометан, дихлоронитрометан), снизилось содержание жидких фракций нефти (с 17 до 13), а также содержание фракций твёрдых парафинов (с 22 до 18). При этом следует отметить, что в образце деструктированной нефти появился циклопентан (C<sub>25</sub>H<sub>50</sub>), относящийся к нафтенам, доля которого среди алканов составляет 4,65%. Согласно полученным данным, можно говорить о том, что исследуемая нефть относится к классу метановой нефти, в которой преобладающими являются ненасыщенные углеводороды, а в процессе биодеструкции появляются циклические углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>), характерные для нафтенной нефти.

Начавшийся под воздействием ферментов микроорганизмов биопрепарата процесс деградации нефти приводит к фрагментации нафтенных и, если процесс будет проходить непосредственно в почве, то в последующем он продолжится под воздействием ферментов деструкции почвенных микроорганизмов. Важно подчеркнуть, что микроорганизмы нефтедеструкторы синтезируют биосурфоктанты, которые эмульгируют и солюбилизируют углеводороды, облегчая поступление фрагментированных нафтенных в микробные клетки для продолжения их деградации. Указанная углеводородокисляющая активность микроорганизмов *P. fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-14 прогностически может обеспечить

Таблица 1

Идентифицированные компоненты исходной и деструктированной нефти и их относительное содержание в пробах

Содержание идентифицированных компонентов нефти в диапазоне, %	Исходная нефть (39 идентифицированных компонентов)	Деструктированная нефть (33 идентифицированных компонента)
0-1	12	4
1-2	6	4
2-4	12	17
4-6	8	6
6-8	0	2
8-10 и более	1	0

Таблица 2

Углеводороды ряда «алканы» в исходной и деструктированной нефти

Алканы	Содержание алканов в исходной нефти	Содержание алканов в деструктированной нефти
C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> – газообразные алканы (в виде растворённого газа)	0	2
C <sub>5</sub> -C <sub>16</sub> – основная масса жидких фракций нефти	17	13
C <sub>17</sub> -C <sub>33</sub> – тяжёлые нефтяные фракции (твёрдые парафины)	22	18

снижение количества сырой нефти в почве на 80–90% от первоначального значения.

Характеристика биодеградативного потенциала биопрепарата была бы не полной без оценки глубины деструкции глифосата в почве при моделировании натуральных условий процесса биорекультивации на испытательном стенде, обеспечивающим поддержание необходимых технологических параметров процесса [9]. Результаты экспериментов представлены в таблице 3, из которых следует, что процесс деструкции глифосата бактериями, входящими в состав биопрепарата, наиболее интенсивно проходит в первые 3 суток: содержание экотоксиканта в почве уменьшилось в 3,7 раза. В дальнейшем происходит прогрессирующее снижение глифосата в почве и к 12 суткам наблюдения оно составляет 0,145 мг/кг, что меньше исходного количества в почве в 357 раз и меньше ПДК (0,5 мг/кг).

### Обсуждение

Экспериментально установлено, что микроорганизмы, обитающие в определённом биоценозе, обладают принципиально сходными потребностями в источниках энергии и питания [16]. Это в полной мере относится к почве, заселённой многочисленными видами микроорганизмов, каждый из которых адаптируется как к различным органическим и неорганическим субстратам, так и к окружающим микроорганизмам. Подобная адаптация может привести к приобретению особых метаболических свойств, наделяющих их обладателей уникальной способностью занимать специфические ниши. Такой своеобразной специфической нишей является почва, содержащая остаточные количества ФОС и нефтепродуктов. В подобных условиях почвенные микроорганизмы не могут развиваться в течение длительного периода до тех пор, пока в их популяциях не возникнут мутанты, способные к деградации находящихся в почве экотоксикантов. Процесс возникновения в результате естественного отбора спонтанных мутантов, утилизирующих экотоксиканты, довольно длительный, требующий определённых

условий и факторов. В то же время для проведения биологического этапа рекультивации почвы необходим биопрепарат, содержащий специализированные микроорганизмы, при интродукции которых в составе биопрепарата возможна быстрая инициация деструкции экотоксикантов. При этом важно иметь в виду то, что подбор специализированных микроорганизмов в качестве основы создания биопрепарата осуществляется не только на основе экспериментально доказанной их способности к биодеградации экотоксикантов, а также других важных эксплуатационных характеристик, но и на основе изучения их биосовместимости друг с другом и с почвенными микроорганизмами. Как показано настоящими исследованиями, микроорганизмы *P. fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-14, входящие в состав биопрепарата, являются биосовместимыми. Они же, выделенные из почвы, биосовместимы с почвенными микроорганизмами, но обладают экологическим преимуществом перед последними в условиях загрязнённой экотоксикантами почвы, поскольку специфически адаптированы к их утилизации в качестве источников энергии и питания. По мере снижения содержания экотоксикантов в почве численность интродуцированных микроорганизмов будет уменьшаться в результате конкурентной борьбы с аборигенными почвенными микроорганизмами в соответствии с одним из основных экологических законов, сформулированных Г.Ф. Хильми [17], согласно которому (применительно к микробному сообществу) ограниченная популяция, существующая в среде с иным уровнем организации, постепенно теряет свою структуру и как бы растворяется в данной среде. Указанное обстоятельство имеет существенное значение при оценке экологической безопасности интродуцируемых микроорганизмов *P. fluorescens* ЕК-5 – 93 и *P. putida* ЕК-8-14, как и то, что плазмиды, гены которых детерминируют синтез ферментов деградации экотоксикантов, относятся к классу нетрансмиссивных плазмид и не могут быть переданы в результате конъюгации в почвенные микроорганизмы.

Таблица 3  
Динамика содержания глифосата в почве в процессе биорекультивации ( $\bar{x} \pm I_{95}$ , мг/кг, n=10)

Исследуемая почва	Содержание глифосата в пробе почвы, мг/кг				
	сутки эксперимента				
	1	3	6	9	12
Дерново-подзолистая	56,4±4,1	45,5±3,2	42,3±2,9	37,7±2,1	36,9±1,8
Дерново-подзолистая с внесением биопрепарата	53,6± 3,9	14,6±1,8	5,1±0,7	3,0±0,2	0,15±0,03

На основании результатов оценки безопасности бактерий штаммов *P. fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-14, а также результатов комплексного изучения биологических свойств штаммов, в частности апатогенности, стабильности свойств биодеструкции ФОС и нефти (нефтепродуктов), технологичности, неприхотливости по питательным потребностям, невозможности длительно персистировать в объектах окружающей среды при отсутствии субстрата для деструкции стало возможным конструирование биопрепарата – деструктора с расширенным спектром биодеструктивной активности, предназначенного для рекультивации загрязненных почво-грунтов объекта УХО «Марадыковский». Приготовление биопрепарата осуществлено по разработанной аппаратурно – технологической схеме от посевной культуры до полуфабриката. На заключительном этапе процесса приготовления сухого биопрепарата жидкий его полуфабрикат замораживали во флаконах до температуры минус 30–40°C со скоростью 5–8°C мин<sup>-1</sup> в течение 30 мин. непосредственно в сублиматоре сушильной установки. Лиофильное обезвоживание биопрепарата осуществляли по следующему режиму: температура замораживания минус 40°C; длительность сублимационного периода 6 часов; максимальная температура досушивания (25–28)°C; разрежение в системе 100–200 мкн; продолжительность цикла 20–24 часа. Готовый к применению биопрепарат представляет собой пористую массу светло-жёлтого цвета без посторонних включений. Изучение регидратированного биопрепарата и свойств входящих в его состав микроорганизмов деструкторов по основным биологическим, культурально-морфологическим и биохимическим показателям позволило сделать заключение об их соответствии по изученным показателям эталонным микробным культурам, а также о сохранении свойств в течение всего периода хранения.

### Заключение

Современная стратегия очистки почв от экотоксикантов с использованием биологических подходов основывается, с одной стороны, на стимуляции естественной (аборигенной) микрофлоры, а с другой, – на интродукции специализированных штаммов бактерий в составе биопрепарата, обладающих способностью к деградации экотоксикантов. Микроорганизмы, входящие в состав биопрепарата – деструктора экотоксикантов, который

применяется в ходе биологического этапа рекультивации, совместно с микроорганизмами аборигенной почвенной микрофлоры образуют трофические цепи и постадийно участвуют в процессе биодеструкции загрязнений почвы. Наследственно закреплённая способность к биодеструкции экотоксикантов, детерминруемая соответствующими плазмидными генами, входящими в состав генома специализированных микроорганизмов *P. fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-14, делают их ведущими в инициации процесса биодеструкции как природных, так и ксенобиотических фосфонатов, а также нефти и нефтепродуктов, находящихся в почве. Физиологическая и биохимическая активность микроорганизмов *P. fluorescens* ЕК-5-93 и *P. putida* ЕК-8-14 явились основой разработки технологии производства экологически безопасного биопрепарата с расширенным спектром биодеградативного потенциала, перспективного для использования при рекультивации почвы на промплощадке объекта УХО «Марадыковский».

*Работа выполнена при поддержке Государственного контракта № ЦР107/2085/У307К.*

### Литература

1. Лисичкин В.А., Шелепин Л.А., Боев Б.В. Закат цивилизации или движение к ноосфере (экология с разных сторон). М: ИЦ – Гарант, 1997. 352с.
2. Шаров С.А., Ашихмина Т.Я. Адаптация микробных биотехнологий ремедиации почв к реальным объектам санации // Теоретическая и прикладная экология. 2014. №4. С. 60 – 62
3. Ганеев И.Г., Кулагин А.А. Ремедиация и рекультивация техногенно деградированных земель // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. №6 (100). С. 554 –557.
4. Приваленко В.В., Безуглова О.С. Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Ростов н/Дон: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. 288 с.
5. ГОСТ 17.5.3.05 – 84. Охрана природы. Рекультивация земель. Общие требования к землеванию. Введ. 1985 – 01.01. Статус: действующий. Переиздание. Дата последнего изменения 16.01.2015. М.: ИПК Издательство стандартов, 2015.
6. ГОСТ 17.5.3.04 – 83 (с изменением №1). Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель. Введ. 1984-01.01. Статус: действующий. Переиздание. Дата последнего изменения – сентябрь 1986. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
7. ГОСТ 17.5.3.06 – 85. Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия природного слоя почвы при производстве земляных работ. Введ. 1986

– 01.07. Статус: действующий. Переиздание. Дата последнего изменения 16.01.2015. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2015.

8. Турковская О.В., Игнатов В.В. Роль микробиологии в разработке приемов рекультивации нефтезагрязненных почв // Фундаментальные и прикладные исследования саратовских ученых для процветания России и Саратовской губернии: Материалы научной конференции, посвященной 225 – летию РАН. Саратов: Изд-во Саратовского государственного университета, 1999. С. 276–278.

9. Стяжкин К.К., Туманов, А.С., Ашихмина Т.Я., Колесников Д.П., Тетерин В.В., Погорельский И.П., Лещенко А.А., Лазыкин А.Г., Зиганшин А.Р. Экспериментальная оценка микробицидного и деградативного потенциала биопрепарата деструктора фосфоорганических соединений // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 51–59.

10. Патент № 2390555 Российская Федерация. Питательная среда для выращивания углеводородокисляющей бактерий с повышенной деструктивной способностью / Погорельский И.П., Дробков В.И., Зиганшин Р.Ш.; заявитель и патентообладатель ФГУ «48 ЦНИИ» Минобороны России. – № 2008141195/13; заявл. 16.10.2008; опубл. 27.05.2010.

11. Глушанова Н.А., Шендеров Б.А. Взаимоотношения пробиотических и индигенных лактобацилл хозяина в условиях совместного культивирования *in vitro* // Журнал микробиологии. 2005. №2. С. 56–61.

12. Стяжкин К.К., Петров С.В., Туманов А.С., Завьялова Н.В., Воробьев К.А., Тетерин В.В., Погорельский И.П., Лещенко А.А., Лазыкин А.Г., Менухова В.С. Биопрепарат для ремедиации почвы в пределах зоны защитных мероприятий объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2013. №4. С. 41–48.

13. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Медгиз, 1962. 280 с.

14. Зайцева Т.А. Рудакова Л.В., Комбарова М.М. Микроорганизмы – деструкторы нефти // Научные исследования и инновации. 2010. №4. С. 59–63.

15. Тимергазина И.Ф. Переходова Л.С. К проблеме биологического окисления нефти и нефтепродуктов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 1. С. 5 – 31.

16. Кожевин П.А. Микробные популяции в природе. М.: Изд-во МГУ, 1989. 175 с.

17. Хильми Г.Ф. Основы биофизики биосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 272 с.

**Об опыте использования простейших средств химического контроля на объектах по хранению и уничтожению химического оружия**

© 2015. А. Ю. Кармишин<sup>1</sup>, к.т.н., начальник, И. В. Коваленко<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., Н. Д. Степанов<sup>2</sup>, к.х.н., генеральный директор, А. С. Кочкин<sup>3</sup>, к.т.н., доцент,

<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>2</sup>Закрытое акционерное общество Научно-производственная фирма «СЕРВЭК»,

<sup>3</sup>Саратовский филиал медицинского института РЕАВИЗ, e-mail: fubhuho@mail.ru, servek@mail.wplus.net

Рассмотрены основные виды простейших средств контроля отравляющих веществ, используемых на объектах по хранению и объектах по уничтожению химического оружия. Приведено описание и основные технические характеристики простейших средств контроля отравляющих веществ: индикаторных трубок ИТ-51, ИТ-52, ИТ-13-37 и ИТ-36 и индикаторных плоских элементов ИПЭ-ФОВ и ИПЭ-люизит. Обобщён опыт эксплуатации простейших средств контроля отравляющих веществ на объектах по хранению и объектах по уничтожению химического оружия и приведены положительные и отрицательные стороны использования индикаторных трубок и индикаторных плоских элементов. В статье приведены результаты испытаний простейших средств контроля отравляющих веществ, в частности, индикаторных плоских элементов ИПЭ-ФОВ и ИПЭ-люизит и показана нецелесообразность их использования для решения задач химического контроля на объектах по хранению и объектах по уничтожению химического оружия. В статье показано, что индикаторные трубки являются надёжными средствами контроля отравляющих веществ и способны обеспечить быстрое решение типовых задач химического контроля. Наряду со сложными и технологичными средствами контроля, такими как газосигнализаторы и газоанализаторы, индикаторные трубки прочно занимают своё место в системе химического контроля на объектах по хранению и объектах по уничтожению химического оружия.

The main types of the simplest means of controlling toxic substances used in the chemical weapons storage and destruction plants are considered. The description and basic specifications of the simplest means of controlling toxic substances, such as indicator tubes IT 51, IT 52, IT-13-37 and IT-36, and indicator elements of flat-FOV IPE and IFE-Lewisite are given. The experience of operation of the simplest means of controlling toxic substances at the chemical weapons storage and destruction plants is generalized and positive and negative aspects of using indicator tubes and flat indicator elements are suggested.

The article gives the results of tests of the simplest means of controlling toxic substances, in particular, display planar elements of IPE and IPE-FEV-lewisite and it shows that it is unreasonable to use them for chemical control at the chemical weapons storage and destruction plants. The article also shows that the indicator tubes are a reliable means of controlling toxic substances and are able to provide fast chemical control. Chemical agent test tubes firmly hold its place in the system of chemical weapons storage and destruction plants, along with complex and technologically advanced means of control, such as gas detectors and gas analyzers.

**Ключевые слова:** индикаторная трубка, индикаторные плоские элементы, приборы химической разведки.

**Keywords:** indicator tube, indicator plane elements, chemical detection devices.

Уничтожение химического оружия – сложная, многоплановая и разнообразная проблема, позволившая осуществить и в настоящее время обобщить уникальный опыт решения различных задач, связанных с обеспечением безопасности.

К числу таких задач относится химический контроль, осуществляемый различными средствами как непрерывно, так и периодически. Системный анализ средств контроля отравляющих веществ (ОВ), используемых на объектах по уничтожению химического

оружия (ХО), приведён в одной из статей настоящего издания.

В настоящей работе обобщается опыт работы с простейшими средствами индикации для решения задач химического контроля при хранении и уничтожении ХО.

К простейшим средствам контроля ОВ относятся индикаторные трубки (ИТ) и индикаторные плоские элементы (ИПЭ). ИТ и ИПЭ являются расходными принадлежностями для приборов войскового и специального химического контроля воздуха. ИТ и ИПЭ предна-

значены для обнаружения и идентификации ОВ в воздухе с помощью войскового прибора химической разведки ВПХР, полуавтоматического прибора химической разведки ППХР, аспиратора полуавтоматического химического АПХ-03 и прочих воздухозаборных устройств с аналогичными характеристиками [1, 2].

Принцип обнаружения и определения ОВ основан на изменении окраски содержимого ИТ или ИПЭ при их взаимодействии с загрязнителями. Сравнение интенсивности полученной окраски с цветным эталоном позволяет судить об ориентировочной концентрации ОВ в воздухе или плотности заражения.

При помощи ИТ и ИПЭ на объектах по хранению и уничтожению ХО решались следующие основные задачи: периодический контроль наличия ОВ в местах хранения химических боеприпасов; контроль наличия ОВ при осуществлении работ по подготовке к отправке химических боеприпасов с объекта по хранению на объект по уничтожению ХО; контроль ОВ в контейнерах с боеприпасами, поступившими с объекта по хранению на объект по уничтожению ХО. В разные годы на объектах по хранению и уничтожению ХО

использовались индикаторные трубки ИТ-51, ИТ-52, ИТ-36 и ИТ-13-37 и индикаторные плоские элементы ИПЭ-ФОВ, ИПЭ-иприт и ИПЭ-люизит.

## Общая характеристика индикаторных трубок и индикаторных плоских элементов

ИТ-51 (рис. 1) предназначена для обнаружения фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ) в воздухе при помощи ВПХР, ППХР или АПХ-03 [3].

ИТ-51 обеспечивает обнаружение ФОВ с вероятностью 0,9 на уровне концентраций соответствующих: опасной или очень опасной концентрации –  $2,0 \times 10^{-5}$  мг/л и выше; опасной или малоопасной концентрации –  $5,0 \times 10^{-8}$  мг/л –  $2,0 \times 10^{-5}$  мг/л; отсутствию ОВ или наличию ОВ в концентрациях менее  $5,0 \times 10^{-8}$  мг/л [3].

ИТ-51 представляет собой герметично запаянные стеклянные ампулы, внутри которых размещается сорбционно – реакционная система и ампулы с индикаторным и буферным растворами.

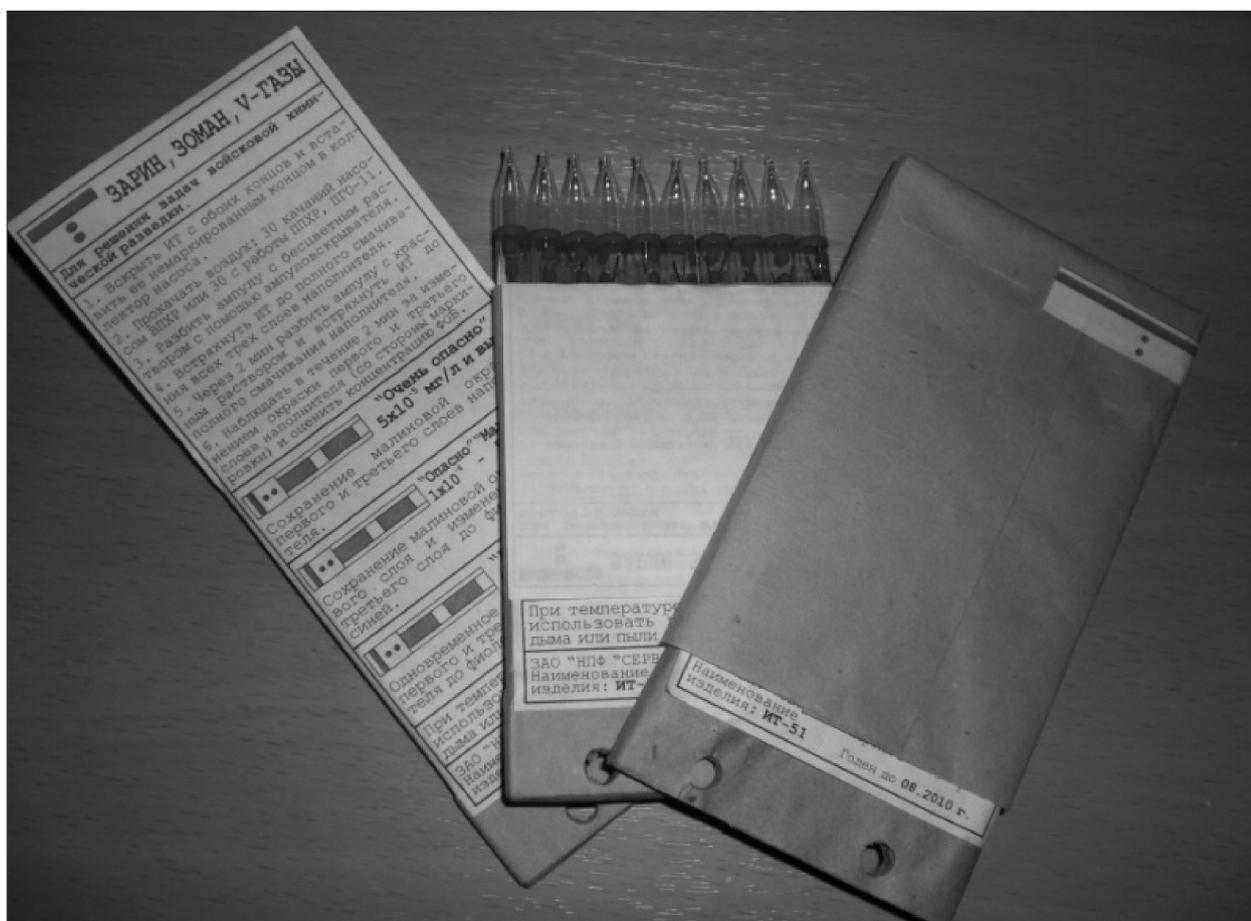


Рис. 1. Индикаторная трубка ИТ-51 в кассете с чехлом.

Назначение и конструктивное исполнение ИТ-52 (рис. 2) аналогичное ИТ-51.

ИТ-52 обеспечивает обнаружение фосфорсодержащих отравляющих веществ (ФОВ) в диапазоне концентраций, соответствующих: концентрации «Опасно» –  $2,0 \times 10^{-5}$  мг/л; концентрации «Малоопасно» –  $5,0 \times 10^{-8}$  мг/л –  $2,0 \times 10^{-5}$  мг/л; концентрации «Не опасно» или «Не обнаружено» менее  $5,0 \cdot 10^{-8}$  мг/л, при этом: для зарина и зомана в диапазоне концентраций –  $5,0 \times 10^{-8}$  мг/л –  $2,0 \times 10^{-5}$  мг/л; для отравляющего вещества типа ви-икс –  $(1,0 \pm 0,5) \times 10^{-8}$  мг/л [4].

ИТ-13-37 (рис. 3) предназначена для обнаружения паров люизита в воздухе при помощи ВПХР, ППХР или АПХ-03.

ИТ-13-37 обеспечивает обнаружение люизита в диапазоне концентраций, соответствующих: концентрации «Очень опасно» – 0,05-1,3 мг/л; концентрации «Опасно» – 0,05 мг/л; концентрации «Малоопасно» – 0,002 мг/л [5].

ИТ-13-37 представляет собой герметично запаенные стеклянные ампулы, внутри которых размещается сорбционно – реакционная система.

ИТ-36 (рис. 4) предназначена для обнаружения паров иприта в воздухе при помощи ВПХР, ППХР или АПХ-03. ИТ-36 обеспечивает обнаружение иприта в диапазоне концентраций, соответствующих: концентрации «Очень опасно» – 0,3 мг/л; концентрации «Опасно» – 0,01 мг/л; концентрации «Малоопасно» – 0,002 – 0,003 мг/л [6].

ИТ-36 представляет собой герметично запаенные стеклянные ампулы, внутри которых размещается сорбционно-реакционная система. Индикаторные трубки упаковываются по 10 шт. в специальную, обеспечивающую сохранность изделий, кассету (упаковку) и закрываются чехлом. На чехле кассеты имеется чёткая маркировка, соответствующая маркировке размещаемым в кассете ИТ.

Индикаторные трубки хорошо зарекомендовали себя при решении задач химического контроля. Экспериментально установлено, что основной показатель назначения ИТ – чувствительность сохраняется и за пределами гарантийного срока ИТ.

ИПЭ-ФОВ (рис. 5, 6) предназначены для обнаружения паров ФОВ в воздухе [5] и пред-

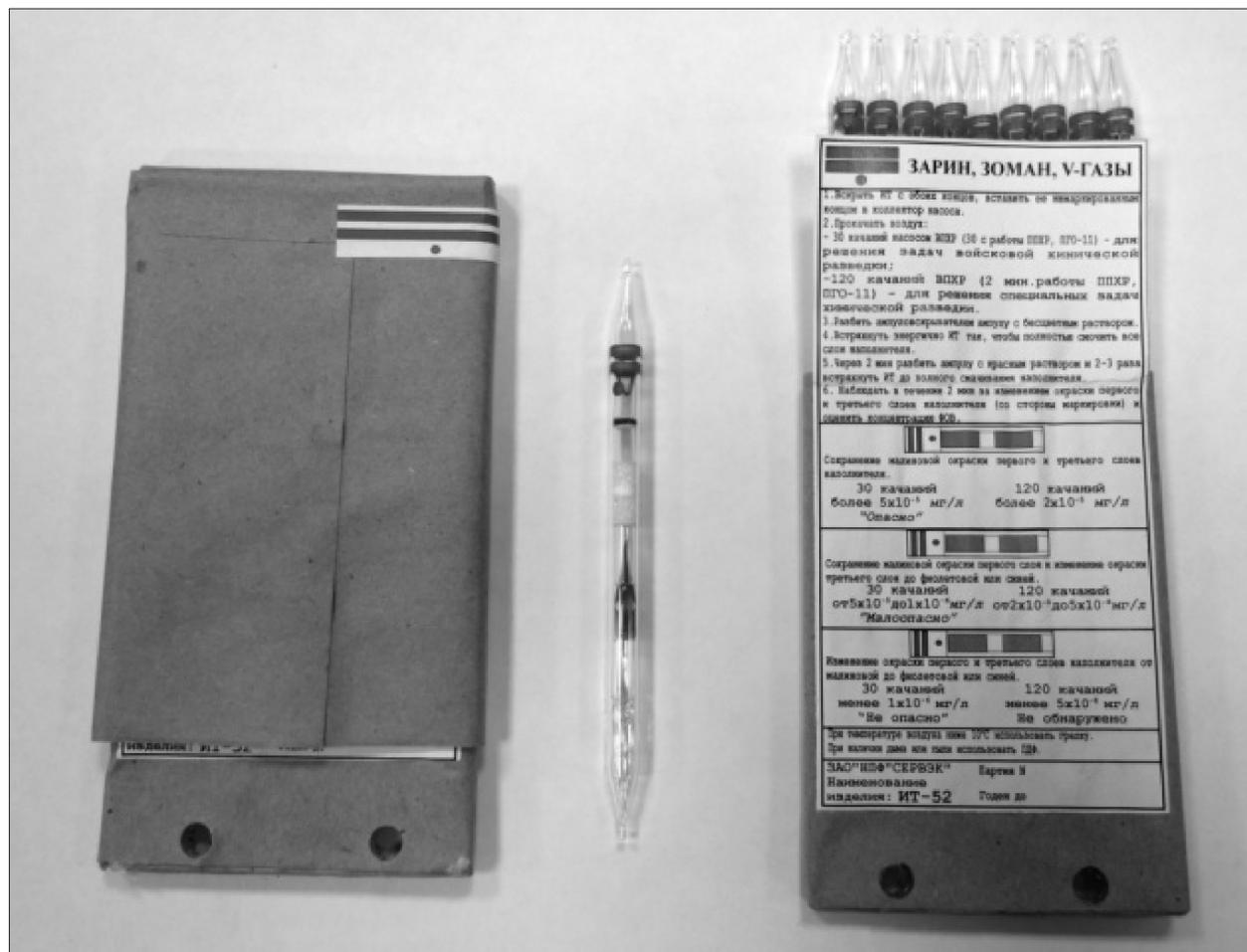


Рис. 2. Индикаторная трубка ИТ-52 в кассете с чехлом.

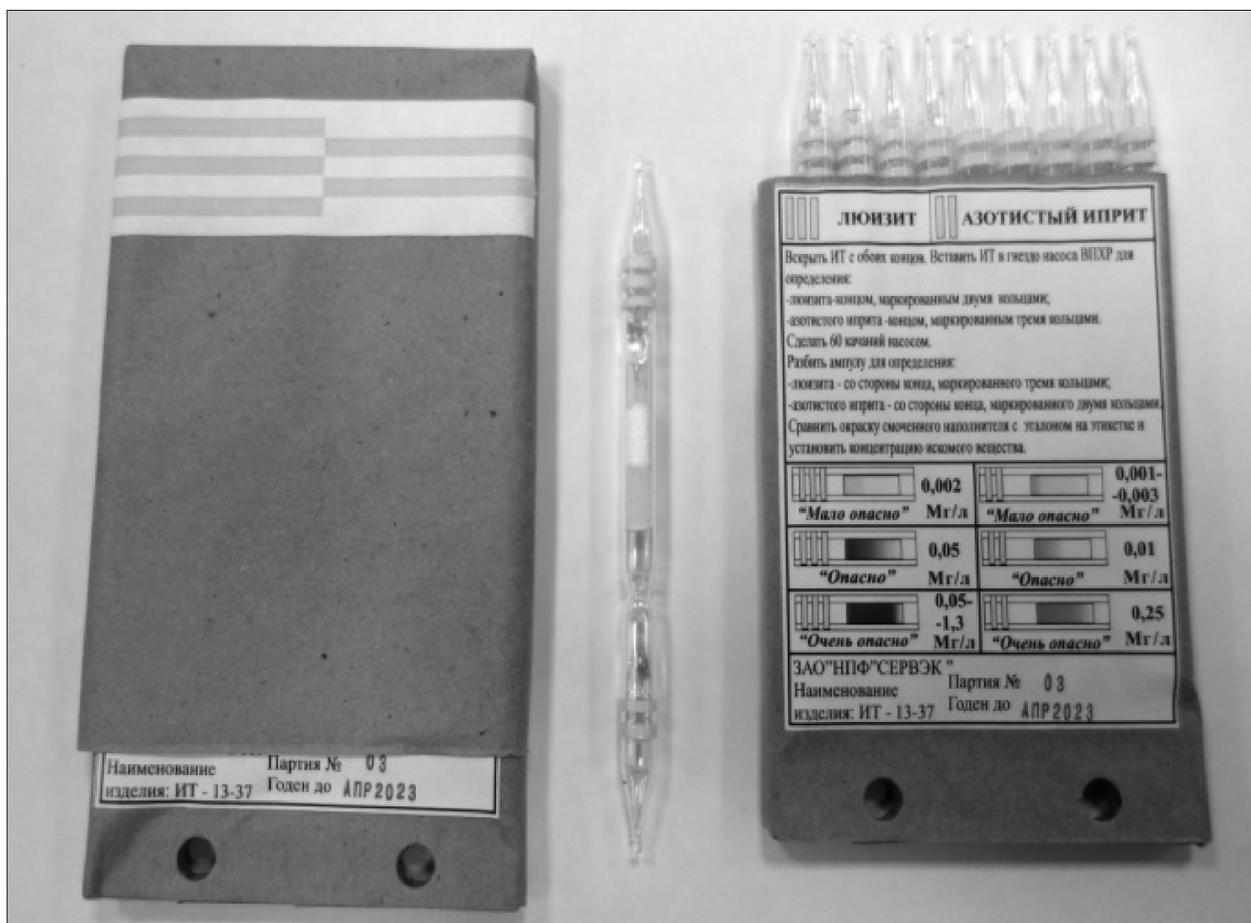


Рис. 3. Индикаторная трубка ИТ-13-37 в кассете с чехлом.

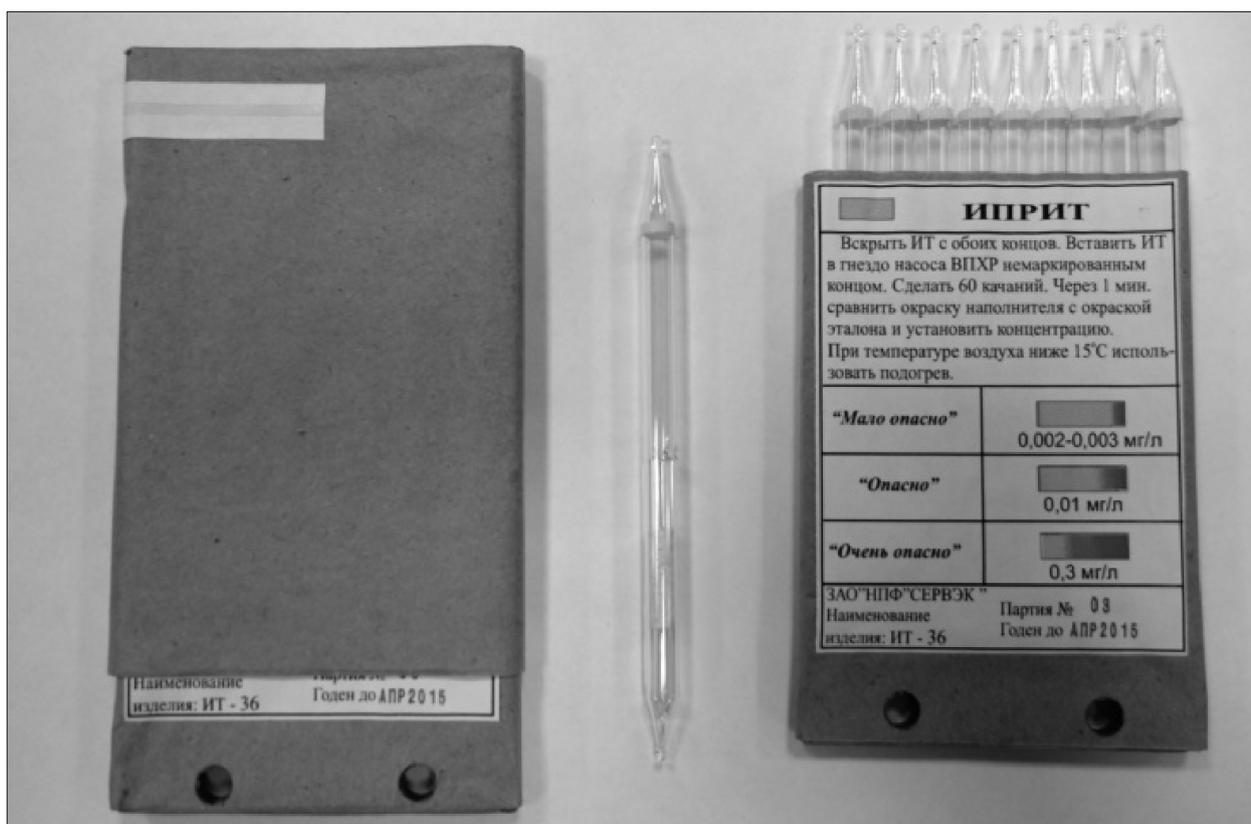


Рис. 4. Индикаторная трубка ИТ-36 в кассете с чехлом.

усматривались к использованию в комплекте с ВПХР или ППХР.

ИПЭ-ФОВ обеспечивают обнаружение паров ФОВ в воздухе при расходе анализируемого воздуха  $(1,8 \pm 0,2)$   $\text{дм}^3/\text{мин}$  в следующих диапазонах массовых концентраций,  $\text{мг}/\text{л}$ :  $(1 \pm 0,3) \times 10^{-5}$ ;  $(1 \pm 0,3) \times 10^{-6}$ ;  $(1 \pm 0,3) \times 10^{-7}$  [7].

ИПЭ-ФОВ состоит из индикаторного билета, импрегнированного индикаторным раствором, пакета с водой и ампул с индикаторным раствором.

Индикаторный билет и ампулы с индикаторным раствором располагаются между круглыми полиэтиленовыми секциями, спаянными вместе по диаметру. В центре каждой секции выполнено отверстие для доступа воздуха. ИПЭ-ФОВ промаркирован и упакован вместе

с пакетом с водой в металлизированный пакет с маркировочным знаком. Ёмкость с водой в металлизированном пакете располагается над ИПЭ-ФОВ со стороны индикаторного билета.

Металлизированные пакеты объединены по 5 штук в единый блистер, к которому крепится скрепкой скарифikator для прокалывания пакета с водой.

ИПЭ-люизит предназначены для обнаружения паров люизита в воздухе [8] и предусматривались к использованию в комплекте с ВПХР или ППХР. ИПЭ-люизит должны обеспечивать обнаружение паров люизита в воздухе в диапазоне массовых концентраций  $(5 \pm 1,5) \times 10^{-3}$ ,  $(5 \pm 1,5) \times 10^{-4}$ ,  $(5 \pm 1,5) \times 10^{-5}$   $\text{мг}/\text{дм}^3$  при расходе анализируемого воздуха  $(1,8 \pm 0,2)$   $\text{дм}^3/\text{мин}$ . [8].



Рис. 5. Индикаторные плоские элементы ИПЭ-ФОВ в блистере.



Рис. 6. Индикаторный билет ИПЭ-ФОВ.

ИПЭ-люизит состоит из индикаторного билета, импрегнированного индикаторным раствором, и ампул с индикаторным раствором. Индикаторный билет и ампулы с индикаторным раствором располагаются между круглыми полиэтиленовыми секциями, спаянными вместе по диаметру. В центре каждой секции выполнено отверстие для доступа воздуха. ИПЭ-люизит промаркированы и упакованы в металлизированный пакет с маркировочным знаком. Пакеты объединены по 5 штук в единый блистер [8].

На объектах по хранению и уничтожению ХО был выявлен ряд существенных недостатков в ходе практического применения ИПЭ при помощи прибора ВПХР. Выявленные недостатки являются результатом непродуманных технических и конструкторских решений при разработке элементов, что позволило сделать вывод о том, что ИПЭ были не предназначены, а приспособлены к использованию с помощью прибора ВПХР.

Кроме того, в 2007 году была проведена проверка качественного состояния образцов индикаторных плоских элементов ИПЭ-ФОВ и ИПЭ-люизит и оценка их соответствия требованиям технических условий [9].

Основной задачей проведения испытаний являлась проверка качественного состояния, основных показателей назначения и технических характеристик ИПЭ-ФОВ и ИПЭ-люизит (гарантийные сроки которых не истекли) на соответствие наиболее важным требованиям Технических условий, которые определяют возможность выполнения задач химического контроля в системе мероприятий по обеспечению

безопасности персонала и личного состава на объектах по хранению и уничтожению ХО.

Проведённые испытания подтвердили несоответствие основных показателей назначения ИПЭ – ФОВ и ИПЭ-люизит требованиям Технических условий и запланированный объём испытаний не выдержали.

Испытанные ИПЭ – ФОВ и ИПЭ-люизит не обеспечили обнаружение ОВ на уровне нижнего порога обнаружения  $(1 \pm 0,3) \times 10^{-7}$  мг/дм<sup>3</sup> – для ФОВ и  $(5 \pm 1,5) \times 10^{-5}$  мг/дм<sup>3</sup> – для люизита) и не отвечают требованиям по решению задач обеспечения безопасности персонала и личного состава на объектах по хранению и уничтожению ХО. Указанные значения содержания ОВ в воздухе являются наиболее значимыми при оценке уровня безопасности.

Использование на объектах по хранению и уничтожению ХО ИПЭ для решения задач химического контроля признано нецелесообразным ввиду выявленных недостатков и невысоких эксплуатационных характеристик.

Опыт использования на объектах по хранению и уничтожению ХО простейших средств химического контроля показал:

индикаторные трубки являются надёжными средствами контроля ОВ и способны обеспечить быстрое решение типовых задач химического контроля;

наряду со сложными и технологичными средствами контроля, такими как газосигнализаторы и газоанализаторы, индикаторные трубки прочно занимают своё место в системе химического контроля;

одним из недостатков индикаторных трубок является невозможность определения ОВ

на уровне требований, установленных системой гигиенических нормативов.

### Литература

1. Коваленко И.В., Лякин А.С., Комиссаров А.Н., Конахин С.Ю. Основные аспекты использования простейших средств контроля отравляющих веществ применительно к процессу вывода из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 92 –95.

2. Комиссаров А.Н., Коваленко И.В., Лякин А.С., Балкаров Р.Р. Тенденции в развитии простейших средств контроля отравляющих веществ на объектах по хранению и уничтожению химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 96–99.

3. Трубка индикаторная ИТ-51. Технические условия. РЮАЖ.415522.217ТУ. ЗАО «НПФ «СЕРВЭК», Санкт – Петербург.

4. Трубка индикаторная ИТ-52. Технические условия. РЮАЖ.415522.252ТУ. ЗАО «НПФ «СЕРВЭК», Санкт – Петербург.

5. Трубка индикаторная ИТ-13-37. Технические условия. РЮАЖ.415522.213ТУ. ЗАО «НПФ «СЕРВЭК», Санкт – Петербург.

6. Трубка индикаторная ИТ-36. Технические условия. РЮАЖ.415522.211ТУ. ЗАО «НПФ «СЕРВЭК», Санкт – Петербург.

7. Элемент индикаторный плоский ИПЭ-ФОВ. Руководство по эксплуатации. КЕДШ.415333.001-01 РЭ. ООО «ЛБМ», Санкт – Петербург.

8. Элемент индикаторный плоский ИПЭ-люизит. Руководство по эксплуатации. КЕДШ.415333.001-03 РЭ. ООО «ЛБМ», Санкт – Петербург.

9. Акт испытаний образцов индикаторных плоских элементов ИПЭ-ФОВ и ИПЭ-люизит на соответствие требованиям технических условий, изготовленных и поставленных на объекты по хранению и уничтожению химического оружия в 2004-2006 годах. СВИБХБ, Саратов, 2007.

**Мониторинговые исследования влияния пруда-испарителя  
на качество подземных вод**

© 2015. И. В. Коваленко<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., Б. Н. Филатов<sup>2</sup>, д.м.н., директор,  
Н. Г. Британов<sup>2</sup>, к.м.н., зав. лабораторией, В. В. Клаучек<sup>2</sup>, д.м.н., зам. директора,  
Н. В. Крылова<sup>2</sup>, к.б.н., в.н.с., Л. А. Доброшенко<sup>2</sup>, с.н.с., А. А. Ватанская<sup>2</sup>, н.с.,

<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии  
Федерального медико-биологического агентства России,

e-mail: fubhuho@mail.ru, filatov@rihtop.ru, britanov@rihtop.ru, klauchek@rihtop.ru,  
krilova@rihtop.ru, lyudmila-dobroschenko@yandex.ru, vatalla@mail.ru

Изучено влияние пруда-испарителя Волгоградского ОАО «Химпром» на воды хазарского водоносного горизонта, которые используются для водоснабжения ряда населённых пунктов. Химический состав вод определялся по 37 показателям. Выявлены тенденции изменения состава и свойств воды хазарского аллювиального горизонта, свидетельствующие о наличии загрязнения. Среднегодовые показатели содержания в выбросах ряда компонентов превышали в разные годы допустимый уровень от 1,1 до 24,7 раза. Превышения допустимого уровня в выбросах отмечали следующим показателям: кальций, хлориды, ртуть, общий фосфор, фосфаты, железо, бутанол, изопропанол, 1,1,2-трихлорэтан, хлористый винил, хлороформ, винилиденхлорид, метанол, метиленхлорид, а также по показателям активности водородных ионов и биохимического потребления кислорода. Для веществ 1 и 2 классов опасности регистрировали превышения нормативов: ртути – до 10 раз, винилиденхлорида – до 7,5 раза, метанола до 6,5 раза, метиленхлорида – до 11,8 раза, хлороформа – до 3,6 раза, хлористого винила – до 2,7 раза. Степень влияния техногенных факторов на качество вод хазарского горизонта оценивается как опасное.

The effect of evaporation pond of the JSC “Khimprom” in Volgograd on the Khazar aquifer used to supply a number of settlements is studied. The chemical composition of the water was determined by 37 indicators. Tendencies of change in composition and properties of water in Khazar alluvial horizon indicate contamination. Annual average content of some components in the emissions exceeded the permissible level at different times by 1.1 – 24.7 times. Exceeding the allowable emission levels is stated in the following parameters: calcium chloride, mercury, total phosphorus, phosphates, iron, butanol, isopropanol, 1,1,2-trichloroethane, vinyl chloride, chloroform, vinylidene chloride, methanol, methylene chloride, and also in terms of hydrogen ions activity, and biochemical oxygen demand. For substances of danger classes 1 and 2 norm exceeding was recorded as for Mercury – up to 10 times, vinylidene chloride – to 7.5 times, methanol to 6.5 times, methylene chloride – 11.8 times, chloroform – up to 3.6 times, vinyl chloride – up to 2.7 times. The degree of influence of anthropogenic factors on water quality in the Khazar horizon is assessed as dangerous.

**Ключевые слова:** пруд-испаритель, жидкие отходы, вредные вещества, подземные воды, хазарский водоносный горизонт, загрязнение.

**Keywords:** evaporation pond, liquid waste, hazardous substances, groundwater, Khazar aquifer, contamination.

Одной из наиболее острых научно-технических и социальных проблем является управление промышленными отходами, сохранение санитарной безопасности почвы и водных ресурсов. Приёмники промышленных жидких отходов занимают особое место среди антропогенных источников загрязнения. В результате миграции различных органических и неорганических токсичных веществ из отходов через почву в подземные горизонты может ухудшаться качество подземных вод, что делает их непригодными для хозяйственно-питьевого и технического использования [1, 2].

Волгоградское ОАО «Химпром» – одно из крупных предприятий химического комплекса г. Волгограда, выпускавшее более 100 наименований продукции, единственный в России производитель хлорной извести, алкилсульфоната, трихлорэтилена, карбида кальция, поливинилхлорида эмульсионного, трикрезилфосфата, трибутилфосфата. Некоторые продукты в разные годы занимали значительную долю российского рынка – 14 % хлорпарафиновых жидких, 45 % метиленхлорида, 11 % хлороформа, 8 % соды каустической. В соответствии с технологическими регламен-

тами в производственных циклах в качестве сырья и полупродуктов использовались химические соединения разных классов опасности.

На протяжении многих лет стоки предприятия сбрасывались в приёмник общей площадью 39 км<sup>2</sup> и вместимостью 83,25 млн м<sup>3</sup>, расположенный в Светлоярском районе Волгоградской области, к юго-востоку от областного центра. Интенсивная эксплуатация приёмника осуществлялась с конца 80-х годов прошлого века до 1994 г. На протяжении 10 лет закачка стоков на пруды не производилась и была вновь возобновлена в 2005 г. Пруд-испаритель образован дамбой обвалования высотой 7,4 м, выполненной из суглинистых грунтов с заложением откосов 1:8–1:6. Для предотвращения фильтрации из пруда в теле оградительной дамбы установлен зуб из шоколадных глин, врезанный в основание на 0,8 м. Основанием дамбы и дном пруда являются мощные отложения из водоупорных шоколадных глин толщиной до 8 м. Однако экраны из уплотнённых глинистых грунтов в теле приёмников жидких отходов, как показывает практика, не обеспечивают полную изоляцию. Известно, что глины приобретают водоупорные свойства через несколько лет непрерывного увлажнения. Водопроницаемость глин может изменяться в результате образования трещин и макропор усыхания, вызванных усадкой при переменном увлажнении и осушении [2].

Целью настоящего исследования являлась оценка влияния пруда-испарителя Волгоградского ОАО «Химпром» (ВОАО «Химпром») на загрязнённость вод хазарского аллювиального горизонта.

Отбор проб воды на химический анализ осуществлялся 2 раза в год (в летний и осенний периоды) из 10 наблюдательных скважин глубиной до 40 м, расположенных по периметру пруда и оборудованных фильтровой колонной на хазарский водоносный горизонт. Химический состав вод определялся по 37 показателям. Оценка загрязнённости подземных вод производилась в соответствии с СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения» [3].

Общий сток жидких промышленных отходов ВОАО «Химпром» формировался из трёх потоков: химически загрязнённых стоков, шламовых стоков и условно чистых сточных вод. Химически загрязнённые и шламовые стоки проходили предварительную очистку на локальных очистных сооружениях в цехах. Предварительная очистка осуществлялась методами фильтрования и

отстаивания. Подготовленные стоки объединялись (разбавлялись) с условно чистыми стоками и подавались на пруд-испаритель в соответствии с «Нормативами допустимого воздействия (НДВ) на подземные воды при сбросе сточных вод в пруд-испаритель ВОАО «Химпром», утверждёнными Ростехнадзором 19.01.2010, объём поступающих сбросов в пруд-испаритель составлял 10 200 м<sup>3</sup>/сут. или 3 723 000 м<sup>3</sup>/год. Режим поступления жидких отходов был равномерным в течение суток и календарного года.

Сбросы представляли собой сложные гетерогенные смеси, содержащие примеси органического и минерального происхождения, подвергавшиеся определённым колебаниям по химическому составу и соотношению основных компонентов. Компоненты жидких отходов характеризовались общетоксическим и специфическим действием, обладали способностью к кумуляции и синергизму [4, 5]. Благодаря своим физико-химическим свойствам, некоторые токсиканты в процессе фильтрации были способны загрязнять почво-грунты и подземные воды. В число приоритетных загрязнителей стоков вошли: аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, фенолы, алкилсульфонат, нефтепродукты, метанол, бутанол, хлористый метил, хлористый винил, метиленхлорид, винилиденхлорид, четырехлористый углерод, трихлорэтан, хлороформ и др. Алкилсульфонат не только сам хорошо мигрирует по профилю грунта, но и способствует проникновению других загрязнителей в водоносные горизонты [6].

Анализ состава сбросов в динамике за период 2007–2013 гг. неоднократно фиксировал повышенное содержание взвешенных веществ, азота аммонийного, фосфора общего, фосфатов, сульфатов, хлоридов, ртути, железа, метанола, этанола, бутанола, изопропанола, хлористого винила, винилиденхлорида, метиленхлорида, метила хлористого, хлороформа, трихлорэтилена и других компонентов, а также показателей биохимического потребления кислорода и активности водородных ионов в поступающих на пруд-испаритель ВОАО «Химпром» жидких отходах. При этом среднегодовые показатели содержания в сбросах превышали в разные годы разрешенный уровень от 1,1 до 24,7 раза по таким веществам, как кальций, хлориды, ртуть, фосфор общий, фосфаты, железо, бутанол, изопропанол и 1,1,2-трихлорэтан, хлористый винил, хлороформ, винилиденхлорид, метанол, метиленхлорид, а также по показателям

активности водородных ионов и биохимического потребления кислорода. В том числе, регистрировались превышения нормативов для веществ 1 и 2 класса опасности: ртути – до 10,0 раз, винилиденхлорида – до 7,5 раза, метанола – до 6,5 раза, метиленхлорида – до 11,8 раза, хлороформа – до 3,6 раза, хлористого винила – до 2,7 раза.

В районе расположения приёмника жидких отходов ВОАО «Химпром» непосредственному химическому воздействию может подвергаться наиболее водообильный и широко распространённый хазарский водоносный горизонт, использующийся для водоснабжения ряда населённых пунктов рассматриваемой территории. В пределах Сарпинской низменности защищённость грунтовых вод, в зависимости от состава и мощности перекрывающих отложений, изменяется от I до V категории и при проектировании прудов накопителей-испарителей не учитывалась, что явилось причиной их расположения в неоднородных условиях по природной защищённости грунтовых вод. Установлено, что природная защищённость грунтовых вод в пределах накопителя жидких отходов ВОАО «Химпром» относится к III категории, и только часть относится к IV категории [7]. Учитывая вышеизложенное, нельзя исключить возможность влияния компонентов жидких отходов на загрязнённость подземных вод.

Исследование состояния подземных вод в районе расположения пруда-испарителя в динамике за период с 2007 года по 2013 год выявило значительные колебания химического состава воды из наблюдательных скважин, расположенных вокруг этого приёмника сточных вод. Известно, что подземные воды, не подверженные антропогенной нагрузке, характеризуются обычно постоянством состава. Существование в подземных водах окислительно-восстановительных систем отдельных элементов приводит к установлению в них динамического равновесия [8]. Общее количество органических веществ, содержащееся в водах, может характеризоваться величиной бихроматной окисляемости или химического потребления кислорода на окисление органических веществ, величина которого в подземных водах в среднем составляет от 1 мг/л до 4 мг/л [6]. В водах наблюдательных скважин регистрировались чрезвычайно высокие, не характерные для подземных вод, показатели химического потребления кислорода в диапазоне от 20,0 до 216,0 мг/л. Содержание общего железа существенно колебалось в боль-

шинстве скважин, максимальный диапазон в одной из скважин составлял от 0,8 (2,7 ПДК) до 7,3 мг/л (24,3 ПДК). Этот факт является косвенным подтверждением загрязнения вод хазарского горизонта органическими веществами, так как в случае загрязнения подземных вод промышленными отходами, содержащими органику, происходит не только привнос в воды нежелательных веществ, но и снижение величины окислительно-восстановительного потенциала вод вследствие расхода кислорода на окисление органических соединений. Результатом этого является быстрый переход из пород в воду многих элементов с переменной валентностью, особенно железа [2, 6]. Во всех наблюдательных скважинах зафиксированы значительные колебания химического состава воды по водородному показателю, сухому остатку, хлорид-иону, сульфат-иону, аммоний-иону и нитрат-иону. Согласно гидрохимической карте хазарского водоносного горизонта, составленной до строительства прудов, его воды в районе расположения изучаемого пруда-испарителя характеризовались, как пресные с сухим остатком до 500 мг/дм<sup>3</sup>. В 2011–2013 годах в воде наблюдательных скважин сухой остаток регистрировался на уровне от 604,0 мг/дм<sup>3</sup> до 3232,0 мг/дм<sup>3</sup>. В воде большинства наблюдательных скважин зафиксированы существенные колебания концентраций сульфат-иона с выраженной тенденцией к уменьшению его содержания. Так как энергия связи серы и кислорода в сульфат-ионе чрезвычайно велика, его химическое восстановление при невысоких (ниже 100°C) температурах и давлениях, обычно свойственных подземным водам, неизвестно. Такое восстановление происходит только с помощью сульфатредуцирующих бактерий, использующих в процессе анаэробного дыхания кислород из сульфатов и в качестве энергетического материала газообразный водород или органическое вещество. В связи с этим различают процессы автотрофной и гетеротрофной сульфатредукции. В первом случае при этом наблюдается увеличение водородного потенциала среды. При гетеротрофной сульфатредукции происходит окисление органических веществ, что особенно характерно для очагов загрязнения подземных вод органическими веществами [6]. Так как в нашем случае увеличения водородного потенциала подземных вод не наблюдалось, следует предположить наличие гетеротрофной сульфатредукции, а, следовательно, и загрязнённости хазарского водоносного горизонта органическими веще-

ствами. Кроме того, фиксировались единичные случаи превышения предельно допустимых концентраций ртути (1,6 ПДК), свинца (1,1 ПДК), никеля (2,0 ПДК), фосфатов (1,1–1,4 ПДК) и ионов аммония (1,2–1,8 ПДК).

Наблюдаемые тенденции изменения состава воды подтверждают предположение о существовании техногенной нагрузки на воды хазарского аллювиального горизонта.

### Заключение

Таким образом, выявленные тенденции изменения состава и свойств воды хазарского аллювиального горизонта в соответствии с существующими требованиями [3] дают основание считать их загрязнёнными. Степень влияния техногенных факторов на качество вод хазарского горизонта можно рассматривать как опасное, так как по ряду веществ наблюдается стабильное превышение фоновых показателей при их максимальных уровнях, превышающих ПДК. В связи с тем, что в Светлоярском районе Волгоградской области наблюдается площадной (региональный) характер загрязнения подземных вод, при котором трудно разграничить степень влияния каждого локального источника, необходимо проведение углублённых комплексных исследований с расширением перечня определяемых химических соединений и увеличением количества точек наблюдения, находящихся в

населённых пунктах, расположенных в зоне влияния прудов накопителей-испарителей.

### Литература

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 316 с.
2. Орадовская А. Е., Лапшин Н. Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1987. 167 с.
3. СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2001. № 38. 12 с.
4. Вредные вещества в окружающей среде. Элементы I–IV групп периодической системы и их неорганические соединения: Справочно-энциклопедическое издание. – СПб.: НПО «Профессионал», 2005. 461 с.
5. Вредные вещества в окружающей среде. Элементы V–VIII групп периодической системы и их неорганические соединения: Справочно-энциклопедическое издание. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. 452 с.
6. Крайнов С. Р., Швец В. М. Гидрохимия. М.: Недра, 1992. 463 с.
7. Беляева Ю. Л. Инженерно-геологическое обоснование строительства современных полигонов хранения отходов в солянокупольных областях: автореф. дисс. д-ра геолого-минералогических наук: 25.00.08 Волгоград, 2005. 48 с.
8. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка: Учебное пособие. М.: МГУ, 1996. 680 с.

**Биоиндикационные основы экоконтроля состояния сред обитания при утилизации химического оружия с применением лишенобиоты**

© 2015. И. А. Балясников<sup>1</sup>, к.с.-х.н., директор, Т. А. Рудакова, зав. лабораторией, Л. Н. Анищенко<sup>2</sup>, д.с.-х.н., профессор,

<sup>1</sup>Региональный центр государственного экологического контроля и мониторинга по Брянской области,

<sup>2</sup>Брянский государственный университет им. акад. И. Г. Петровского  
e-mail: rcegekim32@gmail.com, eco\_egf@mail.ru

Биоиндикационные основы оценки сред обитания на химически опасном техногенном объекте в Брянской области представлены с использованием комплексной лишенодиагностики. На основе использования количественных лишеноиндикационных индексов, также биохимических показателей доказана высокая информативность лишенобиоты применительно к средам обитания на объекте уничтожения химического оружия. Выявлены концентрации серы, фосфора и тяжёлых металлов в слоевищах лишайников в фоновом и импактном мониторинге территории химически опасного техногенного объекта. С момента начала сжигания реакционных масс на объекте не произошло исчезновения представителей чувствительных видов лишенобиоты, синтетические лишеноиндикационные индексы свидетельствуют о нормальном общем состоянии воздуха. Установлены индивидуальные накопительные особенности видов лишенобиоты, предложены тест-объекты на содержание серы: ксанторию постенную и пармелию бороздчатую. На основе концентрации серы общей, фосфора, трёх видов тяжёлых металлов в слоевищах эпифитных лишайников предложено зонирование территории объекта по утилизации химического оружия и карты распределения элементов при импактном биомониторинге. В целом состояние лесных экосистем реперных точек химически опасного техногенного объекта, оценено как «нормальное».

Biological bases of assessment of habitats on chemically dangerous object in the Bryansk region are represented using complex of lichenoidicators. Through the use of quantitative indexes of the lichenoidicators, biochemical indices proved to be highly informative lichen biota in relation to the habitats at the facility for destruction of chemical weapons. Concentrations of sulfur, phosphorus and heavy metals in thallus of a lichens in the background to impact the monitoring site chemically hazardous man-made object. Since the combustion reaction mass to the object had not been for the disappearance of representatives of the sensitive species of the lichen biota, synthetic lichen-indication index indicates normal General condition of the air. Individual cumulative features of species of the lichen biota proposed test objects on the sulphur content of *Xanthoria parietina* and *Parmelia sulcata*. The concentration of total sulfur, phosphorus, three types of heavy metals in thalli of the epiphytic lichens of the proposed zoning the site for the disposal of chemical weapons and maps of distribution of elements in the impact biomonitoring. Overall, the state of the forest ecosystem reference points chemically hazardous man-made object that is evaluated as «normal».

Ключевые слова: биомониторинг, комплексная лишеноиндикация, импактный и фоновый мониторинг, объект по утилизации химического оружия, Брянская область.

Keywords: biomonitoring, monitoring with lichens, background and impact monitoring, a facility for the disposal of chemical weapons, Bryansk region.

Создание и апробирование системы биомониторинга на объектах по утилизации химического оружия (ОУХО) – важный механизм в экоконтроле при подведении итогов фонового и импактного мониторинга компонентов сред обитания [1]. В Брянской области на химически опасном техногенном объекте (ОУХО 1204, Почепский район, Брянская область) широко применяются биоиндикационные исследования, собраны, обработаны и обнародованы фондовые и текущие материалы, выделены перспективные биоиндикаторы [2]. Особенно зарекомендовал себя лишеноиндикационный метод,

позволяющий прогнозировать во времени уровень загрязнения, динамику качества окружающей среды, состояние компонентов сообществ, проводить крупномасштабное картирование территорий, а также сочетать биоиндикационные и экоаналитические данные [3]. Несмотря на то, что метод лишеноиндикации используется исследователями не одно десятилетие [4, 5], перспектива его применения несомненна: получение комплексной количественной характеристики сред обитания, установление возможных причин неблагоприятных изменений в экосистемах различного происхождения.

Цель работы – представить комплексную лишеноиндикационную основу экоконтроля на химически опасном техногенном объекте (на примере ОУХО в Брянской области).

Полевые исследования проводились на территории зоны защитных мероприятий ОУХО в Почепском районе Брянской области. Практически 80% территории санитарно-защитной зоны ОУХО и большие площади за её пределами составляют лесные массивы. Поэтому в условиях ветровой тени затруднено получение достоверных данных по концентрациям загрязняющих веществ, поступающих в воздух при эксплуатации объекта. Уничтожение авиационных химических боеприпасов, снаряжённых заринном, зоманом и Ви-икс, хранящихся на арсенале воинской части, началось на ОУХО в 2010 г., сжигание реакционных масс проводится со второго квартала 2011 г. Результаты лишенологических исследований дополняют инструментальный контроль по маркерным элементам (сере, фосфору), тяжёлым металлам (ТМ), их распространению в слоевищах фоновой лишенобиоты, в системе контроля общего состояния атмосферного воздуха в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) объекта [6].

Для анализа химического состава собирались фоновые (наиболее распространённые) виды эпифитных лишайников, кора деревьев-форофитов. Содержание ТМ, серы и фосфора определялось в биомассе *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Physcia caesia* (Hoffm.) Fűrnr., *Evernia mesomorpha* Nyl., *E. prunastri* (L.) Ach., *Parmeliopsis ambigua* (Wulf.) Nyl., *Xanthoria parietina* (L.) Belt., *Parmelia sulcata* Tayl. Образцы коры отбирались в момент сбора лишайников в соответствии с методическими документами [7]. В районе ОУХО пробы изымались на реперных точках в пределах СЗЗ методом маршрутного хода. Число изученных стволов форофитов в каждом пункте составляло от 3 до 10, в зависимости от условий произрастания. Расположение деревьев для исследований выбиралось с учётом возможности проведения обследования участка ствола, на высоте до 2,0 метров, равномерно освещённых, без искривлений. На объектах эпифитную лишенофлору изучали на видах деревьев: *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Pinus sylvestris* L., *Populus tremula* L., *P. nigra* L., *Quercus robur* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Fraxinus excelsior* L., *Sorbus aucuparia* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. Синтетические лишеноиндикационные индексы рассчитаны ранее [2].

Собранные образцы подвергались общепринятой камеральной обработке для пробоподготовки к работе на спектрометре «Спектроскан-Макс» фирмы Spectron [8]. В качестве общего показателя применяется интегрированный показатель сравнения «сумма тяжёлых металлов». За все годы исследований проанализировано более 800 образцов биомассы лишенобиоты и столько же субстрата (коры). Определение серы по методу ЦИНАО выполнялось в соответствии с ГОСТ 26490-85, с адаптацией к растительному материалу [9]. При фотометрировании использовался спектрофотометр Спекс. Определение массовой доли общего фосфора в лишайниках проведено по МВИ № 031-03-183-05 «Методика выполнения измерений общего фосфора в почве фотометрическим методом», доработанной для исследования биологического (растительного) материала [10]. Фотометрирование проводилось на спектрофотометре UNICO 1201. Рассчитывались коэффициенты накопления (Кн) – как отношение концентрации элемента (ТМ, серы, фосфора) в биомассе лишайников к концентрации его в коре форофита [11, 12]. Видовые названия лишайников указаны по Списку лишенофлоры России [13].

На химически опасном техногенном объекте сера и фосфор – маркерные элементы продуктов деструкции отравляющих веществ (ОВ), которые могут аккумулироваться элементами биоты. По данным проекта ПДВ для производственных корпусов ОУХО высота дымовых труб составляет 20-30 метров, что гарантирует активное разбавление загрязнителей на таких высотах. Поэтому достижение опасных концентраций контролируемых веществ для человека или биоиндикаторов лишайников маловероятно, но техногенное воздействие на состояние воздуха прослеживается. Определение содержания в слоевищах лишайников фосфора, серы, ТМ, их накопления в дополнении к точным газохроматографическим методам определения ОВ, продуктов их деструкции и компонентов дегазирующих рецептур, позволит в полной мере проводить анализ техногенного воздействия на территорию СЗЗ, и в целом на административные районы области.

В зоне защитных мероприятий ОУХО проективное покрытие эпифитных лишеносинузий близко к максимуму, каких-либо следов их массового разрушения, кроме естественных моментов отмирания, не отмечается. Результаты состояния воздуха по синтетическим лишеноиндикационным индексам – индексу полеотолерантности (ИП) и индексу атмосферной

чистоты (ИАЧ) – в СЗЗ можно оценить как нормальное (ИАЧ = 12-20, ИП = 3,0-5,5).

За годы наблюдений (2010–2014 гг.) сдвига по превышению концентраций по содержанию ТМ в районе ОУХО не выявлено. В среднем определяемые концентрации ТМ сопоставимы с составом коры форофитов (исследовалась кора сосны, берёзы тополя, ольхи, дуба). Сумма ТМ составляет 2500 мг/кг массы таллома, причём на долю железа приходится 70,4%, а марганца – 12,3%. Такие элементы как мышьяк, кобальт, ванадий находятся вне диапазона определения прибором, содержание их на исследуемой территории минимально. Так как лишайники – накопительные биоиндикаторы, то наибольшее содержание в их слоевищах зарегистрировано для свинца, цинка и меди. Также установлено, что содержание этих ТМ регулируется уровнем загрязнённости ими воздуха [14]. Наблюдаемую территорию ОУХО разделяют на две группы зон по валовому содержанию ТМ в слоевищах лишайнобиоты: для свинца – зоны до 20,0 мг/кг и вторая – выше, для меди – до 30,0 мг/кг и выше, для цинка – до 35,0 мг/кг и выше (рис. 1-3). Валовые концентрации трёх ТМ не превышают фоновые для Брянской области.

Индивидуальные особенности видов отмечаются как по содержанию серы, так и ТМ. Например, содержание серы в талломе *Xanthoria parietina* выше, чем у *Parmelia sulcata* в 1,3 раза (рис. 4). Сера входит в состав слоевищ эпифитных лишайников ОУХО в концентрации 17,0-70,0 мг/кг (рис. 5). Относительно разных видов форофитов, максимальное количество серы обнаружено в ольхе чёрной, в некоторых случаях оно больше содержания серы в лишайнике, минимальное – в коре берёзы.

Содержание серы общей в слоевищах эпифитных лишайников стабильная величина. Для ОУХО более информативно будет сравнение данных по точкам, расположенным непосредственно на границе промплощадки, на границе СЗЗ и границе зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) (рис. 5).

Фосфор в составе слоевищ лишайников определялся с 2008 г. как маркер присутствия ФОВ [6]. Результаты имеют общую тенденцию к увеличению, однако с момента пуска завода по уничтожению ХО в 2011 г. не произошло скачкообразного роста его концентраций (рис. 7). Следовательно, прогнозируемого «плохого сценария» развития экологической ситуации с момента сжигания отходов не произошло. Содержание фосфора в коре деревьев меньше в 2-4 раза.

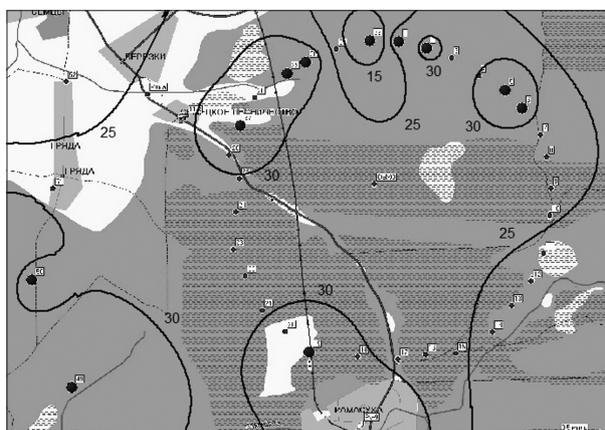


Рис. 1. Изолинии валового содержания меди (мг/кг) в слоевищах эпифитной лишайнобиоты реперных точек ОУХО.

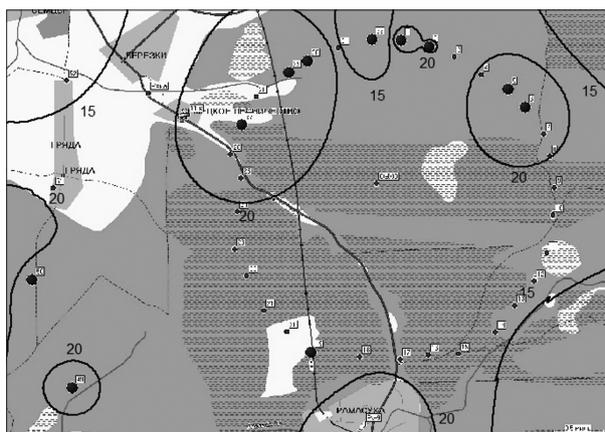


Рис. 2. Изолинии валового содержания свинца (мг/кг) в слоевищах эпифитной лишайнобиоты реперных точек ОУХО.

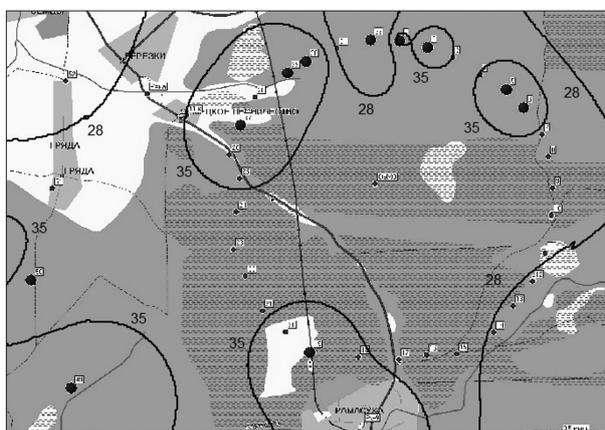


Рис. 3. Изолинии валового содержания цинка (мг/кг) в слоевищах эпифитной лишайнобиоты реперных точек ОУХО.

По содержанию фосфора общего в слоевищах эпифитного лишайника гипогимнии вздутой выделено три группы зон (рис. 8). Значительная часть территории характеризуется средней концентрацией фосфора (концентрация к абс. сухому весу, мг/кг).

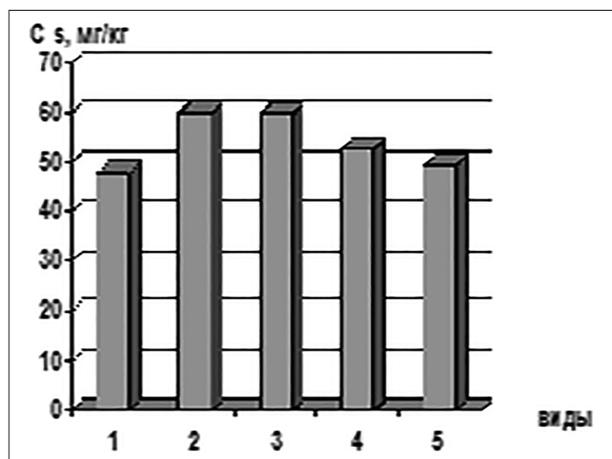


Рис. 4. Валовая концентрация серы (мг/кг) в слоевищах эпифитных лишайников реперных точек ОУХО (средние значения).

Виды лишайности: 1 – *Parmelia sulcata*, 2 – *Parmeliopsis ambigua*, 3 – *Xanthoria parietina*, 4 – *Evernia prunastri*, 5 – *Physcia caesia*.

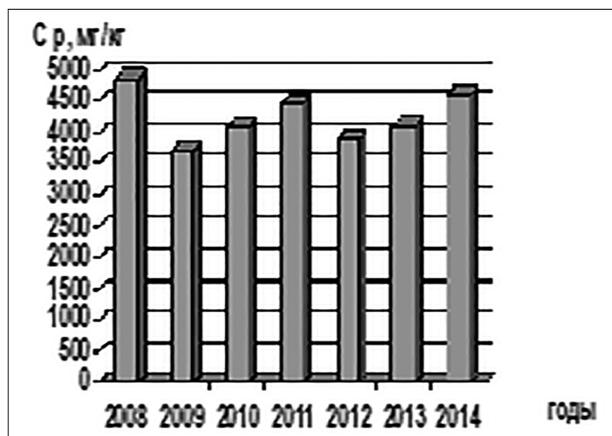


Рис. 7. Содержание фосфора в слоевищах *Hypogymnia physodes* (концентрация к абс. сухому весу, мг/кг) в реперных точках ОУХО в 2008-2014 гг.

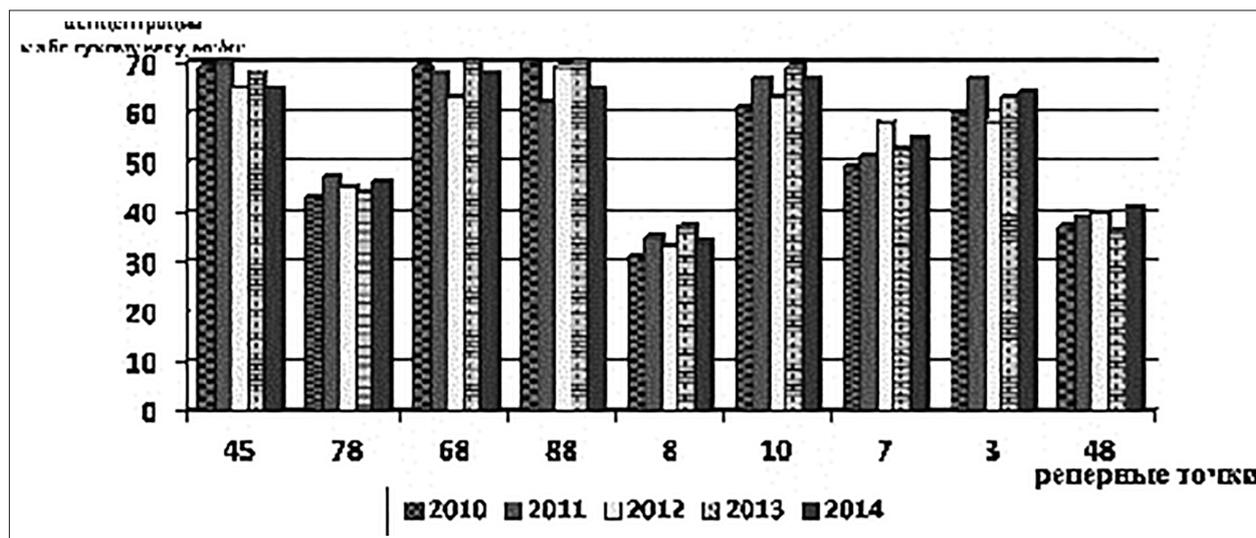


Рис. 5. Валовая концентрация серы общей (мг/кг) в слоевищах *Hypogymnia physodes* на реперных точках ОУХО (Почепский район, Брянская область).

Содержание фосфора в талломах эпифитной лишайности – видовой признак. Концентрация фосфора (к абс. сухому весу, мг/кг) в биомассе *Parmelia sulcata* и *Xanthoria parietina* наименьшее и достоверно отличается от величин концентраций у других исследованных эпифитных лишайников (рис. 9).

Минимальное содержание фосфора выявлено у нитрофильного вида ксантории постенной, также у пармелии бороздчатой, предпочитающего умеренно богатые элементами субстраты, умеренно кислые (рН 4,9-5,6). Виды рода эверния, гипогимния вздутая предпочитают кору относительно бедную элементами питания, довольно кислую (рН 4,1-4,8), содержат наибольшие концентрации свободного фосфора.

Тем не менее, поскольку продукты деградации ОВ территории ОУХО устойчивы и могут накапливаться во всех средах, возможно увеличение определяемого содержания серы и фосфора в слоевищах лишайников.

В ССЗ химически опасного техногенного объекта информативным показателем накопительной способности лишайности служат коэффициенты накопления (Кн) (табл. 1).

Виды-исключители (не накапливают серу) – *Parmeliopsis ambigua*, *Physcia caesia*. Тест-объект по наибольшей накопительной способности серы (вид-индикатор) с Кн больше 2 – *Xanthoria parietina*, *Parmelia sulcata*. Кн для эпифитной лишайности в СЗЗ меньше, чем для видов лишайников, собранных в местообитаниях города. Ни один из видов лишайности не накапливает фосфор, это виды-исключители. Ксантория постенная



Таблица 1

Коэффициенты накопления (средние значения) для серы (1) и фосфора (2) в талломах эпифитной лишенобиоты на различных форофитах

Виды форофитов	1					2					
	коэффициент накопления для видов эпифитной лишенобиоты										
	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Tilia cordata</i>		0,73			1,45	0,55		0,34		0,44	0,42
<i>Betula pendula</i>		0,48			2,04	1,30		0,52		0,67	0,51
<i>Pinus sylvestris</i>	1,15		1,02	0,63			0,38		0,27		
<i>Quercus robur</i>			0,57		1,10				0,38	0,89	
<i>Fraxinus excelsior</i>		0,36			1,22	0,93		0,51		0,33	0,41
<i>Alnus glutinosa</i>					0,75						
<i>Sorbus aucuparia</i>					1,76	1,17				0,62	0,58
<i>Acer platanoides</i>					1,58	1,20				0,38	0,35
<i>Populus tremula</i>					1,48	1,24				0,62	0,37

Примечание. \* Виды лишенобиоты: 1. *Hypogymnia physodes*, 2. *Physcia caesia*, 3. *Evernia prunastri*, 4. *Parmeliopsis ambigua*, 5. *Xanthoria parietina*, 6. *Parmelia sulcata*, 7. *Hypogymnia physodes*, 8. *Evernia mesomorpha*, 9. *Evernia prunastri*, 10. *Xanthoria parietina*, 11. *Parmelia sulcata*.

следования состава лишайников по содержанию серы, фосфора, ТМ и синтетических лишеноиндикационных индексов позволят вести комплексный экомониторинг и оценить способность к самовосстановлению экосистем после завершения процесса уничтожения химического оружия и сворачивания обширной программы химических исследований вокруг объекта по уничтожению ХО. С момента начала сжигания реакционных масс на ОУХО не произошло исчезновения представителей чувствительных видов лишенобиоты, синтетические лишеноиндикационные индексы свидетельствуют о нормальном общем состоянии воздуха.

Установлены индивидуальные особенности видов лишенобиоты как по содержанию фосфора, так и серы. По коэффициенту накопления серы общей рекомендовано использовать тест-объекты – ксанторию постенную и пармелию бороздчатую. Не удалось предложить маркерные виды лишайников для мониторинга фосфора. Используя данные концентрации серы общей, фосфора, трёх видов ТМ в слоевищах эпифитных лишайников фоновых видов, проведено зонирование территории ОУХО. По фоновому валовому содержанию ТМ в биомассе лишайников можно сделать предположение об отсутствии поступления загрязнителей с трансграничным перемещением воздушных масс, а также о стабильной работе очистных сооружений. В целом полученные биохимические показатели фоновой лишенобиоты позволили оценить состояние лесных экосистем территории ОУХО как нормальное (по Б.В. Виноградову).

### Литература

1. Ашихмина Т.Я., Менялин С.А., Мамаева Ю.И., Новикова Е.А., Кантор Г.Я. Экологический контроль и мониторинг окружающей природной среды в районе объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 1. С. 57–63.
2. Анищенко Л.Н., Балясников И.А., Рудакова Т.А. Блок биомониторинга в экоаналитическом контроле химически опасных техногенных систем (на примере объекта по утилизации химического оружия 1204, Брянская область) // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 3. С. 40–46.
3. Анищенко Л.Н., Балясников И.А., Рудакова Т.А. Лишеноиндикация состояния атмосферного воздуха на химически опасных техногенных объектах // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 79–84.
4. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. – М.: Изд-во «Научный Мир», 2002. 336 с.
5. Аржанова В.С., Скирина И.Ф. Значение и роль лишеноиндикационных исследований при эколого-геохимической оценке состояния окружающей среды // География и природные ресурсы. 2000. №4. С. 33–40.
6. Акименков Н.В., Бачегов С.А. Анализ работы ЦЭАЛ в рамках программы мониторинга и контроля окружающей природной среды в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий комплекса объектов по хранению и уничтожению химического оружия в г. Почеп Брянской области в 2006-2010 гг. // III Междунар. науч.-практ. конф.: Сб. статей. Брянск: Изд-во Курсив, 2010. С. 40–48.
7. Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу / пер. с англ.; Под ред. А. Г. Рябошапко. Kjeller, 2001: [site of NILU]. URL: <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html> (дата обращения: 22.06.2015).

8. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. М 049-П/04. – С-Пб.: ООО НПО «Спектрон», 2004. 20 с.

9. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО. ГОСТ 26490-85.

10. МВИ № 031-03-183-05. Методика выполнения измерений общего фосфора в почве фотометрическим методом. ФГУ «ГосНИИЭНП». Саратов. 2004.

11. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз,

реакция населения, пути реабилитации / Под ред. В. А. Ипатьева. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. 396 с.

12. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 340 с.

13. Список лишенофлоры России. СПб. 2010. 194 с.

14. Шарунова И. П. Межвидовая и внутривидовая изменчивость накопления тяжелых металлов эпифитными лишайниками в градиенте токсической нагрузки.: дисс. ... канд.биол. наук. Екатеринбург. 2008. 119 с.

15. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС, 1998. 418 с.

**Изучение воздействия объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» на состояние природных сред и объектов**

© 2015. Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, д.т.н., зав. кафедрой, зав. лабораторией, А. С. Тимонов<sup>2</sup>, с.н.с., Г. Я. Кантор<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., О. Г. Пантелеева<sup>2</sup>, с.н.с., Е. В. Домнина<sup>1,2</sup>, к.б.н., доцент, с.н.с., Е. В. Дабах<sup>1</sup>, к.б.н., с.н.с., С. Ю. Огородникова<sup>1,2</sup>, к.б.н., доцент, с.н.с., Ю. В. Новойдарский<sup>2</sup>, аспирант, В. А. Титова<sup>2</sup>, с.н.с.,

<sup>1</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

<sup>2</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,  
e-mail: ecolab2@gmail.com

Приведены результаты многолетних исследований состояния природных сред и объектов в районе функционирования объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский». За период деятельности объекта, с 2006-го по 2014 год, не выявлено опасных превышений ПДК загрязняющих веществ в природных средах и объектах. Влияние объекта уничтожения химического оружия проявляется лишь в накоплении соединений фосфора в эпифитных лишайниках на участках мониторинга, ближайших к объекту уничтожения химического оружия. Сделан вывод о необходимости проведения экологического мониторинга при выполнении работ по ликвидации последствий деятельности объекта уничтожения химического оружия.

The results of studies of the condition of natural environments and objects in the area of object functioning for destruction of chemical weapons «Maradykovsky» were shown. During the period of 2006-2014 did not reveal excess of MPC of dangerous pollutants in natural environments and objects. The impact of the object for destruction of chemical weapons appears only in the accumulation of phosphorus in epiphytic lichens at monitoring sites near the object of destruction of chemical weapons. It is concluded that necessity of environmental monitoring of during the work on liquidation of consequences activities of object of chemical weapons destruction.

**Ключевые слова:** объект уничтожения химического оружия, экологический мониторинг, атмосферный воздух, почва, поверхностные и подземные воды, растительность, лишайники.

**Keywords:** the object destruction of the chemical weapons, environmental monitoring, air, soil, surface water and groundwater, vegetation, lichens.

Объект уничтожения химического оружия «Марадыковский» в Кировской области введён в эксплуатацию 8 сентября 2006 года. На 11 сентября 2015 года, ровно через 9 лет, на данном объекте уничтожен последний боеприпас с отравляющим веществом из хранившихся на арсенале.

Для анализа происходящих изменений природной и техногенной среды за период эксплуатации объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» в Кировской области были использованы фондовые материалы: специально уполномоченных государственных (федеральных и региональных) и муниципальных органов власти и специализированных организаций; ежегодные отчёты Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по Кировской области за 2006–2014 гг.; материалы производственного экологического контроля

и мониторинга на объекте хранения и уничтожения химического оружия с 2006 по 2014 год; отчёты лаборатории биомониторинга ВятГГУ по проектам «Инженерно-экологические изыскания для проектирования ОУХО по программе уничтожения химического оружия в Кировской области» (1999 г.), «Оценка воздействия строительства и эксплуатации объекта 1726 на окружающую среду» (2000 г.), «Экологическое обследование мест хранения, бывшего и планируемого уничтожения химического оружия на территории Оричевского района Кировской области» и др. [1–5]. Кроме того, по программе инженерно-экологических изысканий в летне-осенний период 2014 года проведены полевые обследования на территории санитарно-защитной зоны, в радиусе 2 км от объекта.

На основе анализа фондовых материалов, по результатам полевого обследования

отмечено, что за период строительства и эксплуатации объекта уничтожения химического оружия (ОУХО) территория вблизи проектируемого полигона подверглась изменению вследствие изъятия грунта, вырубке леса, планировки местности, движения транспорта, строительства дамб и дорог [6]. Проводилась расчистка леса вокруг ОУХО с вырубкой подлеска. Наблюдается постепенное зарастание ранее существовавших просек. Сохранились следы ветровалов.

Почвенный покров в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия в радиусе 2000 м неоднородный, в его составе распространены следующие почвы:

- подзолистые и дерново-подзолистые с разной степенью оподзоленности, местами оглеенные, преимущественно песчаного и супесчаного гранулометрического состава;
- дерново-глеевые и дерново-карбонатные почвы легко- и среднесуглинистые, в том числе оподзоленные;
- болотные низинные перегнойно-торфяно-глеевые и аллювиальные болотные почвы;
- нарушенные и техногенные почвы.

Сплошное распространение почвенного покрова нарушено строительными работами, прокладкой линий электропередач, автомобильных дорог, дренажных систем, полосами отчуждения вокруг объекта хранения и уничтожения химического оружия (ОУХО), торфоразработками.

Благоприятность для проживания населения на какой-либо территории оценивается как по уровню техногенного воздействия, так и по устойчивости природного комплекса к этому воздействию. На территории санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ОУХО «Марадыковский» по устойчивости к загрязнению преобладают почвы, относящиеся к неустойчивым и малоустойчивым, площади таких почв достигают 67%. При близком уровне залегания грунтовых вод опасность загрязнения их очень велика вследствие крайне низкой

поглощательной способности почв и высокой водопроницаемости.

Анализ отчётов государственного экологического контроля и мониторинга, производственного контроля и мониторинга на объекте за период с 2006 по август 2014 года свидетельствует о том, что в радиусе 2-х км вокруг планируемого полигона захоронения отходов объекта «Марадыковский» (в пос. Мирный Кировской области) в период с 2006 по август 2014 г. отравляющие вещества и продукты их химической или термической деструкции во всех исследуемых пробах атмосферного воздуха, почвы, снежного покрова, воды эксплуатационных и наблюдательных скважин, колодцев не обнаружены. По данным лабораторных анализов, определяемые концентрации во всех случаях были меньше пределов обнаружения используемых методик химического анализа и значительно меньше предельно допустимых концентраций.

Содержание общепромышленных загрязняющих веществ в отобранных пробах атмосферного воздуха отмечается без превышений установленных нормативов и фоновых показателей. Значения среднемесячных концентраций общепромышленных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны с наветренной стороны от объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» приведены в таблице 1.

Результаты измерения концентраций на примере углеводородов в воздухе на границах СЗЗ ОУХО за период с марта 2011 г. по февраль 2013 г. приведены на рисунке 1.

Дополнительной характеристикой уровня загрязнения атмосферного воздуха в районе ОУХО «Марадыковский» служат данные автоматических стационарных постов контроля (АСПК), расположенных на окраинах ближайших к ОУХО населённых пунктов. Из всех имеющихся рядов наблюдений данные АСПК отличаются максимальным объёмом мате-

Таблица 1

Значения среднемесячных концентраций общепромышленных ЗВ в атмосферном воздухе в районе объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский», 2014 г.

№ п/п	Загрязняющее вещество	Среднемесячная концентрация, мг/м <sup>3</sup>	Предельно допустимая концентрация, мг/м <sup>3</sup>	
			макс.-разовая	среднесуточная
1	Диоксид азота	0,00221 ± 0,00003	0,085	0,04
2	Оксид азота	0,00245 ± 0,00009	0,4	0,06
3	Оксид углерода	0,326 ± 0,006	5	3
4	Диоксид серы	0,0060 ± 0,0002	0,5	0,05
5	Взвешенные вещества	0,11 ± 0,06	0,5	0,15
6	Углеводороды	4,12 ± 0,16	5 (бензин)	1,5

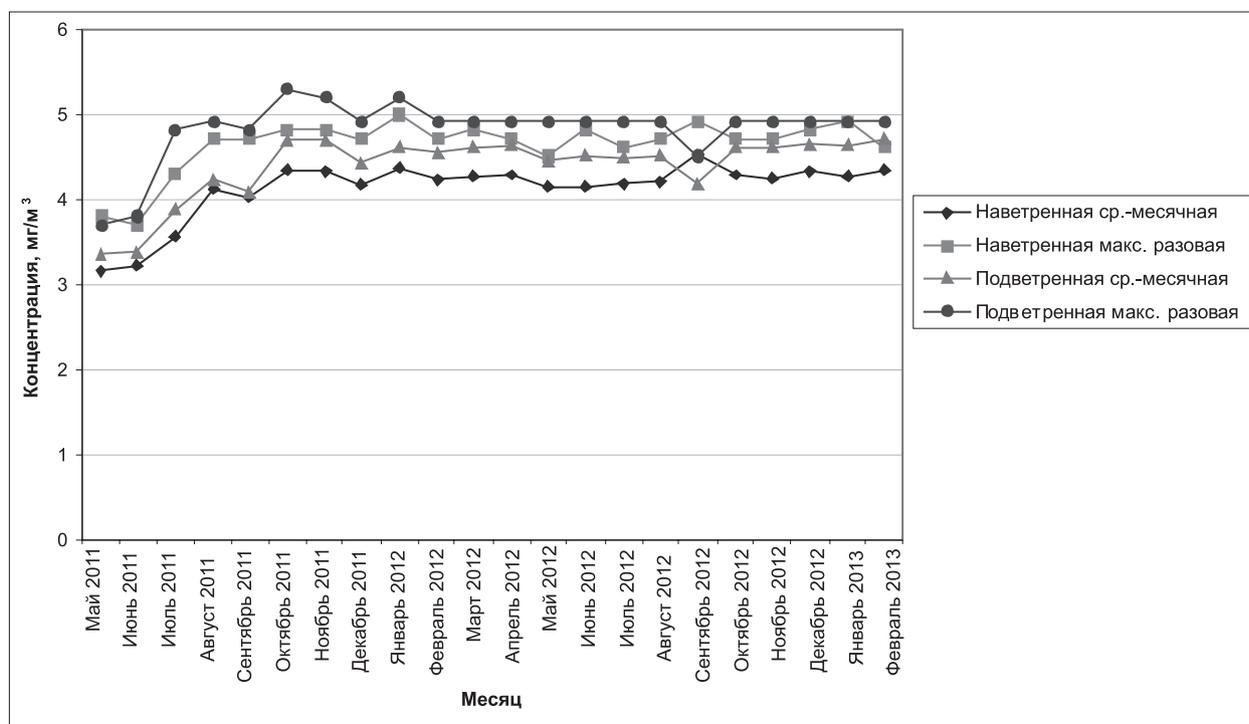


Рис. 1. Динамика концентрации углеводородов в воздухе на границах СЗЗ ОУХО за период с марта 2011 г. по февраль 2013 г.

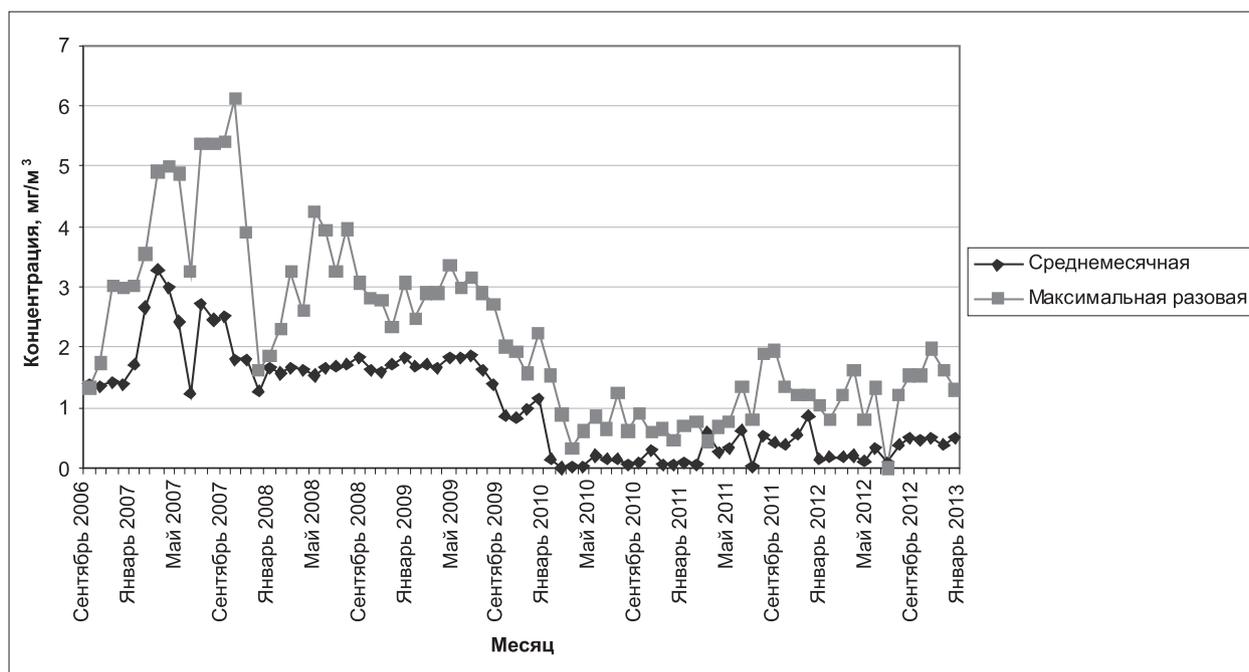


Рис. 2. Среднемесячные и максимальные разовые в течение месяца концентрации углеводородов, измеренные на АСПК п. Мирный.

риалов, полученных по единому регламенту в течение длительного времени (с сентября 2006 г. по февраль 2013 г.). Результаты измерений концентраций на примере углеводородов в атмосферном воздухе на АСПК приведены на рисунке 2.

Следует отметить, что в феврале 2010 г. по данным всех трёх автоматических постов кон-

троля (п. Мирный, д. Брагичи и д. Быстриги) произошло резкое снижение концентрации углеводородов в атмосферном воздухе (табл. 2). Причиной данного явления, вероятно, может быть смена на объекте твёрдых видов топлива на жидкие, которая была проведена в 2010 году.

Концентрации общепромышленных загрязняющих веществ, за исключением угле-

Таблица 2

Значения концентрации углеводородов в атмосферном воздухе за периоды сентябрь 2006 – январь 2010 гг. и февраль 2010 – февраль 2013 гг. по данным АСПК, мг/м<sup>3</sup>

Период	АСПК-3 (0,39 км)		АСПК-1 (0,82 км)		АСПК-2 (3,34 км)	
	средняя за период	средняя из максимальных за месяц	средняя за период	средняя из максимальных за месяц	средняя за период	средняя из максимальных за месяц
сентябрь 2006 – январь 2010	3,00	6,47	1,74	3,22	1,42	2,50
февраль 2010 – февраль 2013	0,36	1,16	0,27	1,04	0,38	1,03

Примечание: в заголовке указано кратчайшее расстояние от АСПК до железной дороги.

водородов, находятся в пределах санитарных норм для атмосферного воздуха населённых мест. Концентрация углеводородов стабильно превышает предельно допустимое среднесуточное значение, причём это превышение наблюдается как с подветренной, так и с наветренной стороны от ОУХО. Таким образом, кроме источников загрязнения атмосферного воздуха на самом объекте, источник загрязнения углеводородов может находиться и за пределами объекта хранения и уничтожения химического оружия. По всей вероятности, одним из постоянных источников углеводородов является железная дорога, использующая тепловозную локомотивную тягу и перевозящая большие объёмы нефтепродуктов.

В пробах воды эксплуатационных скважин, отобранных в зоне возможного влияния объекта УХО «Марадыковский» в период с 2006-го по 2014 г., содержание общепромышленных загрязняющих веществ не высокое, без превышений установленных нормативов и фоновых показателей, за исключением проб воды двух эксплуатационных скважин: № 32573 (д. Быстряги) – превышение ПДК по содержанию фторид-ионов в 1,24–1,75 раза и № 76707 (войсковая часть, пос. Мирный) – в 1,27–1,63 раза.

В районе размещения объекта УХО «Марадыковский» для подземных вод характерно повышенное природное содержание фторид-ионов. В пробах грунтовых вод из наблюдательных скважин отмечается высокое содержание железа; повышенные значения по мутности, цветности, химическому потреблению кислорода (ХПК), биологическому потреблению кислорода (БПК) как до начала действия ОУХО, так и во время его эксплуатации.

В пробах воды отдельных колодцев, отобранных в зоне возможного влияния ОУХО в период с 2006-го по 2014 г., отмечаются повышенные значения показателей по цветности, перманганатной окисляемости, химическому

потреблению кислорода; превышение допустимых концентраций по содержанию железа в 1,3–2,87 раз, нитрат-ионов в 1,78–2,4 раза.

По результатам обследования почв перед началом строительства ОУХО, по материалам изучения состояния почв в местах бывшего уничтожения химического оружия, а также по данным экологического мониторинга состояния почв за весь период эксплуатации объекта уничтожения химического оружия выявлен локальный участок загрязнения почв мышьяком в северо-западном направлении от технической территории № 3. В пробах почв, отобранных при проведении Государственного экологического контроля и мониторинга за период уничтожения химического оружия, с 2006-го по 2014 г., в разные годы отмечено превышение установленных нормативов по содержанию мышьяка в 1,53–3,38 раз на ближайших к объекту участках мониторинга: 01, 04, 05, 09, 017, 022, 023, 046, 047, 049, 052, 053 (рис. 3).

Анализ данных производственного и государственного экологического мониторинга свидетельствует о невысоком содержании общего фосфора в почвах на обследуемой территории. Концентрации его в пробах почв, отобранных в период с 2006-го по 2014 год в радиусе 2-х км вокруг планируемого строительства полигона захоронения отходов объекта «Марадыковский», находятся в пределах от 0,2 мг/кг до 45,6 мг/кг (рис. 4). В целом проявляется слабая тенденция приуроченности более высоких концентраций извлекаемого спиртом фосфора к ближайшим от объекта участкам.

Почвы в СЗЗ ОУХО по содержанию подвижного фосфора оценивались как среднеобеспеченные на бывших пахотных угодьях в районе д. Марадыково и д. Серичи и как слабообеспеченные доступным для растений фосфором – в лесных экосистемах [7].

По результатам химического анализа почвенных образцов, отобранных в 2014 г., содержание подвижного фосфора не превышает 20 мг/кг, что характеризует почвы как очень

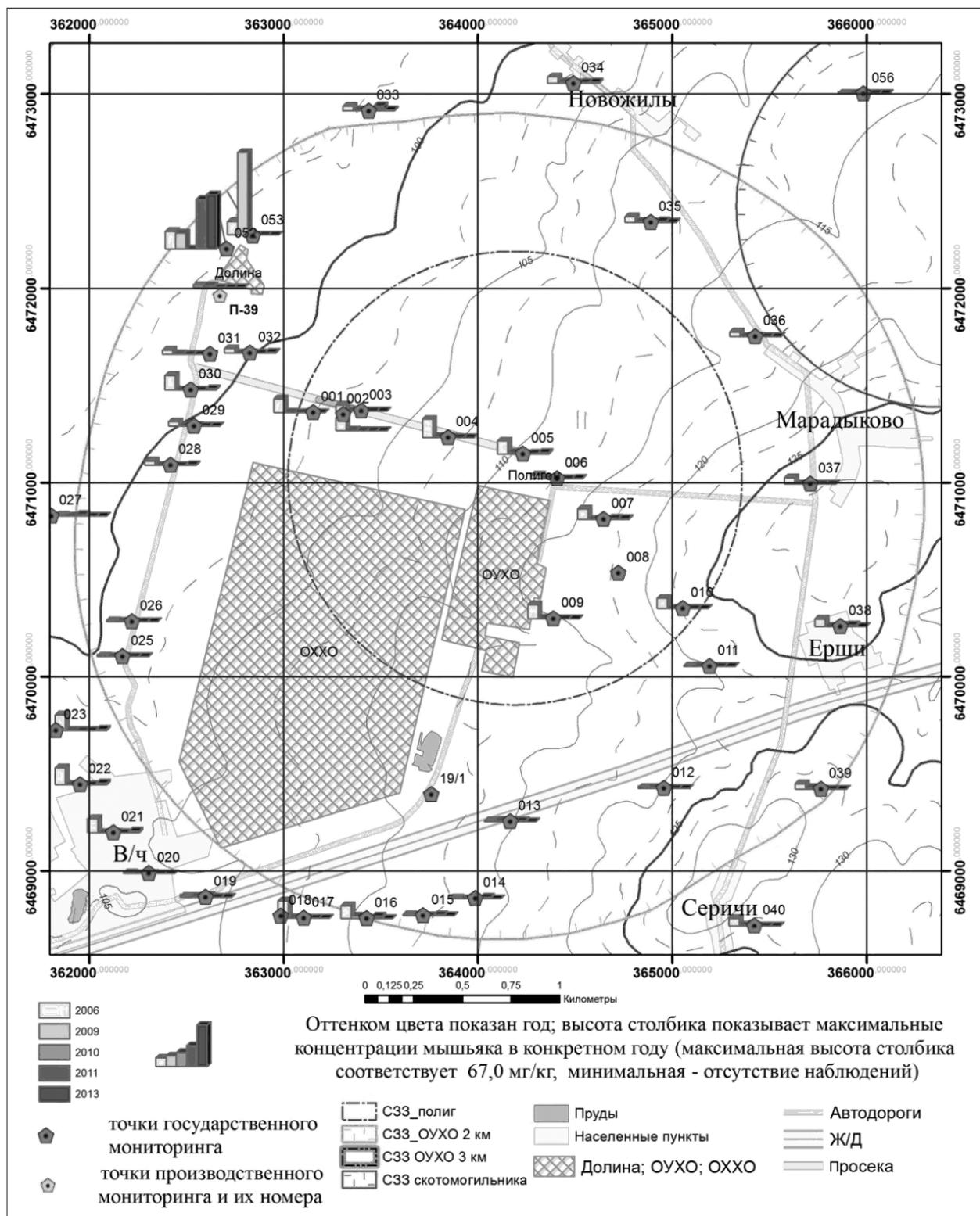


Рис. 3. Карта-схема содержания мышьяка в почве на участках мониторинга РЦГКиМ.

бедные в отношении этого элемента питания растений.

Для остальных определяемых компонентов концентрации в пробах почв в 2014 году сопоставимы с их содержанием в 2006 году.

Анализ фондовых материалов, результатов проведения полевых маршрутных исследований

и описаний растительности на ключевых участках в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия позволяет сделать вывод о том, что основной зональный фон растительности на территории создают естественные еловые леса и их производные, которые составляют более 20%. Компоненты лесных

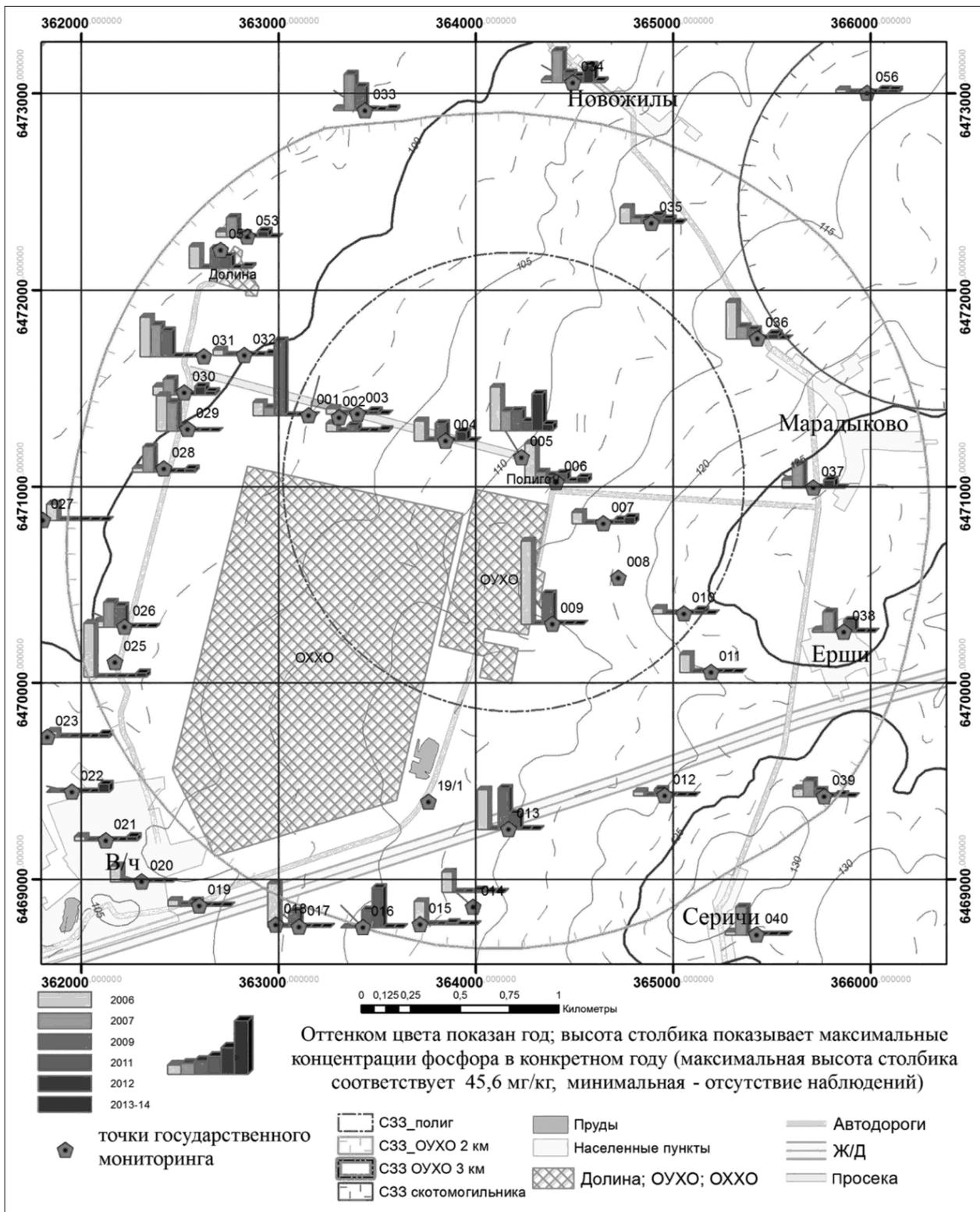


Рис. 4. Карта-схема содержания общего фосфора в почве на участках мониторинга РЦГКиМ.

насаждений имеют нормальное развитие, соответствующее конкретным лесорастительным условиям и возрастному состоянию древостоев. Биологическое и санитарное состояние лесобразующих пород на большинстве ключевых участков является хорошим [8]. Ухудшение санитарного состояния (усыхание и опадение

хвои, оголение части веток) проявляется у сосны и ели лишь на нескольких участках, расположенных в непосредственной близости от объекта уничтожения химического оружия. Изучение содержания общего фосфора в талломах лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (рис. 5) свидетельствует о накопительном

эффекте и показывает, что количество общего фосфора убывает по мере удаления от объекта уничтожения химического оружия [9, 10].

Из диаграммы видно, что содержание фосфора на ближайших к объекту участках (4, 8, 9) статистически достоверно превышает содержание фосфора на более удалённых от объекта участках, в том числе показатели на фоновом участке 112.

Непокрытая лесом площадь занимает 50% от общей площади изучаемой территории. В основном это луговые сообщества, которые в настоящее время не используются (не выкашиваются и не стравливаются под выпас). Вследствие отсутствия хозяйственного использования они зарастают древесно-кустарниковой растительностью.

На обследуемой территории выявлен видовой состав наземных позвоночных животных, который соответствует типичным фаунистическим комплексам южно-таёжной подзоны, с наличием характерных таёжных видов, при наличии отдельных представителей южной фауны европейских хвойно-широколиственных лесов. Анализ учётных данных показывает рост численности кабана, бобра, выдры и норки; уменьшение численности зайца-беляка, лося, белки, лисицы вследствие её естественных колебаний. Численность остальных охотничьих животных незначительно варьирует из года в год, что обусловлено состоянием кормовой базы, погодными условиями и рядом других факторов. Численность охотничьих видов птиц, как и в целом по области, является относительно стабильной.

Таким образом, анализ фондовых материалов за период деятельности объекта уничтожения химического оружия, результаты исследования экологического состояния территории с использованием широкого спектра современных методов обследования репрезентативных показателей и участков мониторинга свидетельствуют об отсутствии опасных превышений ПДК загрязняющих веществ в природных средах и объектах. Влияние объекта уничтожения химического оружия проявляется лишь в накоплении соединений фосфора в эпифитных лишайниках на участках мониторинга, ближайших к объекту уничтожения химического оружия. Однако не исключается отсроченное действие загрязняющих веществ на объекты окружающей среды. В связи с этим, как на этапе вывода из эксплуатации, так и при выполнении работ по ликвидации последствий деятельности необходимо обеспечить проведение экологического

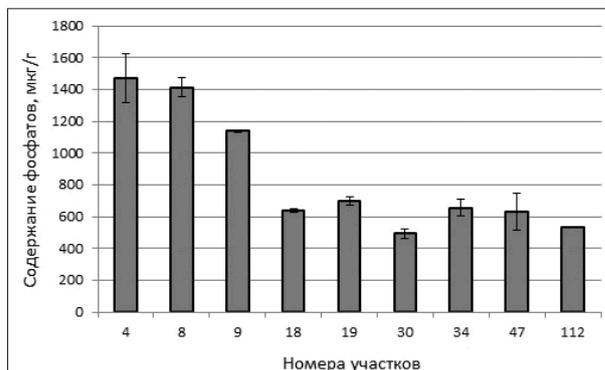


Рис. 5. Содержание фосфора в пробах лишайника с участков мониторинга в 2013 г.

мониторинга с целью выявления локальных участков загрязнения и проведение комплекса реабилитационных мероприятий.

### Литература

1. Экологическое обследование мест хранения, бывшего и планируемого уничтожения химического оружия на территории Оричевского района Кировской области. Отчёт о НИР (по договору с КИР по Кировской области). Киров: ВГПУ, 2001. Т. 1-4. 1326 с.
2. Отчёты о проведении государственного экологического мониторинга в СЗЗ и ЗЗМ объекта 1205 в пос. Мирный Кировской области. РЦ СГЭКиМ по Кировской области. 2006–2014 гг.
3. Отчёты о проведении мониторинга растительного и животного мира в СЗЗ и ЗЗМ объекта уничтожения химического оружия в пос. Мирный Кировской области. ВятГГУ. Киров. 2004–2014 гг.
4. Производственный (объектовый) экологический контроль и мониторинг на промплощадке и в СЗЗ объекта уничтожения химического оружия. Материалы 2006–2014 гг.
5. Ашихмина Т.Я., Менялин С.А., Мамаева Ю.И., Новикова Е.А., Кантор Г.Я. Экологический контроль и мониторинг окружающей природной среды в районе объекта уничтожения химического оружия «Марадковский» Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2010. №1. С. 57–64.
6. Оценка воздействия строительства и эксплуатации об 1726 (площадка № 2 и 5) на окружающую среду (ОВОС). Отчёт по НИР в 6 томах, ВГПУ, 2000. 1725 с. № гос. регистрации 01.20.0000042.
7. Ашихмина Т.Я., Тимолюк В.М., Кантор Г.Я. и др. Изучение процессов трансформации загрязняющих веществ в природной среде и их воздействие на биоту и здоровье населения Северо-Востока Европейской части РФ (на примере Кировской области, центральная зона) / Под ред. Т.Я. Ашихминой. Отчет о НИР. Киров: ВГПУ, 2000.
8. Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я., Кардакова Е.М. Изучение состояния биоты в районе

проектируемого полигона захоронения твёрдых промышленных отходов объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам: Материалы Всероссийской научной конференции. Киров: Изд-во ООО «Веси», 2015. С. 334–335.

9. Иванов А.И., Дунаева Т.А., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я., Дудин Г.П. Поиск информативных биохимических тестов в практике экологического мониторинга

особо опасных объектов // Теоретическая и прикладная экология. 2010. №1. С. 94–98.

10. Домнина Е.А., Огородникова С.Ю. Изучение проективного покрытия эпифитных лишайников и содержания общего фосфора в талломах в районе действия объекта уничтожения химического оружия в Кировской области // Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам: Материалы Всероссийской научной конференции. Киров: Изд-во ООО «Веси», 2015. С. 41–45.

**Экологическая ситуация в санитарно-защитной зоне  
и зоне защитных мероприятий объекта уничтожения  
химического оружия в пос. Леонидовка Пензенской области  
на завершающем этапе работы**

© 2015. А. И. Иванов<sup>1</sup>, д.б.н., зав. кафедрой, А. Г. Горохова<sup>2</sup>, к.б.н., м.н.с.,  
А. Е. Клостер<sup>3</sup>, к.т.н., доцент, М. И. Андреева<sup>2</sup>, м.н.с.

<sup>1</sup>Пензенская государственная сельскохозяйственная академия,  
<sup>2</sup>1206 объект по хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>3</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: gor\_anna78@mail.ru

В работе даётся анализ результатов экологического мониторинга воздуха, почв и природных вод в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий объекта уничтожения химического оружия в пос. Леонидовка Пензенской области с 2008 по 2013 гг. Содержание всех контролируемых ингредиентов, как в начале работы объекта, так и на завершающем этапе, находится в пределах предельно допустимых концентраций и не имеет тенденции к увеличению. Результаты биомониторинга также показывают, что объект не оказал какого-либо негативного влияния на природные экосистемы. Задача безопасного уничтожения химического оружия успешно выполняется.

The paper gives the analysis of air, soils and natural waters ecological monitoring results in sanitary protection zone and protective measures zone at chemical weapons destruction facility in Penza region settlement of Leonidovka from 2008 till 2013. The content of all the components controlled, both at the beginning of the facility work and at its final stage, is within the maximum concentration limit and doesn't tend to increasing. Biomonitoring results prove as well that the object hasn't negatively influenced the natural ecosystems. The task of safe chemical weapons destruction is successfully being accomplished.

**Ключевые слова:** зообиота, лесная растительность, мониторинг,  
поллютанты, природные среды, химическое оружие.

**Keywords:** zoobiota, forest vegetation, monitoring, pollutants,  
natural environments, chemical weapons.

В 2015 г. планируется завершение работ по уничтожению химического оружия на объекте в пос. Леонидовка Пензенской области, которые проводились на основе новейших разработок российских учёных, как в плане технологических процессов, так и в плане организации систем безопасности, а также экологического контроля и мониторинга их эффективности [1–7]. На завершающем этапе работы возникает необходимость оценки состояния природных сред в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне защитных мероприятий (ЗЗМ) объекта уничтожения химического оружия (УХО).

Целью данного исследования была оценка воздействия на природные среды в СЗЗ и ЗЗМ объекта УХО в пос. Леонидовка Пензенской области за время его работы – с 2008-го по 2014 год.

Материалом для данной работы послужили отчёты Регионального центра государственного экологического мониторинга по Пензенской области с 2007 по 2014 годы, а также результаты инициативных научных исследований, выполнявшихся в рамках подготовки диссертационных работ.

За период деятельности объекта «Леонидовка» Пензенской области по результатам экологического мониторинга атмосферного воздуха в районе объекта УХО отравляющих веществ типа ви-икс, зарина и зомана зафиксировано не было ни в одной из точек отбора проб. Все приведённые в таблице 1 показатели указывают не на содержание вещества, а на нижние пределы чувствительности приборов. Это же относится и к другим специфическим загрязнителям, образующимся в процессе сжигания реакционных масс. Концен-

Таблица 1

Результаты государственного экологического мониторинга атмосферного воздуха в СЗЗ и ЗЗМ объекта УХО с 2008 по 2014 гг.

Определяемый показатель	Санитарно-гигиенический норматив качества атмосферного воздуха (ПДК, ОБУВ), мг/м <sup>3</sup>	Полученная величина, мг/м <sup>3</sup> (ПВ)		
		2008	2014	Средний показатель за годы наблюдений
Вещество типа ви-икс	$5,0 \times 10^{-8}$	менее $2,5 \times 10^{-8}$	менее $2,5 \times 10^{-8}$	менее $2,5 \times 10^{-8}$
Зарин	$2,0 \times 10^{-7}$	менее $1,0 \times 10^{-7}$	менее $1,0 \times 10^{-7}$	менее $1,0 \times 10^{-7}$
Зоман	$1,0 \times 10^{-7}$	менее $0,5 \times 10^{-7}$	менее $0,5 \times 10^{-7}$	менее $0,5 \times 10^{-7}$
О-изобутилметилфосфонат	не установлен	менее $1,0 \times 10^{-2}$	менее $1,0 \times 10^{-2}$	менее $1,0 \times 10^{-2}$
Моноэтанолламин	$2,0 \times 10^{-1}$	менее $2,0 \times 10^{-2}$	менее $2,0 \times 10^{-2}$	менее $2,0 \times 10^{-2}$
Мышьяк	$3,0 \times 10^{-4}$	менее $5,0 \times 10^{-5}$	менее $5,0 \times 10^{-5}$	менее $5,0 \times 10^{-5}$
Общий фосфор	не установлен	менее $2,0 \times 10^{-4}$	менее $2,0 \times 10^{-4}$	менее $2 \times 10^{-4}$
Азота диоксид	$2,0 \times 10^{-1}$	менее $2,0 \times 10^{-2}$	менее $2,0 \times 10^{-2}$	менее $2,0 \times 10^{-2}$
Азота оксид	$4,0 \times 10^{-1}$	менее $1,6 \times 10^{-2}$	менее $1,6 \times 10^{-2}$	менее $1,6 \times 10^{-2}$
Углерода оксид	$5,0 \times 10^1$	менее $2,0 \times 10^{-1}$	менее $2,0 \times 10^{-1}$	менее $2,0 \times 10^{-1}$
Серы диоксид	$5,0 \times 10^{-1}$	менее $4,0 \times 10^{-2}$	менее $4,0 \times 10^{-2}$	менее $4,0 \times 10^{-2}$

Таблица 2

Результаты государственного экологического мониторинга почвенного покрова в СЗЗ и ЗЗМ объекта УХО за 2009 г.

Загрязняющее вещество	Установленный норматив мг/кг (ПДК)	Полученная величина, мг/кг (ПВ)		
		2008	2014	Средний показатель за годы наблюдений
Вещество типа VX	$5 \times 10^{-5}$	менее $1 \times 10^{-5}$	менее $1 \times 10^{-5}$	менее $1 \times 10^{-5}$
Зарин	$2 \times 10^{-4}$	менее $3,0 \times 10^{-5}$	менее $3,0 \times 10^{-5}$	менее $3,0 \times 10^{-5}$
Зоман	$1 \times 10^{-4}$	менее $1,5 \times 10^{-5}$	менее $1,5 \times 10^{-5}$	менее $1,5 \times 10^{-5}$
О-изобутилметилфосфонат	отсутствует	менее $2 \times 10^{-3}$	менее $2 \times 10^{-3}$	менее $2 \times 10^{-3}$
Метилфосфоновая кислота	отсутствует	менее $2 \times 10^{-3}$	менее $2 \times 10^{-3}$	менее $2 \times 10^{-3}$
Общий фосфор	отсутствует	0,6	29,1	11,6
Мышьяк	2,0	13,0	11,0	12,0
Моноэтанолламин	отсутствует	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5
N-метил-2-пирролидон	отсутствует	менее 5,0	менее 5,0	менее 5,0
Водородный показатель (рН)	отсутствует	4,9	5,4	5,6

трации общепромышленных загрязнителей, определяемые в воздухе, не превышали ПДК, хотя их величины в ряде точек пробоотбора испытывали определенные колебания, связанные с погодными условиями, сжиганием дров в населённых пунктах и порубочных остатков на лесосеках, а также с высоким содержанием пылицы ветроопыляемых растений (берёза, сосна и др.) во время их массового цветения. Подробно вопросы сезонной динамики концентраций фосфора и некоторых металлов рассматриваются в работах [4, 5].

Если пробы воздуха позволяют судить о содержащихся в них веществах на момент пробоотбора, то почва является аккумулятором всех поллютантов, поступающих с атмосферными осадками. Как показал анализ результатов мониторинга, за все годы работы объекта ни отравляющих веществ, ни продуктов их

деструкции в пробах почвы обнаружено не было (табл. 2). Не изменялись концентрации общего фосфора, мышьяка и показатели рН. В ходе инициативных научных исследований было показано, что содержание тяжёлых металлов (Cd, Cu, Zn, Ni, Pb) в почвах на территории ЗЗМ находится в пределах ПДК [3]. По просьбам населения делался анализ на содержание тяжёлых металлов и мышьяка съедобных грибов и плодоовощной продукции, выращенной на приусадебных участках в пос. Леонидовка. Ни в одной из проб не было зафиксировано превышения ПДК [4].

Как в атмосферном воздухе, так и в природной воде во всех точках пробоотбора ни отравляющих веществ, ни продуктов их деструкции обнаружено не было. Показатели качества воды в Пензенском водохранилище, северная часть акватории которого находится

Результаты государственного экологического мониторинга природной воды Пензенского водохранилища с 2008 по 2014 гг.

Загрязняющее вещество	Санитарно-гигиенический норматив качества воды (ПДКр/х), мг/дм <sup>3</sup>	Полученная величина (ПВ), Хср, мг/дм <sup>3</sup>		
		2008	2014	Средний показатель за годы наблюдений
Общий фосфор	не установлен	0,58	0,62	0,61
Мышьяк	5×10 <sup>-2</sup>	менее 2×10 <sup>-3</sup>	менее 2×10 <sup>-3</sup>	менее 2×10 <sup>-3</sup>
Фосфаты	0,2	0,13	0,16	0,14
Взвешенные вещества	не установлен	17,0	12	0,15
Сухой остаток	1000	89	115	102
Сульфаты	100	17,8	11,5	16,7
Хлориды	300	4,5	3,5	3,6
Фториды	0,75	0,17	0,12	0,16
Водородный показатель (рН)	6,5-8,5	7,6	6,9	7,1
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	не установлен	11,0	10,2	10,3
Растворённый кислород, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	не менее 4	12,7	10,3	10,8
Общий фосфор	не установлен	0,62	0,85	0,56

в ЗЗМ, также практически не изменились. Как 2008, так и в 2013 г. концентрации всех контролируемых ингредиентов существенно не отличались от средних показателей и не выходили за пределы ПДК (табл. 3).

В целях оценки влияния объекта УХО на лесную растительность с 2008-го по 2014 год регулярно проводились исследования на пробных площадках в соответствии с планами-графиками выполнения работ по обеспечению проведения государственного экологического мониторинга растительного и животного мира в ССЗ и ЗЗМ и на контрольных фоновых участках – в пределах памятника природы «Никоновский бор» в Городищенском районе Пензенской области и на участке «Верховья Суры» Государственного заповедника «Приволжская лесостепь» на расстоянии 50 и 120 км от объекта УХО.

Следует подчеркнуть, что лесные экосистемы не статичны. Им свойственны различного рода флуктуации, выражающиеся в изменении численности отдельных видов. Они определяются воздействием природных и антропогенных факторов. Например, в аномально жаркое и сухое лето 2010 года произошло термическое поражение деревьев берёзы повислой. В местах её произрастания значительно увеличилось количество сухостоя из-за поражения деревьев, ослабленных засухой 2010 года, опасным заболеванием – мокрой водянойкой. Неблагоприятная засушливая и жаркая погода летом 2014 года спровоцировала массовое усыхание больных деревьев. Это явление имело место как в ЗЗМ, так и на контрольных

площадках. На популяцию дуба, напротив, жара и засуха оказали положительное влияние. На ряде площадок появился подрост дуба. Это связано с высокой засухоустойчивостью этой породы, имеющей глубокую стержневую корневую систему. На некоторых пробных площадках увеличилась численность подростка клёна.

В пределах нормы находились и все контролируемые биометрические показатели: флуктуирующая асимметрия листьев берёзы, жизнеспособность пыльцы и годичные приросты древесных растений. Они не отличались от таковых в условиях территорий, удалённых от границы ЗЗМ. Таким образом каких-либо изменений в состоянии лесных экосистем под влиянием объекта УХО зафиксировано не было.

Мониторинг животного мира также не показал существенных изменений в зообиоте. Для изучения влияния загрязнения воды на беспозвоночных животных нами использовался индекс Вудивисса, расчёт которого основан на количественном соотношении таксономических групп составляющих бентос. Во всех исследованных водотоках значение индекса Вудивисса составляло 9 или 10, что классифицирует воду как «очень чистая». Значение индекса Вудивисса, определённое в сентябре 2014 года, коррелирует со значениями предыдущих лет и данными многолетнего химического мониторинга этих водотоков.

Мониторинг видового состава и численности мелких млекопитающих показал, что доминантным видом в течение периода наблю-

Таблица 4

Результаты учёта численности мелких млекопитающих, 2006-2014 гг. (ловушек/в сутках)

Вид	Годы наблюдений									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	М
Рыжая полёвка <i>Clethrionomys glareolus</i>	-	-	-	-	-	4	-	2	1	0,77±0,46
Серая полёвка <i>Microtus arvalis</i>	6	2	4	3	-	-	-	4	6	2,67±0,76
Желтогорлая мышь <i>Sylvaemus flavicollis</i>	4	2	3	3	24	44	32	38	41	21,33±6,11
Малая лесная мышь <i>Sylvaemus uralensis</i>	12	2	11	9	6	4	8	8	2	8,22±2,02
Полевая мышь <i>Apodemus agrarius</i>	25	15	32	24	-	4	-	12	7	13,11±3,91
Обыкновенная бурозубка <i>Sorex araneus</i>	3	1	3	2	-	-	2	1	2	1,67±0,41
ИТОГО	50	22	53	41	30	56	42	65	59	46,44±4,66

дений с 2006 по 2009 годы являлся типичный лесной вид – полевая мышь. При этом её доля в сообществе составляла от 80 до 92% [6]. Однако в 2010 году произошла смена доминантов, и максимальную долю в отловах составила желтогорлая мышь – 78%, которая сохранила свою позицию и в последующие годы. Аналогичная картина наблюдалась и на контрольных территориях. Динамика численности явление, характерное в целом для популяций мелких млекопитающих, которое зависит от многих природных факторов – кормовой базы, температуры воздуха, численности хищников и т.п. Поэтому отмеченные изменения нельзя расценивать как влияние объекта. Это подтверждается и тем, что с 2012 года наметилась тенденция возрастания численности мелких млекопитающих практически всех видов, которая имеет место во всей Пензенской области. Санитарно-защитная зона и зона защитных мероприятий УХО не составляют в этом плане исключения. Таким образом, какого-либо негативного влияния объекта УХО на сообщества мелких млекопитающих зафиксировано не было.

Результаты изучения авифауны ЗЗМ и ССЗ за время работы объекта УХО показали, что видовое разнообразие птиц данной территории не изменилось. Зафиксированная тенденция в плане некоторого увеличения численности статистически не достоверна. Таким образом можно говорить о стабилизации видового состава и плотности населения птиц на изучаемой территории.

На основе приведенных данных можно сделать вывод о том, что за время работы объекта на территории СЗЗ и ЗЗМ каких-либо негативных изменений не произошло. Используемые в процессе УХО технологии показали себя

как реально безопасные [7]. Они не привели к загрязнению воздуха, природных вод и почв, а также изменениям в лесных сообществах и зообиоте. Таким образом можно сделать вывод о том, задача безопасного уничтожения химического оружия на объекте в пос. Леонидовка Пензенской области успешно выполняется.

## Литература

1. Ашихмина Т.Я. Научно-методические основы комплексного мониторинга окружающей среды в районе объектов хранения и уничтожения химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. – С. 23–35.
2. Горохова А.Г., Иванов А.И., Костычев А.А. Свинец, цинк, медь и никель в серых лесных почвах Пензенской области // Нива Поволжья. 2013. № 2 (27). С. 28 – 35.
3. Иванов А.И., Костычев А.А., Ильин Д.Ю. Динамика содержания свинца, марганца и железа в почвах и поверхностных водах ЗЗМ объекта уничтожения химического оружия // Мониторинг природных экосистем. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. С. 68–73.
4. Иванов А.И., Озерова Н.С. Фосфор в природных средах зоны защитных мероприятий объекта УХО в окрестностях станции Леонидовка Пензенской области // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 60–64.
5. Кондратьев В.Б., Петрунин В.А. О принципах и структуре российских технологий крупнотоннажного уничтожения запасов химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 12–15.
6. Новиков Г.А. Полевые исследования. Экология наземных полевых животных. Москва: Издательство Советская наука, 1949. 601 с.
7. Холстов В.И. Реализация научно-технической политики в области уничтожения химического оружия в Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 5–8.

## Универсальная рецептура для обезвреживания в ходе ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия

© 2015. А. Ю. Кармишин, к.т.н., начальник центра,  
Т. В. Воробьёв, к.х.н., начальник управления,  
А. С. Лякин, к.т.н., начальник отдела,  
И. Н. Исаев, к.х.н., начальник отдела, В. Л. Рудь, к.х.н., с.н.с.,  
Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: wlrud2010@mail.ru

В статье отражены исторические вехи разработки и совершенствования рецептур для дегазации (обеззараживания) различных объектов в системе МО РФ и МЧС РФ. К началу химического разоружения в России на снабжении находились моно- и полидегазирующие рецептуры, а также би- и полифункциональные композиции.

В процессе вывода объектов по хранению и уничтожению химического оружия из эксплуатации и ликвидации последствий их деятельности для обеспечения безопасности работающего персонала и защиты окружающей среды специалистами отдано предпочтение полидегазирующим (бифункциональным) рецептурам: были рекомендованы в основном перекисно-щелочные системы. Они эффективны как для обезвреживания (дегазации) отравляющих веществ, так и продуктов их детоксикации.

С целью сокращения перечня используемых рецептур предложен принципиальный алгоритм разработки композиции универсальной водной рецептуры обезвреживания и оптимизации её состава при решении различных задач на объектах химического разоружения в ходе ликвидации последствий их деятельности.

The article describes historical milestones of development and improvement of compounds for decontamination (disinfection) of various plants in the system of the Russian Defense Ministry and the Emergency Situations Ministry. By the beginning of chemical disarmament in Russia mono- and poly-degassing compounds were used, as well as bi- and multifunctional compositions.

In the process of decommissioning of chemical weapons storage and destruction plants and liquidating the results of their operation, poly-degassing (bifunctional) compounds were preferred, mainly peroxide-alkali systems were recommended to ensure safety of employees and environmental protection. They are effective both for decontamination (decontamination) of toxic substances and products of their detoxification.

In order to reduce the list of compounds a special algorithm is used of universal water compound for decontamination and optimization of its composition. It is good for solving various tasks at the chemical disarmament plants in the process elimination of the consequences of their activities.

**Ключевые слова:** объект по хранению и уничтожению химического оружия, экологическая безопасность, обезвреживание, детоксикация, полидегазирующая рецептура, бифункциональная рецептура.

**Keywords:** chemical weapons storage and destruction plants, ecological safety, deactivation, detoxification, poly-degassing formula, bi-functional formula.

### Введение

Для обеспечения безопасности работающего персонала объектов по хранению и уничтожению химического оружия (ОХУХО) в процессе их функционирования по назначению, а также вывода из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности требуется использование эффективных (высоко реакционноспособных, безопасных для персонала, экологически безвредных, желательна поли-

дегазирующих (ПДР), экономически мало-затратных, доступных) обезвреживающих рецептур [1].

### Краткий экскурс в историю создания рецептур для специальной обработки (обезвреживания, обеззараживания)

На момент развёртывания работ по химическому разоружению в России на снабжении в МО РФ и МЧС РФ находились

**ЗАВЕРШЕНО УНИЧОЖЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ  
НА 6 РОССИЙСКИХ ОБЪЕКТАХ**



## ЗАВЕРШЕНО УНИЧТОЖЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ НА 6 РОССИЙСКИХ ОБЪЕКТАХ

**г. ПОЧЕП**  
Брянская область  
ФОВ в авиационных боеприпасах  
**7 498,2 тонн**



**п. МАРАДЫКОВСКИЙ**  
Кировская область  
ФОВ и ипритно-люизитные смеси в авиационных боеприпасах  
**6 890,1 тонн**



**г. КАМБАРКА**  
Удмуртская Республика  
Люизит в цистернах  
**6 349,0 тонн**



**п. ЛЕОНИДОВКА**  
Пензенская область  
ФОВ в авиационных боеприпасах  
**6 884,7 тонн**



**п. ГОРНЫЙ**  
Саратовская область  
Иприт, люизит, смеси в бочках и цистернах  
**1142,0 тонн**



**г. ЩУЧЬЕ**  
Курганская область  
ФОВ в боеприпасах ствольной и реактивной артиллерии и БЧ ракет  
**5 456,6 тонн**



Действующий объект уничтожения химического оружия в п. Кизнер Удмуртской Республики

в соответствии с классификацией по функциональной принадлежности и принципу действия) (рис. 1):

– монодегазирующие рецептуры (ДР-1, ДР-2бщ, ДР-2аш, щелочные растворы (NaOH, Na<sub>2</sub>S) и др.);

– полидегазирующие рецептуры (РСДП, ВПР-1, ПДР «Макс», комплекты ПДР «Макс-2», РД-2, (РД), РДА, водные растворы гипохлоритов кальция, водные моющие растворы, растворители и др.);

– бифункциональные композиции (ВПР-1, ПДР «Макс», комплекты ПДР «Макс-2», водные растворы гипохлоритов кальция и др.);

– полифункциональные композиции (водные растворы препаратов СОА, СН-50, СН-50У и др.).

По характеру среды дегазирующие рецептуры (растворы) подразделяются на водные, водно-органические и неводные (сольвентные).

Монодегазирующими рецептурами считаются системы на основе воды или органического растворителя для результативной дегазации отравляющих веществ (ОВ) одного типа (или фосфорорганических ОВ,

или кожно-нарывных ОВ) или же ОВ одного наименования.

Полидегазирующими рецептурами называются водные или неводные (сольвентные) рецептуры, которые одновременно, с высокой результативностью дегазируют все классические (унитарные) ОВ и большинство аварийно химически опасных веществ (АХОВ).

Бифункциональные композиции (БФР) – многокомпонентные системы, растворимые в воде или водно-органической среде для одновременной и результативной дегазации (обезвреживания) ОВ (АХОВ) и дезинфекции микроорганизмов в неспоровой и споровой формах существования (данное определение словосочетания принято у специалистов войск радиационной, химической и биологической (РХБ) защиты).

Являясь одновременно и ПДР, и БФР, водные растворы гипохлоритов кальция (гипохлоритные системы окислительно-хлорирующего действия с «активным» хлором) в зависимости от выполняемой задачи имеют уникальное свойство менять свою реакционную способность в отношении ОВ (ви-экс, зарина, зомана, иприта) при изме-

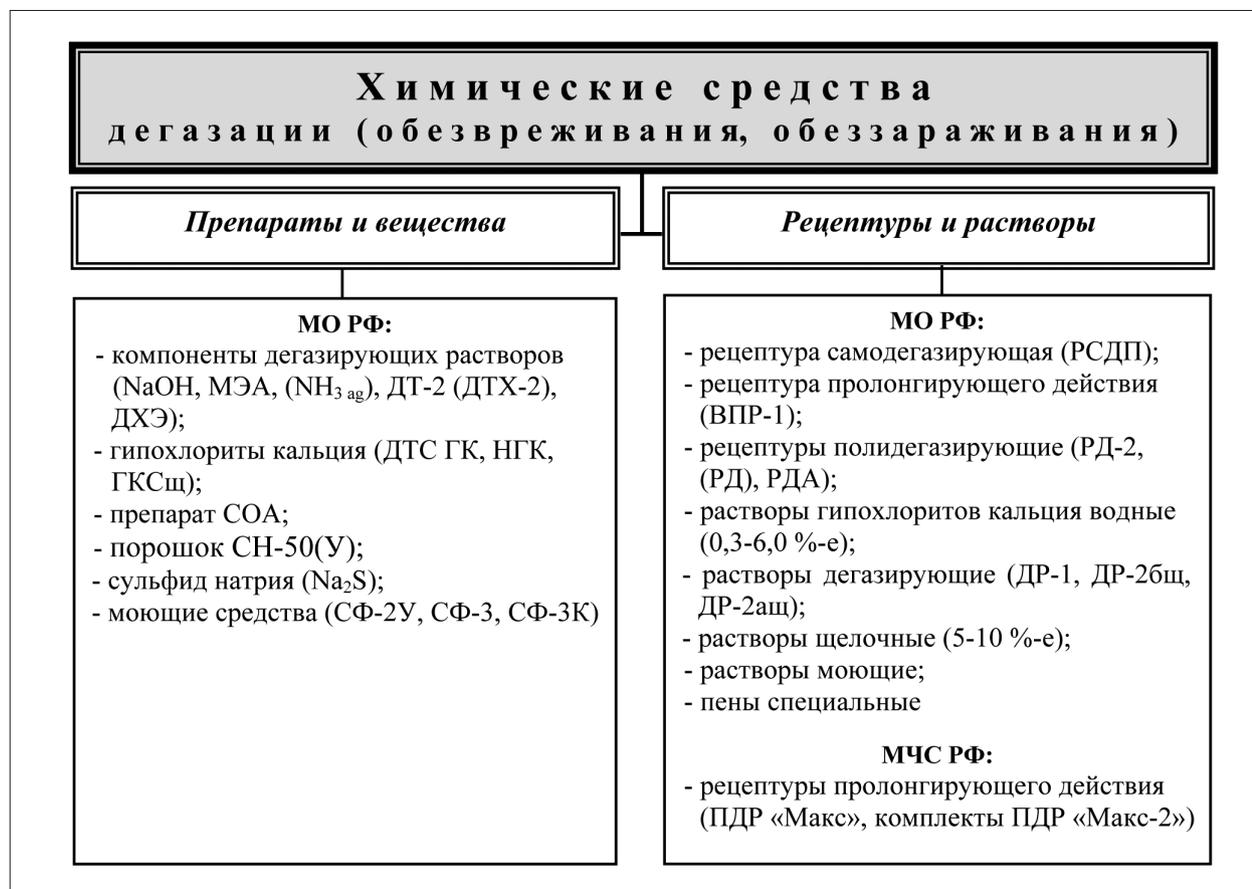


Рис. 1. Химические средства дегазации (обеззараживания) отравляющих веществ.

нении pH среды, то есть реакционной способностью гипохлоритной системы можно управлять, меняя pH [1, 2].

Так, в сильноокислой среде (при pH от 0 до 2,5) в растворе присутствуют очень сильные окислители ( $[Cl_2]$  и  $[Cl_2O]$ ). При pH от 2,5 до 8,0 в системе превалирует концентрация хлорноватистой кислоты ( $[HOCl]$ ) – окислителя «средней силы». При  $pH \geq 8,0$  в растворе присутствует в основном мало-реакционный гипохлорит-анион ( $[OCl^-]$ ).

Полифункциональные композиции – водные или водно-органические многокомпонентные системы, предназначенные для результативной дегазации, дезактивации и дезинфекции одновременно.

Рецептуры специальной обработки войсковых объектов подразделяются на жидкие и твердые; водные и неводные (сольвентные); нуклеофильного и (или)

окислительно-хлорирующего действия; моно-, бифункциональные и полифункциональные рецептуры; композиции, формирующие на поверхностях самодегазирующие покрытия или защитно-профилактические экраны; вспомогательные препараты и растворы; химические средства из местных ресурсов.

К применяемым на ОХУХО рецептурам предъявляются жесткие требования, которым отвечают, как правило, только ПДР и (или) БФР на водной основе [1, 2]. Специалистами в области уничтожения химического оружия (ХО) неоднократно предпринимались попытки оптимизировать качественно-количественный перечень используемых на ОХУХО рецептур для обезвреживания (обеззараживания) ОВ и продуктов их детоксикации с целью сокращения номенклатуры используемых химических

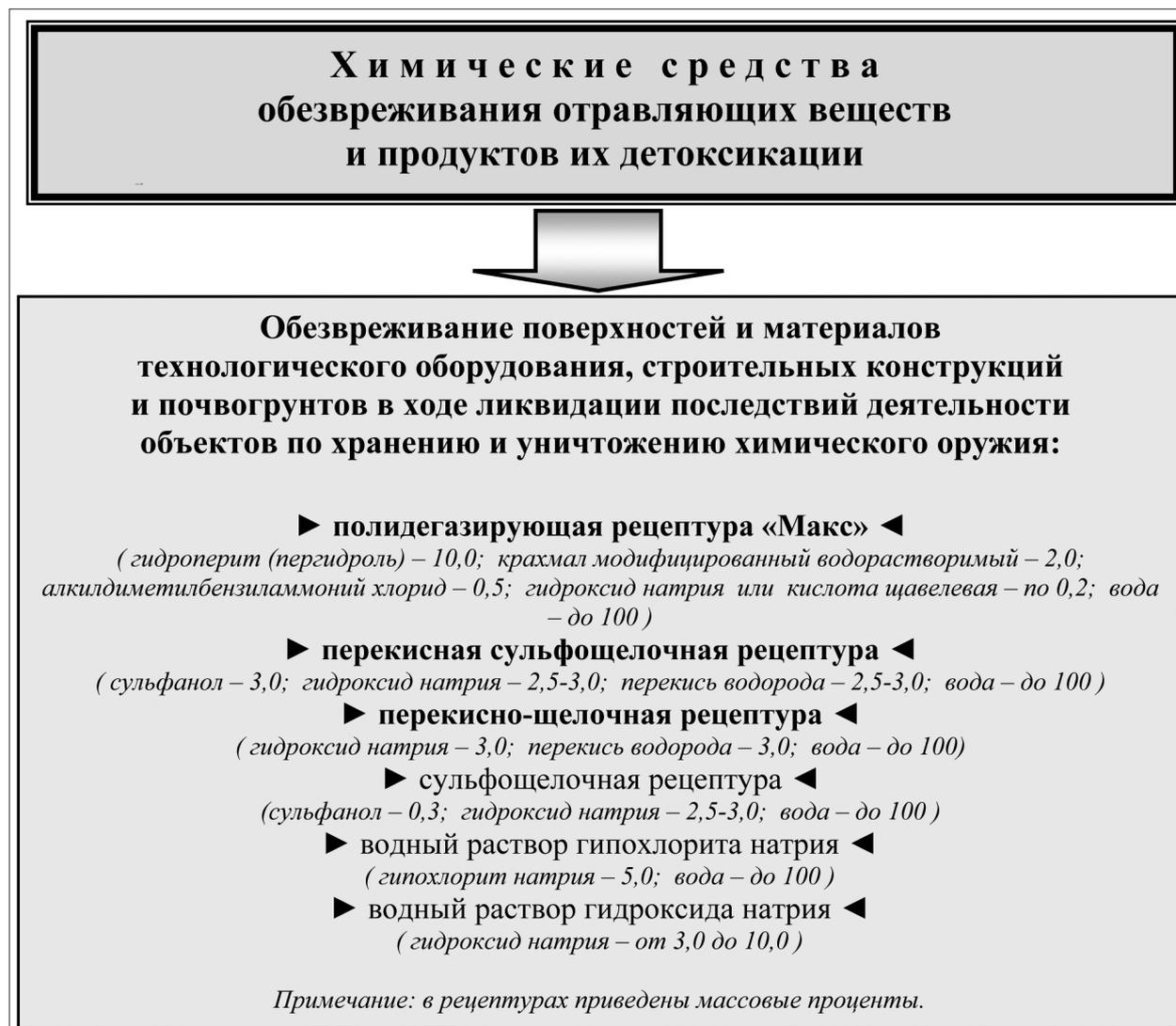


Рис. 2. Рецептуры, используемые на объектах по хранению и уничтожению химического оружия для ликвидации последствий их деятельности.

средств [3–5]. Особенно острой проблема универсализации проявляется на стадии вывода объектов из эксплуатации и ликвидации последствий их деятельности [6–8].

**Химические средства обезвреживания отравляющих веществ и продуктов их детоксикации в ходе ликвидации последствий деятельности**

На протяжении жизненного цикла всех ОХУХО для обезвреживания ОВ и продуктов их детоксикации, загрязнённых поверхностей (материалов) и заражённых почвогрунтов применялись (применяются) различные растворы и рецептуры (рис. 2), которые рекомендовались (рекомендуются) проектными организациями. Если проанализировать их качественный состав, то все они (кроме водных растворов гидроксида и гипохлорита натрия) относятся к ПДР, так как большинство рекомендованных рецептур (табл. 1) содержат

окислительно-восстановительный реагент с «активным» кислородом (перекись водорода, гидроперит или пергидроль) и щелочной компонент (гидроксид натрия), которые позволяют результативно обезвреживать уничтожаемые ОВ и продукты их детоксикации в разных материалах и на различных поверхностях.

Таким образом, на ОХУХО в настоящее время в основном используются водные ПДР: из шести часто используемых на объектах рецептур три из них содержат окислительно-восстановительный реагент (на рисунке 2 и в таблице 1 эти рецептуры выделены полужирным шрифтом).

**Бифункциональные рецептуры: принципы разработки**

Специалисты в области уничтожения ХО под БФР понимают рецептуру с полидегазирующими свойствами, формирующую после обработки на поверхности защитно-

**Таблица 1**  
Качественный состав дегазирующих рецептур, используемых на объектах по хранению и уничтожению химического оружия

Роль компонентов	Дегазирующая рецептура			
	полидегазирующая рецептура «Макс»	перекисно-щелочная рецептура	перекисная сульфощелочная рецептура	сульфощелочная рецептура
<b>Реагент</b> – химически активное вещество окислительно-восстановительного действия в отношении большинства АХОВ (ОВ)	Гидроперит (пергидроль)	Перекись водорода	Перекись водорода	*
<b>Плёнкообразователь</b> (придаёт рецептуре пролонгирующие свойства; способствует образованию на обрабатываемой поверхности защитно-изолирующего экрана). Препятствует десорбции впитавшегося АХОВ (ОВ) из фазы материала. Фиксирует на заражённой поверхности твёрдые и вязкие загрязнители	Крахмал модифицированный водорастворимый	*	*	*
<b>Регулятор pH</b> среды (способствует повышению щёлочности водного раствора, а также химически активное вещество ( <b>реагент</b> ) в отношении всех ОВ и большинства АХОВ)	Гидроксид натрия	Гидроксид натрия	Гидроксид натрия	Гидроксид натрия
<b>Регулятор pH</b> среды (способствует понижению щёлочности водного раствора)	Кислота щавелевая	*	*	*
<b>Поверхностно-активное вещество</b> – способствует хорошему смачиванию обрабатываемой поверхности и (или) материала. Антисептик	Алкилдиметилбензиламмоний хлорид – четвертичное аммониевое соединение (повышает класс опасности обрабатываемого материала с IV на III)	*	Сульфанола	Сульфанола
<b>Растворитель</b> (водная или водно-органическая среда)	Вода	Вода	Вода	Вода



Рис. 3. Алгоритм разработки полидегазирующей (бифункциональной) водной (водно-органической) рецептуры (пролонгирующего действия).

дегазирующее покрытие или защитно-профилактический экран (такие рецептуры также называются водно-полимерными пролонгирующего действия).

Первая функция у такой рецептуры – это детоксикация ОВ жидким рабочим раствором, а вторая – формирование после обработки защитного покрытия на поверхности для предотвращения дальнейшей десорбции ОВ из глубины материала.

Такое уникальное свойство БФР (рецептуры пролонгирующего действия) не требуется, например, в процессе детоксикации выбросов и проливов ОВ и реакционных масс, обезвреживания некоторых внутренних и наружных поверхностей технологического оборудования и обеззараживания материалов строительных конструкций и почвогрунтов в ходе ликвидации последствий деятельности ОХУХО. Поэтому дорогостоящий и не всегда безопасный компонент-плёнокообразователь БФР не всегда необходим в её составе.

Принципы разработки БФР показаны на рисунке 3. Важной задачей при этом является изыскание оптимальных систем с точки зрения результативности дегазации и эксплуатационных свойств таких химически активных композиций. Ключевой проблемой при разработке бифункциональных составов с заданными свойствами служит сохранение во времени концентрации активного(ых) компонента(ов) и требуемой вязкости раствора в широком диапазоне температур.

Для эффективного разложения практически всех уничтожаемых ОВ в гомогенных и гетерогенных условиях может использоваться экологически безопасная окислительно-нуклеофильная водная (водно-органическая) система в широком интервале рН среды. Перспективными химически активными реагентами являются перекисные и надперекисные соединения, совместимые в определённых условиях с водными растворителями и имеющие оптимальную реакционную способность и устойчивость во времени, как правило, в слабощелочной среде.

При необходимости использования БФР при пониженных температурах в воду можно добавлять органический растворитель (например, спирт): при этом одновременно повышается экстрагирующая способность рецептуры в отношении впитавшегося в фазу материала ОВ. После постепенного испарения растворителя(ей) рецептуры на поверхности вначале образуется гелеобразная (вязкая) плёнка, которая затвердевает во времени и является непроницаемым экраном для десорбирующегося ОВ.

Учитывая сложный компонентный состав (от 3 до 6 компонентов) и высокую реакционную способность химически активного реагента, БФР необходимо готовить экстермпорально, то есть незадолго до применения по назначению по определённой технологии, исключающей прямое окисление компонентов рецептуры.

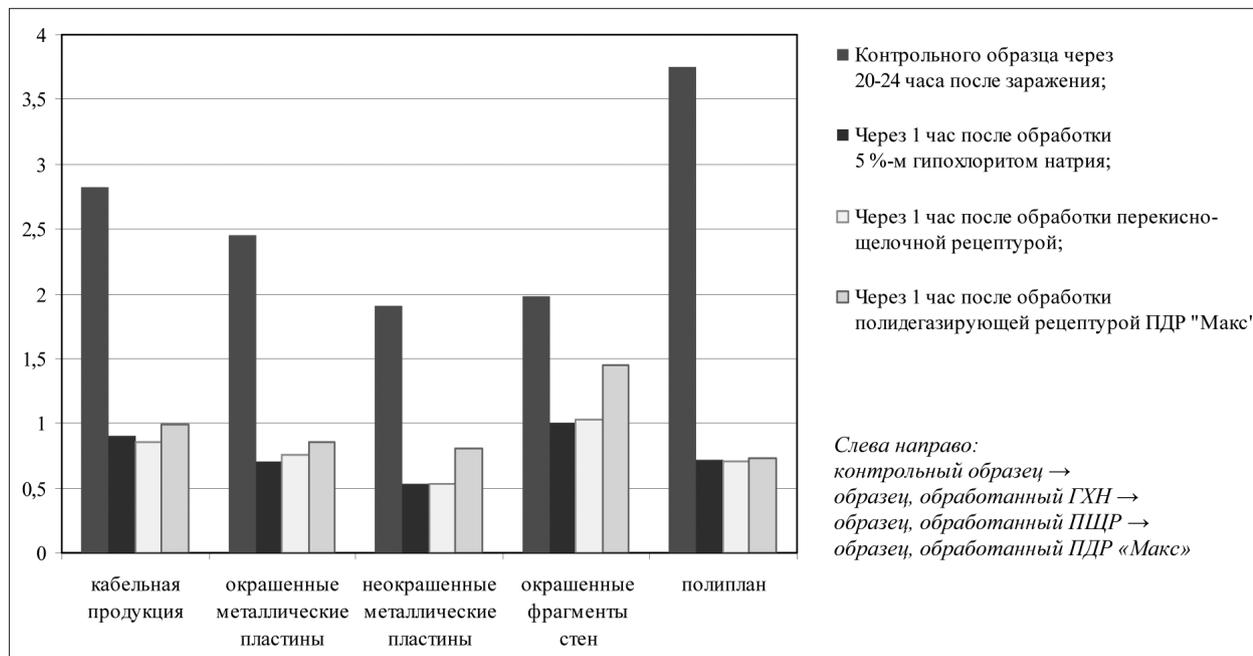


Рис. 4. Диаграмма уровней заражения люизитом образцов и материалов технологического оборудования и строительных конструкций.

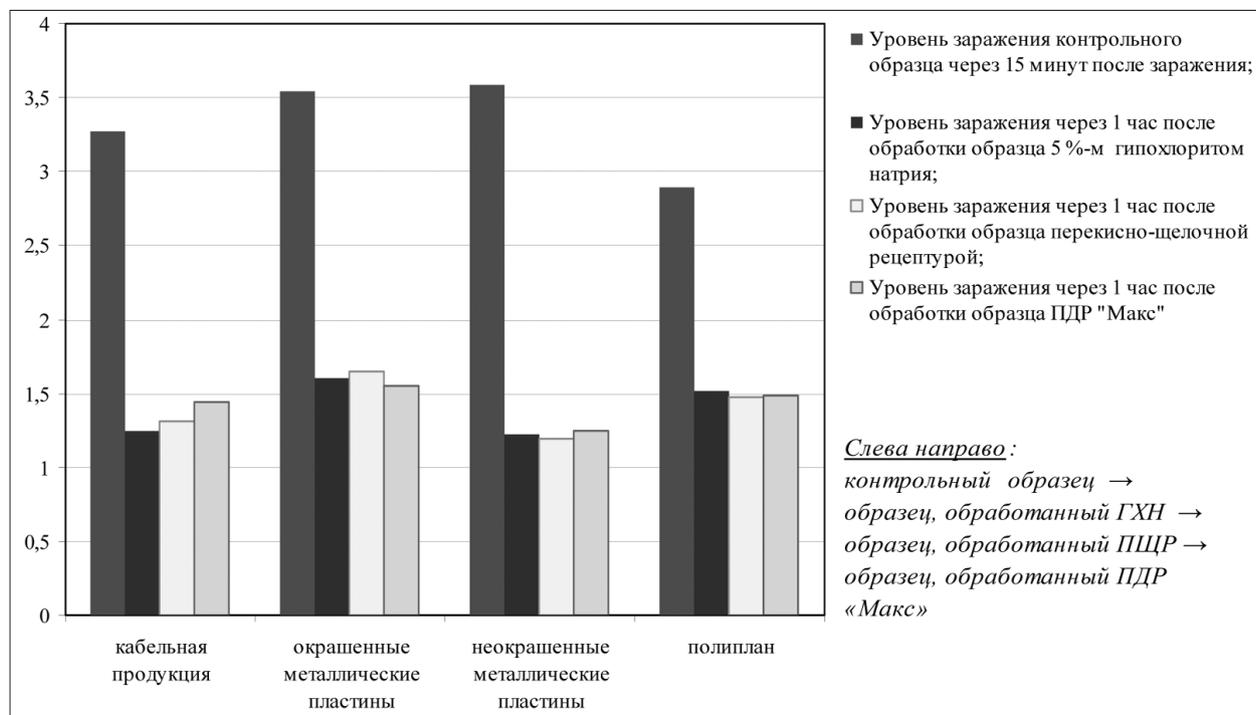


Рис. 5. Диаграмма уровней заражения ОБ типа ви-икс образцов и материалов технологического оборудования и строительных конструкций.

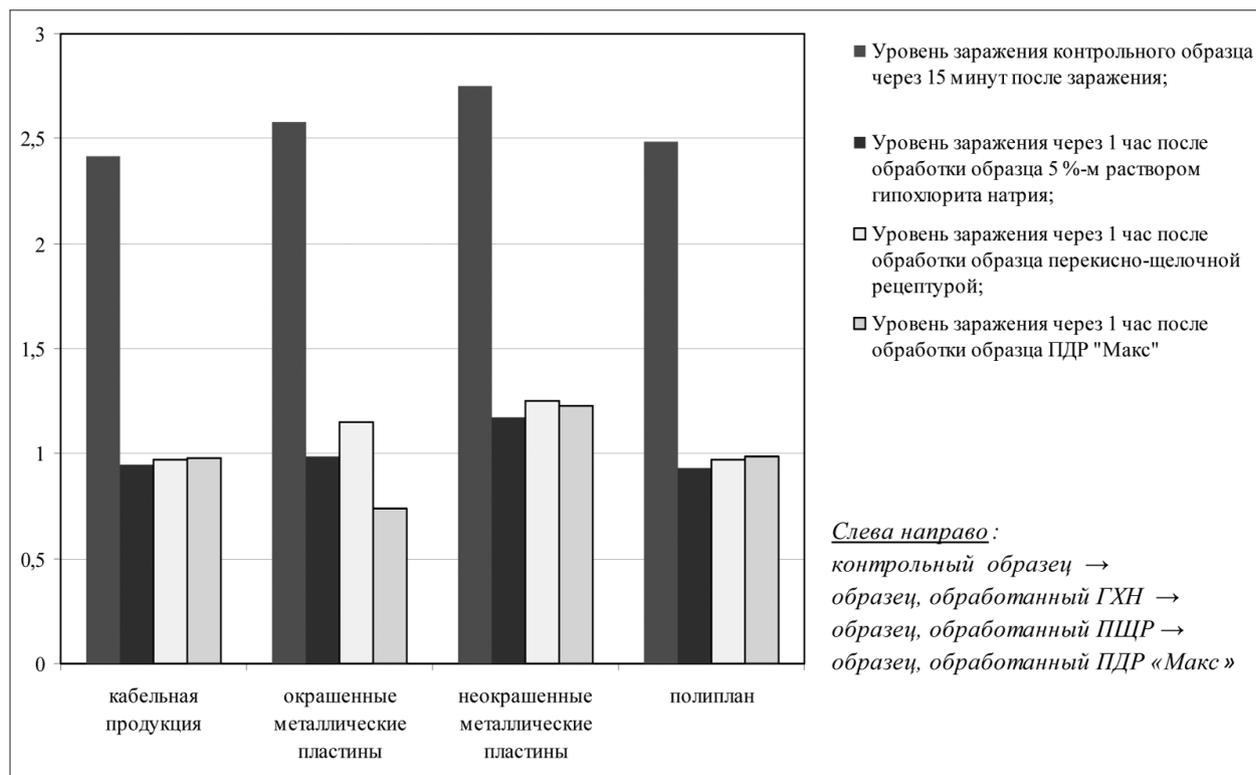


Рис. 6. Диаграмма уровней заражения зоманом образцов и материалов технологического оборудования и строительных конструкций.

В работах [3, 5] проведена оценка результативности некоторых рецептов, используемых в ходе ликвидации последствий деятельности ОХУХО, с целью оптимизации номенклатуры и состава химических средств обезвреживания. На рисунках 4-7

представлены лабораторные экспериментальные данные по результативности обезвреживания поверхностей (материалов) образцов технологического оборудования, строительных конструкций и почвогрунта, заражённых ОБ с плотностью 5 предельно-

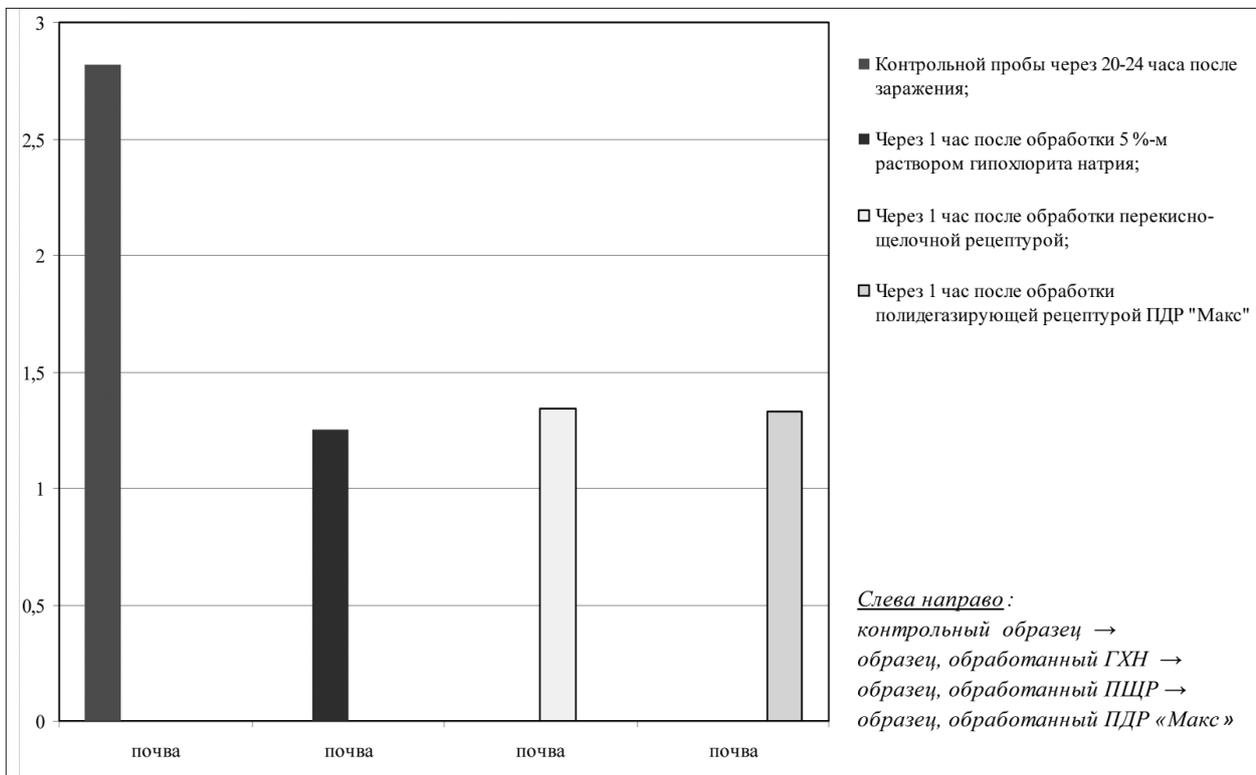


Рис. 7. Диаграмма уровней заражения ипритом образцов почвы.

допустимых уровней (ПДУ) или концентраций (ПДК), водным раствором гипохлорита натрия (ГХН), водной перекисно-щелочной рецептурой (ПЩР) и водной ПДР «Макс» [3, 5]. Анализ данных работы [3] и рисунка 4 свидетельствует:

- через 1 час после обработки поверхностей (материалов) исследуемыми дегазирующими рецептурами уровень заражения снижается до 1-1,5 ПДУ;

- через 2 часа и 5 часов после обработки соответственно (ГХН, ПЩР) и (ПДР «Макс») уровень заражения становится ниже предела обнаружения методики, то есть ниже 0,5 ПДУ.

Анализ данных работы [5] и рисунка 5 свидетельствует:

- через 1 час после обработки поверхностей (материалов) исследуемыми дегазирующими рецептурами уровень заражения снижается до 1,1-1,8 ПДУ;

- через 5 часов после обработки рассматриваемыми рецептурами уровень заражения становится ниже предела обнаружения методики, то есть ниже 0,5 ПДУ.

Анализ данных работы [5] и рисунка 6 свидетельствует:

- через 1 час после обработки поверхностей (материалов) исследуемыми дегазирующими рецептурами уровень заражения снижается до 0,9-1,2 ПДУ;

- через 5 часов после обработки рассматриваемыми рецептурами уровень заражения становится ниже предела обнаружения методики, то есть ниже 0,5 ПДУ.

Анализ данных работы [3] и рисунка 7 свидетельствует:

- через 1 час после обработки почвы исследуемыми дегазирующими рецептурами уровень заражения снижается до 1,1-1,2 ПДК;

- через 2 часа после обработки рассматриваемыми рецептурами уровень заражения становится ниже предела обнаружения методики, то есть ниже 1 ПДК.

В натуральных условиях – на промышленной территории федерального казённого предприятия «Горный» (бывшего ОХУХО «Горный») были проведены испытания по оценке результативности дегазации поверхностей технологического оборудования и строительных конструкций с применением ПДР «Макс» [4], которые подтверждают выше приведённые лабораторные исследования. Таким образом, результативность обезвреживания поверхностей (материалов) образцов технологического оборудования, строительных конструкций и почвы, заражённых кожно-нарывными и фосфорорганическими ОВ на уровне 5 ПДУ (или 5 ПДК), водным раствором гипохлорита натрия, водной перекисно-щелочной рецептурой и водной полидегазирующей рецептурой

Таблица 2

Принципиальный качественно-количественный состав рецептуры обезвреживания различных поверхностей и материалов на этапе вывода из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности ОХУХО

Номер группы	Группа компонентов	Принципиальный состав рецептуры		
		роль компонента	рекомендуемый(е) компонент(ы)	гипотетическое содержание компонента
I	Обязательная	Окислительно-восстановительный реагент	Перекись водорода, гидроперит, пергидроль, надперекиси	2,5...10 % (масс.)
		Щелочной реагент. Компонент, регулирующий pH среды	Гидроксид натрия, гидроксид калия	0,2...3 % (масс.)
		Растворитель [при необходимости проведения обезвреживания при пониженных температурах окружающего воздуха перед началом работ добавляются спирты]	Вода [спирты – изопропиловый, пропиловый, бутиловый, изобутиловый; этилцелло-зольв]	До 100 % (масс.) [до 30 % об.]
II	Дополнительная	Плёнкообразователь – компонент, формирующий на поверхности защитно-дегазирующее (защитно-профилактическое) покрытие	Целлюлоза хемомодифицированная (например, карбоксиметилцеллюлоза), крахмал модифицированный	~ 2 % (масс.)
		Смачиватель – поверхностно-активное вещество	Порошки типа СФ-2У, препараты типа ОП-7	0,3...0,5 % (масс.)
		Компонент, регулирующий pH среды (добавляется вместо щелочного реагента при необходимости создания кислой среды)	Кислота щавелевая	От 0,2 % (масс.)

«Макс», для всех исследуемых рецептур находится примерно на одном уровне.

То есть, ни одна из исследуемых полидегазирующих (бифункциональных) рецептур (ПЩР, ПДР «Макс») в ходе ликвидации последствий деятельности ОХУХО не имеет преимуществ по результативности достижения полноты обезвреживания поверхностей и материалов. При этом стоимость рецептур (и соответственно удельная себестоимость обработки 1 м<sup>2</sup>), используемых на ОХУХО, может отличаться в 3–30 раз [4, 5].

В этой связи на основе предложенного алгоритма разработки полидегазирующей (бифункциональной) водной (водно-органической) рецептуры (пролонгирующего действия), показанного на рисунке 3, предлагается её принципиальная композиция, конкретный состав которой зависит от выполняемой задачи (таблица 2).

### Заключение

Анализ качественного и количественного состава, роли компонентов и сравнительной оценки результативности обезвреживания (обеззараживания) различных поверхностей и материалов, загрязнённых ОВ, свидетельствуют о том, что исследуемые рецептуры, в

принципе, являются аналогами, а их дегазирующая способность находится примерно на одном уровне. То есть, ни одна из исследуемых полидегазирующих (бифункциональных) рецептур в ходе ликвидации последствий деятельности ОХУХО не имеет преимуществ по результативности обезвреживания поверхностей и материалов. Однако по технико-экономическим показателям имеются существенные различия.

### Литература

1. Пасевин В.И., Рудь В.Л., Виноградов Г.Г., Коробова Е.В., Лукавый Л.С., Дмитриев А.А., Пасевин А.И., Коробов А.А., Пасевина К.И., Кислица В.К., Ткаченко А.Г., Петров В.О., Блюм Г.З., Рогова Н.Ю. Оценка современной системы средств специальной обработки и изыскание новых технологий обеззараживания источников загрязнения на химически опасных объектах. Научно-технический отчёт по НИР, этап 1, промежуточный (шифр «Ворон-ХТМ»). М.: ЗАО «НПП «Химтехмаш», 2004. 92 с.
2. Пасевин В.И., Рудь В.Л., Виноградов Г.Г., Коробова Е.В., Лукавый Л.С., Дмитриев А.А., Пасевин А.И., Коробов А.А., Пасевина К.И., Кислица В.К., Ишкова Е.А. Обоснование и разработка системы средств специальной обработки для объектов по хранению и уничтожению химического оружия применительно к

современным санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям. Научно-технический отчёт по НИР, этап 2, промежуточный (шифр «Ворон»). М.: ЗАО «НПП «Химтехмаш», 2006. 174 с.

3. Мандыч В.Г., Язынин С.В., Исаев И.Н., Заготовкина Н.Ю., Ильясов И.Х., Овсянников А.В., Третьякова С.В., Веткин Д.О., Рудковский А.А., Воробьёв Т.В., Сипаков А.С., Панфёров О.Ю., Язынина Н.А. Выбор дегазирующих рецептур для ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению кожно-нарывных отравляющих веществ. Научно-технический отчёт № 714 (шифр «Рецептура»). Станция Леонидовка: Войсковая часть 21222, 2013. 132 с.

4. Кармишин А.Ю., Воробьёв Т.В., Брызгалина Е.В., Кинаш Е.В., Сипаков А.С., Романов В.С., Карпов А.В., Лякин А.С., Рудь В.Л., Берестов В.А., Овсянников А.В., Третьякова С.В., Дубровский Д.С., Белый А.В., Бабошкин А.Н., Гребенникова Г.Т., Большакова В.П., Силаев Д.В., Мензеленко С.В. Проведение испытаний по оценке результативности дегазации поверхностей технологического оборудования и строительных конструкций с применением полидегазирующей рецептуры ПДР «Макс» на промышленной территории ФКП «Горный». Технический отчёт. М.: НИЦ ФУБХУХО, 2013. 103 с.

5. Мандыч В.Г., Язынин С.В., Исаев И.Н., Ильясов И.Х., Веткин Д.О., Хитяев Д.Г., Кобцов С.Н., Андреев

К.В., Рудковский А.А., Дубровский Д.С., Гусева О.В., Хрусталёв В.В., Воробьёв Т.В., Лякин А.С., Панфёров О.Ю., Свинина О.Н., Ларина Е.Н. Анализ и оценка результативности дегазирующих рецептур для ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению фосфорорганических отравляющих веществ. Научно-технический отчёт № 139 (шифр «Рецептура-ФОВ»). Станция Леонидовка: Войсковая часть 21222, 2014. 166 с.

6. Лякин А.С. Способы приведения в безопасное состояние территорий и объектов инфраструктуры при выводе из эксплуатации объекта по хранению и уничтожению химического оружия «Горный» (пос. Горный Саратовской области) // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 17–20.

7. Шевченко А.В., Лякин А.С. О реформировании системы государственного экологического контроля и мониторинга за безопасным функционированием объектов по хранению и уничтожению химического оружия и состоянием окружающей среды // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2(14). С. 79–85.

8. Акишин Р.О., Лякин А.С. Научно-технические аспекты ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 13–16.

## Оценка токсичности битумно-солевых масс, полученных при уничтожении зарина на объекте «Щучье» Курганской области

© 2015. О. М. Плотникова<sup>1,2</sup>, д.б.н., г.н.с., профессор, Б. И. Кудрин<sup>1</sup>, к.м.н., с.н.с.,  
С. Ю. Максимовских<sup>1</sup>, к.с.-х.н., с.н.с.,

<sup>1</sup>Региональный центр по обеспечению государственного экологического контроля и мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия по Курганской области,

<sup>2</sup>Курганский государственный университет,  
e-mail: plotnikom@yandex.ru, kurgan-rc@yandex.ru

Исследована токсичность водных экстрактов битумно-солевых масс (БСМ), полученных при разных сроках экспозиции. Согласно паспорту отхода БСМ после уничтожения зарина гидролизом моноэтаноламина на объекте в г. Щучье (Курганская область) считаются умеренно опасными. Исследования проведены на 112 белых нелинейных лабораторных мышах. После интрагастрального ввода мышам водных экстрактов БСМ, полученных при экстракции в течение 20-30 суток, летальность достигала 70%. Таким образом, показано, что водорастворимые компоненты БСМ обладают значительной острой токсичностью для млекопитающих.

The toxicity of aqueous extracts bitumen salt mass (BSM), obtained at different periods of exposure was studied. According to the passport of waste BSM after the destruction of sarin hydrolysis monoethanolamine at the facility in Shchuchye (Kurgan region) are considered to be moderately hazardous. The research was conducted on 112 nonlinear white laboratory mice. After intragastric input to mice water extracts of the BSM obtained by extraction in a period of 20-30 days, the mortality reached 70%. Thus, it is shown that the water-soluble components have significant BSM acute toxicity to mammals.

Ключевые слова: уничтожение зарина, битумно-солевые массы, токсичность, лабораторные мыши.

Keywords: destruction of sarin, bitumen salt mass, toxicity, laboratory mice.

В рамках Федеральной программы уничтожения химического оружия на объекте в г. Щучье Курганской области реализована двухстадийная технология уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ) – зарина, зомана и ви-икс [1]. Конечными продуктами уничтожения ФОВ являются битумно-солевые массы (БСМ), которые хранятся на площадке размещения отходов и считаются умеренно опасными отходами (III класс опасности). С учетом чувствительности современных аналитических методов в них не обнаруживаются превышающие нормативы количества зарина, зомана или вещества типа Vx [2, 3].

Основными продуктами детоксикации зарина, согласно паспорту отхода битумно-солевой массы, являются кальциевые соли метилфосфоновой кислоты и её кислого эфира, диизопропиловый эфир метилфосфоновой кислоты, аминоэтилизопропилметилфосфонат, фторид кальция, зарин в количестве

менее  $1 \times 10^{-8}\%$  и битум (до 97,5%). Сведения о токсичности основных продуктов распада ФОВ представлены в обзоре [4].

В качестве основных продуктов миграции из битумно-солевых масс при уничтожении зарина, фигурируют моноэтаноламин и изопропиловые эфиры метилфосфоновой кислоты [5]. В литературе весьма скудно представлены сведения о процессах вымывания из БСМ нелетучих водорастворимых компонентов и степени их острой токсичности [6]. Между тем, выделяющиеся из БСМ продукты, в случае вымывания их грунтовыми водами из мест захоронения БСМ, могут интегрально оказаться токсичными с сенсibiliзирующим, гонадотропным, тератогенным и мутагенным действием на организм теплокровных животных.

Целью нашего исследования было изучение степени острой токсичности водорастворимых компонентов битумно-соляной смеси при уничтожении зарина на организм млекопитающих.

## Материалы и методы

Исследованию подверглись БСМ, полученные при уничтожении зарина методом гидролиза моноэтаноламином на объекте уничтожения химического оружия в г. Щучье Курганской области. Для приготовления водного экстракта использовались навески БСМ в виде кусочков размером около 0,5 см, которые заливали дистиллированной водой в весовом соотношении 1:1. Навески БСМ с водой непрерывно взбалтывали в течение суток. В дальнейшем смесь продолжала настаиваться без взбалтывания до 31 суток. Водный экстракт БСМ обладал выраженной щелочной реакцией (рН 10,0) и в экспериментах использовался нами как в нативном виде (1:1, рН10,0), так и после предварительной нейтрализации концентрированной соляной кислотой.

Исследования проведены на 112 белых нелинейных лабораторных мышах обоего пола, массой 25-35 г. Все животные соответствовали категории конвенционально улучшенных, клинически здоровых. Экстракт БСМ вводили животным интрагастрально в объеме 1,0 мл. В течение трёх суток за ними велось наблюдение. Вскрытие и исследование состояния внутренних органов проводили у всех погибших мышей. Выживших животных забивали через трое суток. Контролем служили 2 группы мышей обоего пола по 10 особей в каждой, которым в желудок вводили водный экстракт битума марки 6НД-60-90 в пропорции 1:1 (продолжительность настаивания битума в дистиллированной воде составила 31 сутки). Во всех экспериментальных группах регистрировали показатели смертности.

## Результаты исследования

На первом этапе эксперимента на двух группах мышей мы сравнили действие суточного неразбавленного экстракта в двух вариантах: без нейтрализации (нативного) и с нейтрализацией его щелочности соляной кислотой. Первой группе из 6 мышей-самцов вводили нативный экстракт БСМ (рН 10), а второй группе из 12 мышей-самцов – нейтрализованный экстракт БСМ (рН 7). В первой группе животных за первые сутки после инъекции погибло трое (50 %) из 6 мышей, во второй – трое (25 %) из 12.

Удвоение уровня смертности мышей при внутрижелудочном введении нативного экстракта БСМ свидетельствует об усилении повреждающего воздействия высокой щелоч-

ности экстракта на органы пищеварения млекопитающих. На вскрытии мышей, погибших после интрагастральной инъекции нативного экстракта БСМ, у всех животных обнаружены массивные кровоизлияния и эрозии на слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки. У выживших животных из этой группы, после их умерщвления через трое суток, были найдены только явления гиперемии слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки. Во второй группе мышей, которым вводился в желудок нейтрализованный экстракт БСМ, ни у погибших, ни у умерщвлённых после трёхсуточной экспозиции животных кровоизлияний и эрозий слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки не обнаружено.

Повреждающее воздействие высокой щелочности экстракта БСМ на желудочно-кишечный тракт приводит к гибели до половины животных уже в течение первых суток с начала эксперимента. Это маскирует проявления развивающегося в течение первых двух-трёх суток токсического эффекта от интрагастрального введения продуктов утилизации зарина, содержащихся в экстракте БСМ. С учётом данного обстоятельства, во всех дальнейших экспериментах нами использовался только нейтрализованный экстракт БСМ.

На втором этапе эксперимента была изучена токсичность водного экстракта БСМ в зависимости от длительности его экстрагирования.

Возможность проникновения воды в массу БСМ и, как следствие, возможность медленного вымывания водорастворимых компонентов из БСМ может быть обусловлена наличием трещин и капилляров в массиве битума, поэтому БСМ перед началом водной экстракции максимально измельчали.

С целью сравнительного исследования токсичности водных экстрактов БСМ с разной длительностью экстрагирования, нами проведены эксперименты на 4 группах мышей-самцов и 4 группах мышей-самок.

Животным обоего пола вводили по 1,0 мл неразведённого нейтрализованного экстракта БСМ (1:1, рН 7,0), который настаивался в течение 1, 11, 21 и 31 суток. Смертность от введения экстракта БСМ у мышей обоего пола возрастала по мере увеличения сроков экстракции БСМ (табл. 1), минимальной токсичностью обладал экстракт при экстрагировании в течение одних суток. Введение водного экстракта битума, полученного при настаивании в течение 31 суток, не приводило к гибели животных.

Апроксимация данных логарифмической функцией [7] представлена на рисунке. Как у

Таблица 1

Смертность мышей при внутрижелудочном введении водных экстрактов БСМ с разной длительностью экстрагирования (опыт) и водных экстрактов битума (контроль)

Срок экстракции, сутки	Самки			Самцы			Суммарно		
	число мышей (n)	летальность		число мышей (n)	летальность		число мышей (n)	летальность	
		n	%		n	%		n	%
Битумно-солевые массы (БСМ), опытные группы									
1	8	2	25	12	3	25	20	5	25
11	11	5	45	10	6	60	21	11	52
21	12	8	67	10	7	70	22	15	68
31	12	8	67	11	8	73	23	16	70
Битум, контроль									
31	10	0	0	10	0	0	20	0	0

самок, так и у самцов экспериментальные точки удовлетворительно описывались логарифмической зависимостью (высокие коэффициенты корреляции), при этом коэффициенты аппроксимирующих уравнений были близки друг к другу. Это позволило объединить экспериментальные данные групп самцов и самок по срокам экстракции, тем самым увеличив выборку и уменьшив влияние на аппроксимацию случайных факторов.

Аппроксимация обобщённых данных сопровождалась ростом показателя корреляции, а коэффициенты аппроксимирующего уравнения приняли промежуточные значения.

### Заключение

Результаты проведённого исследования свидетельствуют о том, что процесс естественного вымывания водорастворимых компонентов из битумно-солевых масс в водную среду осуществлялся достаточно активно и не требовал каких-либо специальных условий. Несмотря на то, что процесс вымывания протекает медленно и нелинейно, со временем в водной среде накапливается достаточно высокая концентрация экстрагируемых веществ. Водорастворимые компоненты БСМ обладают значительной

острой токсичностью для млекопитающих. Возможность вымывания водой из БСМ остаточных количеств отравляющих веществ и других токсичных продуктов указывает на необходимость контроля надлежащего хранения БСМ при уничтожении ФОВ и отвергает возможность использования их в качестве материала для хозяйственной деятельности человека.

### Литература

1. Белецкая И. Уничтожение химического оружия в России: политические, правовые и технические аспекты. М. 1999. 156 с.
2. Петрунин В.А., Шелученко В.В., Демидюк В.В. Проблемы уничтожения химического оружия // Материалы I Межрегиональной конференции. Киров. 2000. С. 110.
3. Савельева Е.И., Зенкевич И.Г., Кузнецова Т.А., Радилов А.С., Пшеничная Г.В. Исследование продуктов превращений фосфорорганических отравляющих веществ методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии // Рос. хим. ж. 2002. Т. 46. № 6. С. 82–91.
4. Munro N.B., Talmage S.S., Griffin G.D., Waters L., Watson A.P., King J.F., Hauschild V. The sources, fate and toxicity of chemical warfare agent degradation products // Environ. Health Perspect. 1999. V. 107. № 12. P. 933–974.
5. Малочкина Е.И., Зотова Т.А., Торубаров А.И., Жаков В.А., Сокальский М.А., Шелученко В.В., Петрунин В.А. Химико-аналитические исследования и токсикологическая оценка продуктов деструкции фосфорорганических отравляющих веществ, вымываемых из битумно-солевых масс // Токсикологический вестник. 2006. № 5. С. 22–27.
6. Малочкина Е.И., Ходаковская О.А., Горбунова З.И., Зотова Т.А., Шелученко В.В. Изучение хронического воздействия продуктов выщелачивания из битумно-солевых масс, полученных при уничтожении зарина, зомана и российского VX // Медицина труда и промышленная экология. 2006. С. 6.
7. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. школа, 1973. 343 с.



Рис. Смертность мышей обоего пола при внутрижелудочном введении водных экстрактов БСМ с разной длительностью экстрагирования.

## Внедрение и сертификация систем экологического менеджмента на объектах по уничтожению химического оружия

© 2015. Б. С. Пункевич<sup>1</sup>, д.ф.м.н., генеральный директор,  
Е. М. Загребин<sup>1</sup>, к.т.н., заместитель генерального директора,  
В. Н. Фокин<sup>1</sup>, к.т.н., начальник отдела, И. В. Коваленко<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.,

<sup>1</sup>Открытое акционерное общество Федеральный научно-технический центр метрологии систем экологического контроля «Инверсия»,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: inversia@yandex.ru, fubhuho@mail.ru

Одним из инструментов административного управления природоохранной деятельностью объектов по уничтожению химического оружия (ХО) является ее систематизация в рамках выполнения требований стандарта ГОСТ Р ИСО 14001-2007 по обеспечению функционирования системы экологического менеджмента (СЭМ), что повышает ее эффективность и результативность.

Функционирование СЭМ позволяет проводить силами специалистов объектов объективный анализ и формирование экологических целей и задач, контроль их выполнения и обеспечивать необходимую результативность природоохранной деятельности. Наличие стандартизированных требований к СЭМ позволяет проводить ее сертификацию, то есть оценивать ее соответствие ГОСТ Р ИСО 14001.

Сертификация СЭМ объектов по уничтожению ХО проводится как в национальной системе сертификации «Военный Регистр», так и в Международной сертификационной сети IQNet (Quality Austria).

Рассматриваемая деятельность является примером обеспечения экологической безопасности для других опасных и чрезвычайно опасных объектов.

One of the tools of administrative environmental management of chemical weapons (CW) destruction plants is its systematization within the requirements of GOST R ISO 14001-2007 on environmental management system (EMS) functioning, which improves its efficiency and effectiveness. EMS functioning of the allows plants' experts and the formation to make an objective analysis of the environmental goals and objectives, to monitor their implementation and provide the necessary environmental performance. Availability of standardized requirements for EMS allows to certificate it, i.e. to assess its compliance with GOST R ISO 14001. EMS certification of chemical weapons destruction plants is held in the national certification system "Military Register" and in the International Certification Network IQNet (Quality Austria). The activity in question is an example of providing environmental security for other dangerous and extremely dangerous objects.

**Ключевые слова:** опасный производственный объект, национальная система сертификации, система экологического менеджмента, токсичные химикаты, химическое оружие.

**Keywords:** hazardous plant, the national system of certification, environmental management system, toxic chemicals, chemical weapons.

Загрязнение окружающей среды негативно влияет на здоровье людей и будущих поколений. Важную роль в восстановлении и сохранении благоприятной экологической обстановки, обеспечении устойчивого развития играет снижение риска аварий на опасных производственных объектах, к которым в полной мере относятся объекты по хранению и уничтожению химического оружия (ХО). В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» объекты по хранению ХО, объекты по уничтожению ХО и опасные производствен-

ные объекты спецхимии отнесены к опасным производственным объектам чрезвычайно высокой опасности (I класс опасности).

Обеспечение безопасности функционирования таких объектов является важнейшей задачей, одно из направлений решения которой – обеспечение экологической безопасности – предусматривает, прежде всего, предотвращение возможного загрязнения окружающей среды токсичными химикатами, продуктами их деструкции и другими вредными веществами [1].

В последние годы четко проявляется тенденция последовательного ужесточения

требований экологической безопасности. Накопленный опыт показал, что наиболее результативным является сочетание административного управления предприятием с внедрением системы экологического менеджмента (СЭМ). В этой связи Федеральным управлением по безопасному хранению и уничтожению химического оружия было принято решение о создании и сертификации СЭМ на объектах по уничтожению ХО [2].

В соответствии с требованиями международного стандарта ISO 14001, принятого в России в качестве национального ГОСТ Р ИСО 14001, СЭМ является инструментом административного управления природоохранной деятельностью предприятия. Поскольку эта деятельность вводится в рамки системы (систематизируется), она становится более эффективной и результативной, играя важную роль в обеспечении безопасности функционирования предприятия в целом.

Специфика деятельности объектов химического разоружения вызывает необходимость проведения особенно тщательного мониторинга и контроля загрязняющих веществ, образующихся в процессе уничтожения химического оружия, в различных средах. Ряд загрязнителей, обладающих спо-

собностью оказывать смертельное токсическое воздействие в супермалых количествах на живые организмы, требует обеспечения проведения измерений микроколичеств токсичных химикатов (ТХ) по разработанным аттестованным установленным порядком методам измерений.

Объектами химико-аналитического контроля на объектах являются [3]:

воздух – в рабочей, промышленной, санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и в зоне защитных мероприятий (ЗЗМ);

вода – сточная, дождевая, паводковая, водоемов, имеющихся в промышленной, СЗЗ и ЗЗМ;

почва – промышленной, СЗЗ и ЗЗМ; вентиляционные выбросы; реакционные массы; отходы производства.

Основными критериями для формирования перечня контролируемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе являются [3]:

– вещества, обладающие высокой токсичностью и опасностью для человека и окружающей среды;

– маркеры – вещества, способные выступать в качестве показателя присутствия ТХ (продукты деструкции и трансформации ТХ);

– обязательные для контроля общепромышленные загрязнители.

**Таблица 1**

Перечень загрязняющих веществ и параметров, подлежащих контролю и мониторингу в атмосферном воздухе

№ п/п	Наименование ЗВ (определяемый параметр)	Критерий контроля ПДК, ОБУВ, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	Зарин*	$2 \cdot 10^{-7}$	1
2	Зоман**	$1 \cdot 10^{-7}$	1
3	Vx***	$5 \cdot 10^{-8}$	1
4	Моноэтаноламин****	0,02	2
5	Изопропиловый спирт*	0,6	3
6	Изобутиловый спирт***	0,1	4
7	N-метил-2-пирролидон***	0,3	не имеет
8	Фосфор и его соединения	0,15	4
9	Азота диоксид	0,2	2
10	Азота оксид	0,4	3
11	Углерода оксид	5,0	4
12	Серы диоксид	0,5	3
13	Бенз(а)пирен	$1,0 \cdot 10^{-6}$	1
14	Углеводороды	50	не имеет
15	Свиней и его соединения	0,001	1
16	Взвешенные вещества	0,5	не имеет
17	Формальдегид	0,035	2
18	Фтористый водород	0,02	2

Примечание:

\*– контроль при проведении работ по уничтожению зарина;

\*\*– контроль при проведении работ по уничтожению зомана;

\*\*\*– контроль при проведении работ по уничтожению ОБ типа Ви-икс;

\*\*\*\*– контроль при проведении работ по уничтожению зарина и зомана.

Перечень загрязняющих веществ и параметров, подлежащих контролю и мониторингу в атмосферном воздухе, например, на объекте в пос. Мирный Кировской области, представлен в таблице 1.

При формировании перечней веществ, подлежащих контролю и мониторингу в других компонентах природной среды (почва, природные воды, снежный покров, донные отложения), учитывалось, что [3]:

- загрязнение этих компонентов природных сред источниками загрязняющих вещества (ЗВ) происходит за счёт осаждения газов, паров, аэрозолей, пыли или растворенных соединений ЗВ с осадками из атмосферы, а также посредством различного вида переноса твёрдых и жидких отходов за пределы территории объекта;

- возможны процессы трансформации и деструкции ТХ;

- на промплощадке объекта отсутствует сброс в окружающую среду (ОС) технологических сточных вод;

- при проявлении новых источников загрязнения, изменении мощности, состава и условий сброса сточных вод прежних источников и других сложившихся условий, перечень определяемых показателей воды может быть изменен;

- для повышения эффективности контроля и мониторинга необходимо контролировать вещества, свидетельствующие о накоплении продуктов трансформации в ОС, например, при детоксикации зарины и зомана – суммарное содержание фосфорсодержащих соединений (общий фосфор);

- перечни веществ, подлежащих аналитическому контролю в природной воде, почве, донных отложениях и снежном покрове, корректируются при изменении перечня веществ, подлежащих аналитическому контролю в атмосферном воздухе.

Для выполнения работ по контролю и мониторингу загрязняющих веществ в составе всех объектов действуют лаборатории мониторинга окружающей среды.

В настоящее время СЭМ внедрены на пяти объектах по уничтожению ХО, завершаются работы по её созданию на объекте в пос. Кизнер Удмуртской Республики.

С целью обеспечения управленческих функций на объектах по уничтожению ХО при внедрении СЭМ приказом начальника объекта вводится в действие Экологическая политика и документированные процедуры, которые регламентируют деятельность в СЭМ. Экологическая политика и руководящие документы

СЭМ каждого объекта формируются с учётом их специфики, учитывающей технологические особенности, масштабы и условия воздействия на окружающую среду и включают обязательства, принимаемые руководством объекта следовать принципам постоянного улучшения и предотвращения загрязнения.

Важным элементом руководящих документов СЭМ является установление ответственности должностных лиц и взаимодействие подразделений по вопросам обеспечения природоохранной деятельности и экологической безопасности объекта.

Учитывая, что в деятельности объектов по уничтожению ХО многое зависит от работников, в Положения о подразделениях и должностные инструкции каждого специалиста включены требования, направленные на реализацию экологической политики и обеспечение экологической безопасности.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 14001 в СЭМ объектов регулярно проводится оценка соответствия применяемым законодательным требованиям. В СЭМ регулярно проводится идентификация экологических аспектов, выявление наиболее значимых из них и формирование на их основе экологических целей и задач [4].

В системах объектов регулярно проводятся внутренние аудиты и анализ СЭМ со стороны руководства, направленные на формирование путей улучшения, результативности СЭМ и обеспечения экологической безопасности.

Выявляемые в ходе внутренних аудитов несоответствия установленным требованиям позволяют своевременно принимать превентивные меры по устранению причин их проявления, а также по предотвращению возможных претензий со стороны надзорных органов.

Наличие стандартизованных требований к СЭМ объектов позволяет проводить сертификацию СЭМ, то есть оценку соответствия функционирования СЭМ установленным требованиям.

В ходе сертификации учитывается специфика объектов, накладывающая особые требования к безопасности их деятельности, в том числе экологической безопасности.

Сертификацию СЭМ объектов по хранению и уничтожению ХО проводят аудиторы (эксперты) по сертификации Органа по сертификации СЭМ ОАО ФНТЦ «Инверсия», имеющие теоретическую подготовку и опыт работы в областях, связанных с химическим оружием [5].

С 2003 г. ряд аудиторов (экспертов) органа сотрудничает с Австрийским сертификационным содружеством (Quality Austria, QA) в Международной сети IQNet. Quality Austria – представитель IQNet и **главный сертификационный орган** в Австрии является авторитетной организацией, отличающейся ответственным подходом к проводимым работам.

В апреле 2011 г. руководителями QA и ОАО ФНТЦ «Инверсия» подписано Соглашение о сотрудничестве, в соответствии с которым ОАО ФНТЦ «Инверсия» предоставлено право оказывать услуги по сертификации СЭМ на соответствие требованиям соответствующих стандартов от имени QA.

Наличие в ОАО ФНТЦ «Инверсия» аудиторов, аттестованных QA, позволило в 2012 г. впервые провести сертификацию СЭМ объекта по уничтожению ХО в пос. Леонидовка Пензенской области, а в 2014 г. объекта в г. Почеп Брянской области не только в национальной системе сертификации «Военный Регистр», но и в QA (IQNet). Аналогичная сертификация планируется в 2015 г. на объекте в пос. Кизнер Удмуртской Республики.

Для специалистов-экологов сертифицируемой организации на кафедре «Экологический менеджмент» Академии стандартизации, метрологии и сертификации (учебной) Росстандарта, сотрудничающей с ОАО ФНТЦ «Инверсия», были организованы курсы повышения квалификации по обеспечению функционирования СЭМ. Обучение проводилось с участием преподавателей, по совместительству – сотрудников ОАО ФНТЦ «Инверсия», являющихся аудиторами СЭМ в QA (IQNet).

Кроме того, в ходе подготовки к сертификации непосредственно на объекте были проведены занятия с высшим руководством и руководителями подразделений по разъяснению требований стандарта ISO 14001:2004 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» и другим вопросам подготовки СЭМ объекта к сертификации QA (IQNet).

Подготовка к сертификации, сертификация СЭМ (раз в три года), ежегодный инспекционный контроль и регулярные внутренние аудиты СЭМ в значительной мере способствуют обеспечению экологической безопасности деятельности объектов по уничтожению ХО [5].

По результатам сертификации объектов были выданы сертификаты IQNet и QA на русском и английском языках.

Пример проведения международной сертификации объектов по уничтожению ХО по-

лучил высокую оценку со стороны руководства Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия.

Уничтожение ХО в России происходит в условиях международного сотрудничества, при участии США, ФРГ и других стран-участниц Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении.

Сертификация СЭМ на объекте по уничтожению ХО в пос. Леонидовка и г. Почеп аудиторами QA является одним из элементов такого сотрудничества, в частности в области обеспечения экологической безопасности этой деятельности.

Опыт, полученный при международной сертификации СЭМ объектов в пос. Леонидовка и г. Почеп, будет распространен и на другие объекты по уничтожению химического оружия, например, в пос. Кизнер Удмуртской Республики, а также в последующем на организации, имеющие опасные производства.

### Литература

1. Пункевич Б.С., Фокин В.Н., Кислова Е.И. Управление охраной здоровья и безопасностью персонала предприятий, населения и окружающей среды в районах их расположения // Химическая безопасность Российской Федерации в современных условиях: Труды Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2010. С. 45–47.
2. Пункевич Б.С., Фокин В.Н., Гаврилова Е.С., Смазнова А.И. Международное сотрудничество в области обеспечения экологической безопасности при уничтожении химического оружия // Научно-технические аспекты обеспечения безопасности при уничтожении химического оружия и ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия: Тезисы и доклады VII научно-практической конференции. ФУ БХУХО. Москва. 2014. С. 19–23.
3. Элькин Г.И., Капашин В.П., Пункевич Б.С., Загребин Е.М., Фокин В.Н. Роль экологического менеджмента в повышении экологической безопасности при ликвидации химического оружия // Методы оценки соответствия. 2007. № 5. С. 6–8.
4. Пункевич Б.С., Фокин В.Н., Кислова Е.И., Дмитриева К.С., Загребин Е.М. Системы экологического менеджмента организаций на основе стандартов ГОСТ Р ИСО серии 14000 и их сертификация. Учебное пособие. М.: АСМС, 2010. С. 1–136.
5. Пункевич Б.С., Соболева Е.И., Фокин В.Н. Международная сертификация СЭМ объектов по уничтожению химического оружия // Стандарты и качество. 2013. № 6. С. 62–63.

## Различные подходы к рекультивации загрязнённых территорий в рамках выполнения ликвидационных мероприятий на бывших объектах по хранению химического оружия

© 2015. А. Ю. Исаева, к.б.н., м.н.с., В. С. Романов, к.б.н., зам. начальника отдела, Ю. А. Белов, к.в.н., зам. начальника отдела, Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье представлен материал о рекультивации загрязнённых территорий в рамках выполнения работ по ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия. Рассмотрены существующие дегазирующие рецептуры, применяемые для рекультивации территорий, загрязнённых ипритом и люизитом (гипохлорит натрия, полидегазирующая рецептура «МАКС» и перекисно-щелочная рецептура). Представлены схемы химических реакций иприта и люизита с дегазирующими рецептурами. Проведен анализ подходов к рекультивации загрязнённых территорий бывших объектов по хранению химического оружия в пос. Горный Саратовской области, г. Камбарка Удмуртской Республики и пгт. Мирный Кировской области. Акцентировано внимание на то, что выполнение всех мероприятий по рекультивации загрязнённых территорий позволит обеспечить полную очистку грунта от следов присутствия отравляющих веществ, продуктов их деструкции и мышьяка.

The paper presents the material on contaminated site remediation as part of the work on the elimination of effects of the storage facilities and chemical weapons destruction. The existing degassing for remediation of areas contaminated with mustard gas and lewisite (sodium hypochlorite, polidegaziruyuschaya recipe "MAX" and schelochnaya recipe) The schemes of chemical reactions with mustard gas and lewisite degassing recipes. The analysis of approaches to remediation of contaminated areas of the former object of chemical weapons storage in the village Gorniy Saratov region, the Kambarka city Udmurt Republic and the village Myrniy of the Kirov region. Special attention is paid to the fact that the implementation of all measures for the remediation of contaminated sites will ensure a thorough cleaning of the ground traces of poison substance and of arsenic.

**Ключевые слова:** рекультивация, грунт, ликвидация последствий деятельности, гипохлорит натрия, термическое обезвреживание.

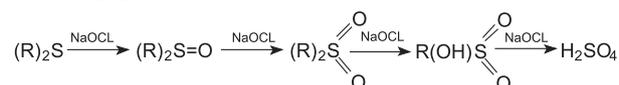
**Keywords:** reclamation, soil, eliminate the effects, sodium hypochlorite, thermal decontamination.

После завершения уничтожения химического оружия (ХО) в Российской Федерации будут проведены работы, связанные с выведением объектов по уничтожению химического оружия (ОУХО) и объектов по хранению ХО из эксплуатации, их уничтожением или конверсией, а также по рекультивации загрязнённых территорий, на которых были расположены объекты [1].

В ходе подготовки к проведению ликвидационных мероприятий на объектах по хранению и объектах по уничтожению ХО были проведены исследования грунта на содержание отравляющих веществ (ОВ) и продуктов их деструкции. Превышение допустимых норм содержания иприта, люизита и мышьяка в почвах было обнаружено в местах доконвенционного обращения с ХО [2 – 4].

Рекультивация загрязнённых территорий заключается в обработке почв и грунтов детоксикантом – гипохлоритом натрия, полидегазирующей рецептурой (ПДР) «МАКС» или перекисно-щелочной рецептурой с целью уменьшения остаточной загрязнённости грунта люизитом и ипритом.

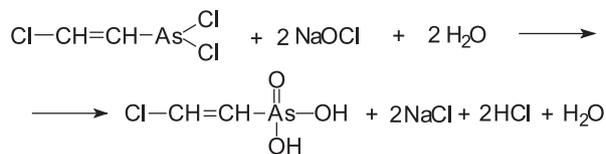
При дегазации грунта, загрязнённого ипритом, гипохлоритом натрия могут протекать химические реакции по следующей схеме [5]:



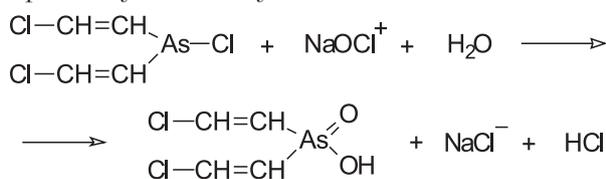
Водный раствор гипохлорита натрия последовательно превращает иприт в β,β'-дихлордиэтилсульфоксид и β,β'-дихлордиэтилсульфон, последний

при избытке окислителя превращается в β-хлорэтансульфокислоту, которая в более жёстких условиях претерпевает полную деструкцию.

При взаимодействии α-люизита с водными растворами гипохлорита натрия происходит его окисление в 2-хлорвиниларсоновую кислоту:



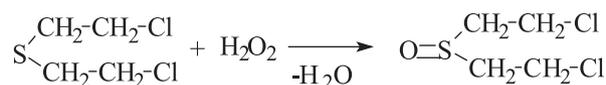
β-люизит окисляется в бис-(β-хлорвинил)арсиновую кислоту:



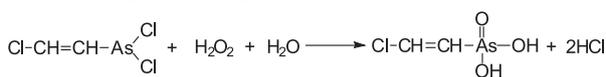
Образующиеся 2-хлорвиниларсоновая и бис-(β-хлорвинил)арсиновая кислоты относятся к малотоксичным веществам.

Таким образом, гипохлорит натрия активно взаимодействует с ипритом и люизитом с образованием относительно нетоксичных соединений, что и послужило обоснованием для создания дегазирующих рецептур на основе гипохлоритов для обработки различных заражённых поверхностей.

Дегазирующее действие ПДР «МАКС» основано на окислении иприта или люизита перекисью водорода. При обработке иприта ПДР «МАКС» главным образом образуется 2,2'-дихлордиэтилсульфоксид [6]:



При окислении α-люизита водным раствором перекиси водорода происходит образование 2-хлорвиниларсоновой кислоты:



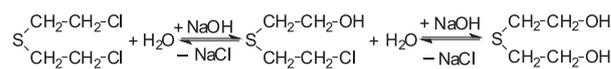
При окислении β-люизита раствором перекиси водорода образуется бис-(β-хлорвинил)арсиновая кислота:



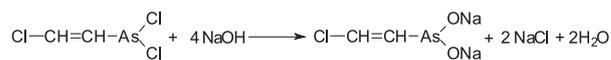
Щелочные растворы перекиси водорода из-за способности образовывать в реакциях атомарный кислород, пероксид и гидроксид анионы, обладающие высокой нуклеофильностью, широко применяются в органическом

синтезе для проведения процессов окисления, гидролиза и т. д. В состав перекисно-щелочной рецептуры входят едкий натр, перекись водорода и вода.

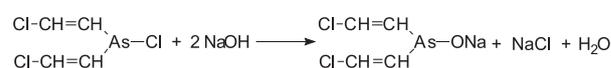
При применении перекисно-щелочной рецептуры происходит гидролиз иприта. Хотя иприт – вещество, достаточно устойчивое к гидролизу, но та его часть, которая растворена в воде, гидролизуется с замещением атома хлора на гидроксильную группу.



Первоначальный гидролиз α- и β-люизитов происходит уже при небольших концентрациях щелочи с образованием солей соответствующих β-хлорвиниларсонистых кислот [6]:



и бис-(β-хлорвинил)арсинистых кислот



В настоящее время существуют два подхода к рекультивации загрязнённых территорий:

- обезвреживание загрязнённых земельных участков без выемки грунта методом взрыхления путём перемешивания грунта с дегазирующей рецептурой непосредственно в местах загрязнения;

- выемка почвы и грунта, их дегазация и термическая обработка с последующим возвращением обезвреженного грунта на места изъятия.

При разработке подходов к рекультивации загрязнённых территорий доконвенционного обращения с ХО учитывался состав почв, а также качественный и количественный состав загрязнений. На основе полученных исходных данных разработаны технологии рекультивации загрязнённых территорий бывших объектов по хранению химического оружия в пос. Горный Саратовской области, г. Камбарка Удмуртской Республики и пгт. Мирный Кировской области.

В пос. Горный Саратовской области рекультивация загрязненной территории будет проводиться двумя способами, в зависимости от характера загрязнения.

Первый способ рекультивации грунта заключается в термообезвреживании грунта с предварительной обработкой дегазирующим раствором гипохлорита натрия. Грунт обрабатывается дегазатором и извлекается с глубины до 1 м, далее подвергается дополни-

тельной дегазации в автобетоносмесительной установке типа АБС-4, после чего отбирается проба и производится аналитический контроль достаточности детоксикации грунта. При необходимости проводится повторная обработка, затем грунт отправляется на термическое обезвреживание и возвращается на места изъятия.

Второй способ рекультивации будет осуществляться без выемки грунта путём взрыхления загрязнённого грунта и с одновременным внесением ПДР «МАКС». Взрыхление грунта будет осуществляться с помощью землеройной машины ПЗМ-2. После обработки загрязнённых зон дегазирующей рецептурой осуществляется выдержка загрязнённых территорий в течение одного климатического сезона. Затем отбираются пробы грунта и проводится анализ на содержание иприта, люизита и мышьяка. При обнаружении зон с повышенной предельно допустимой концентрацией ОВ процедура взрыхления повторяется. В случае выявления участков с превышением допустимого валового содержания мышьяка грунт с этих участков будет подвергаться термическому обезвреживанию.

На территории бывшего объекта по хранению ХО в г. Камбарка Удмуртской Республики грунт, загрязнённый ОВ, подвергается дегазации гипохлоритом натрия в местах расположения заглублённых хранилищ и на территории с повышенным содержанием иприта.

Дегазация почвы внутри хранилища проводится гипохлоритом натрия, далее производится детоксикация заглублённых хранилищ путём бурения нескольких скважин на глубину 2-4 м, введение в них детоксиканта с последующей выдержкой в течение 7 дней. По результатам анализа определяется необходимость дополнительной обработки. При наличии в пробах мышьяка грунт необходимо обработать раствором аминокислотной композиции АК-3 Э для связывания его в нерастворимые комплексы. Грунт, класс опасности которого понизился до 3 или 4 уровня, направляется на полигон захоронения отходов грунта. Повторная дегазация грунта (класс опасности которого остался на высоком уровне) осуществляется в мобильных установках дегазации грунта с использованием гипохлорита натрия, после чего он направляется на полигон захоронения отходов, а при невозможности достижения предельно допустимых концентраций – на термическое обезвреживание.

На территории со значительным превы-

шением содержания иприта дегазация грунта будет производиться гипохлоритом натрия с дальнейшей отправкой продегазированного грунта на установку термического обезвреживания и возвращением его обратно.

На объекте по хранению химического оружия в пгт. Мирный Кировской области технология рекультивации загрязнённой территории заключается в дегазации грунта перекисно-щелочной рецептурой с одновременным рыхлением с помощью щелереза-рыхлителя-кратователя или машины для глубокого фрезерования земель МТП-44Б. При этом норма расхода перекисно-щелочной рецептуры, подаваемой в зону взрыхления и перемешивания грунта, составит до 100 л на 1 м<sup>2</sup>.

Описанные выше технологии рекультивации, независимо от характера загрязнений, позволяют произвести полную очистку загрязнённых территорий. Таким образом, в результате проведения планируемых мероприятий будут восстановлены земли на территориях бывших объектов по хранению ХО и ликвидировано загрязнение почв ипритом, люизитом, а содержание мышьяка доведено до значений, допустимых для почв населённых мест.

## Литература

1. Капашин В.П. Выполнение завершающего этапа уничтожения запасов химического оружия в Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 12–14.
2. Баранов Ю.И., Казаков П.В., Афанасьев В.В., Головкин В.Ф., Богоявленская Ю.С., Садовников С.В., Козлов Г.В., Елеев Ю.А., Глухан Е.Н., Чернышова М.П., Чижикова Т.И. Исходные данные на осуществление комплекса мероприятий по ликвидации последствий деятельности объекта по хранению и уничтожению химического оружия в поселке Горном Саратовской области. Москва: ГосНИИОХТ, 2008. 357 с.
3. Чупис В.Н., Мартынов В.В., Быстренин В.И., Фризоргер Г.Г., Растегаев О.Ю., Емельянова Н.В., Ильин В.Ф., Рыжков А.В., Марьин В.И., Артемьев С.В., Белов С.А., Федоренко Е.В., Рыжков В.А., Симоненко Н.С., Толоконникова Т.П., Черников С.А., Жирнов В.А., Луцкая Е.А., Чеглеев И.И., Бурданов Д.А., Арбузов А.Ю., Бурданов Д.А., Арбузов А.Ю., Бурданов Д.А., Ильина Е.В. Исходные данные на ликвидацию (санацию) загрязнённых территорий мест бывшего хранения химического оружия на территории Удмуртской Республики в рамках НИР «Закладка». Саратов: ГосНИИЭНЦ, 2009. 346 с.
4. Радюшкин Ю.Г., Ключев А.М., Растегаев О.Ю., Родионцев И.А., Владимиров С.Ю., Пономаренко С.М., Елисеев А.Д., Белов С.А., Борзова Е.С., Макарова

Н.М., Танайлова Е.А., Грищенко К.Г., Беспалова Е.Ю., Козырев А.В. Исходные данные на вывод из эксплуатации и ликвидацию последствий деятельности объекта по хранению и объекта по уничтожению химического оружия в пос. Мирный Кировской области. Саратов: ГосНИИЭНП, 2014. 321 с.

5. Шелученко К.В., Колганов А.Н., Жмуркин С.М., Лысенко К.Н., Зайцев А.В., Хрыпченко В.М., Лысенко А.Н., Епишин И.Г., Костычев А.А. Исходные данные на санацию и реабилитацию загрязненных территорий, прилегающих к объекту по уничтожению химического

оружия в г. Камбарка Удмуртской республики (шифр «Клад»). Пенза. 2013. 354 с.

6. Мандыч В.Г., Язынин С.В., Исаев И.Н., Заготовкина Н.Ю., Ильясов И.Х., Овсянников А.В., Третьякова С.В., Веткин Д.О., Рудковский А.А., Воробьев Т.В., Сипаков А.С. Выбор дегазирующих рецептур для ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению кожно-нарывных отравляющих веществ». Научно-технический отчет. (Шифр «Рецептура»). Леонидовка: Войсковая часть 24222, 2013. 132 с.

**Гигиенические аспекты обеспечения безопасности работ  
при ликвидации или перепрофилировании  
опасных химических производств**

© 2015. И. В. Коваленко<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., Б. Н. Филатов<sup>2</sup>, д.м.н., директор,  
В. В. Клаучек<sup>2</sup>, д.м.н., заместитель директора, Н. Г. Британов<sup>2</sup>, к.м.н., зав. лабораторией,  
Н. В. Крылова<sup>2</sup>, к.б.н., в.н.с., Л. А. Доброшенко<sup>2</sup>, с.н.с.,

<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии  
Федерального медико-биологического агентства России,  
e-mail: fubhuho@mail.ru, filatov@rihtop.ru, britanov@rihtop.ru, klauchek@rihtop.ru,  
krilova@rihtop.ru, lyudmila-dobroschenko@yandex.ru

Разработаны методические подходы к организации и осуществлению безопасного для персонала, населения и окружающей среды проведения работ по выводу из эксплуатации, ликвидации и перепрофилированию химически опасных объектов, на которых получались, использовались, перерабатывались, образовывались, хранились, транспортировались, уничтожались токсичные и высокотоксичные вещества. В том числе дана характеристика этапов процесса вывода из эксплуатации опасных химических производств. Представлена рекомендация по распределению помещений в зависимости от бывшего производственного помещения и потенциальной опасности.

Methodological approaches are worked out to organization and implementation of work on decommissioning, elimination and conversion of chemically dangerous plants where toxic and highly toxic substances were produced, used, processed, formed, stored, transported, and destroyed, guaranteeing safety for the personnel, population and environment. The characteristic of stages of the process of hazardous chemical production decommissioning is given. Recommendations are offered for space distribution, depending on the former industrial premises and the potential dangers.

**Ключевые слова:** опасные химические производства, ликвидация, перепрофилирование, зонирование помещений, санитарно-эпидемиологический надзор, безопасность персонала и населения, окружающая среда, санитарно-химический контроль, методические рекомендации.

**Keywords:** chemically hazardous production facilities, liquidation, conversion, rooms zoning, sanitary and epidemiological supervision, personnel and population safety, environment, sanitary and chemical control, methodical recommendation.

Основное направление государственной политики в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения – сохранение безопасной для человека среды обитания, при которой отсутствует вредное воздействие её факторов и обеспечиваются благоприятные условия жизнедеятельности [1]. Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных промышленных объектов» предприятия или их цеха, участки, площадки, а также иные производственные объекты, на которых получались, использовались, перерабатывались, образовывались, хранились, транспортировались, уничтожались токсичные и высокотоксичные вещества, определены

как опасные промышленные объекты [2]. Законом к токсичным и высокотоксичным веществам отнесён обширный перечень химических веществ и соединений, обладающих широким диапазоном физико-химических и токсикологических характеристик.

Строительные конструкции и оборудование на подобных производствах могут быть загрязнены соединениями, используемыми в технологическом цикле, как при функционировании в штатном режиме, так и при нештатных ситуациях. В настоящее время накоплен определённый опыт по выводу из эксплуатации, ликвидации последствий деятельности, конверсии или перепрофилированию бывших объектов по разработке, производству, хранению

и уничтожению химического оружия [3–9]. Однако вывод из эксплуатации опасных химических производств имеет свои особенности в силу широкого спектра свойств химических соединений, имеющих обращение на подобных предприятиях. Поэтому ликвидация или перепрофилирование таких производств влечёт за собой необходимость разработки гигиенических мероприятий, направленных на снижение реальной и потенциальной угрозы химического загрязнения среды обитания человека.

Цель работы заключалась в подготовке методических рекомендаций по организации и осуществлению безопасного для персонала, населения и окружающей среды проведения работ по выводу из эксплуатации, ликвидации и перепрофилированию опасных химических объектов, на которых получались, использовались, перерабатывались, образовывались, хранились, транспортировались, уничтожались токсичные и высокотоксичные вещества.

Разработка методических подходов осуществлялась на основе анализа действующих нормативно-методических документов по вопросам санитарно-эпидемиологического надзора и санитарно-химического контроля на предприятиях химического профиля, а также опыта санитарно-гигиенических исследований на опасных химических объектах, курируемых подразделениями Федерального медико-биологического агентства.

Процесс вывода из эксплуатации опасных химических производств (ОХП) состоит из следующих этапов: подготовительные работы по обеспечению процесса ликвидации необходимыми средствами механизации процесса резки оборудования и разрушения строительных конструкций, системами местной и общей вентиляции с фильтрами для очистки от пыли и опасных химических веществ (ОХВ), средствами проведения нейтрализации токсичных и высокотоксичных веществ, оборудованными местами для временного хранения отходов, загрязнённых ОХВ, и обоснованными маршрутами перемещения этих отходов в места обезвреживания; работы по обезвреживанию, предшествующие разрушению оборудования и конструкций, с последующим аналитическим контролем полноты деконтаминации; выборочное удаление и вывоз в герметичной упаковке на заключительное обезвреживание оборудования и фрагментов строительных конструкций, наиболее загрязнённых токсичными и высокотоксичными веществами, не поддающихся нейтрализации; составление акта о «раскрытии» помещений для разруше-

ния; проведение разрушения зданий и сооружений; дегазация, размещение и утилизация отходов; обезвреживание и очистка сточных вод; санация территории.

Основным вредным фактором при выводе из эксплуатации ОХП являются токсичные и высокотоксичные соединения, остаточные количества которых могут присутствовать в строительных конструкциях, на оборудовании и коммуникациях, в пыли, образующейся при демонтаже производственных помещений.

Все проектные материалы по выводу из эксплуатации, ликвидации или перепрофилированию ОХП с решением актуальных вопросов по обеспечению безопасности персонала и населения и охраны окружающей среды подлежат государственной экспертизе [2, 10]. Несвершенство существующей в настоящее время нормативно-методической базы не позволяет в полной мере обеспечить безопасный процесс ликвидации или перепрофилирования ОХП. Учитывая специфику проведения работ по ликвидации подобных объектов, в подраздел проектной документации «Технологические решения» рекомендуется включить сведения, касающиеся технологических решений по последовательному выводу из эксплуатации и обезвреживанию технологического оборудования, коммуникаций и строительных конструкций зданий ОХП, а также технологических решений по эксплуатации зданий для обеспечения безопасного проведения работ.

В тех случаях, когда для разработки проектной документации недостаточно требований по надежности и безопасности, установленных нормативными техническими документами, или такие требования не установлены, целесообразно разработать и согласовать специальные технические условия. Для сохранения здоровья персонала и обеспечения безопасности производственных процессов при планировании работ по выводу из эксплуатации, ликвидации и перепрофилированию ОХП проводят зонирование производственных помещений по степени их опасности для персонала. Методы и критерии зонирования разрабатываются и согласовываются в специальных технических условиях.

Для обеспечения качественного контроля за полнотой обезвреживания помещения в каждом здании необходимо рассматривать по принадлежности к «потенциально опасным» (1 и 2 категория) и «условно безопасным» (3 категория) с учётом возможного контакта персонала с токсичными и высокотоксичными веществами.

Основными критериями отнесения помещений к первой, второй, третьей категориям является уровень потенциальной и реальной опасности контакта персонала с ОХВ, с учётом использования помещений при штатной работе предприятия, результатов мероприятий по деконтаминации производственной среды и, особенно, данных текущего химико-аналитического контроля за загрязнённостью токсикантами оборудования, коммуникаций, строительных конструкций, твёрдых и жидких отходов при проведении работ по ликвидации или перепрофилированию ОХП.

При разработке специальных технических условий рекомендуется следующее распределение помещений по категориям в зависимости от их бывшего производственного назначения и потенциальной опасности: 1 категория – производственные помещения, где осуществлялись технологические процессы и операции с высокотоксичными веществами; 2 категория – производственные помещения, в которых выполнялись технологические процессы и операции с токсичными веществами, а также помещения химико-аналитической лаборатории; 3 категория – помещения, где отсутствовали технологические процессы с токсичными и высокотоксичными веществами, но возможно их загрязнение за счёт выноса опасных химических веществ из смежных помещений 1 и 2 категории.

Перечень «опасного», «условно опасного» и «условно безопасного» оборудования и коммуникаций, требующих проведения работ по обезвреживанию перед выводом из эксплуатации, определяется в технологических решениях в составе проектной документации и дополняется техническими службами, исходя из данных производственного контроля и данных санитарно-химического контроля, проводимого в рамках госсанэпиднадзора. С учётом технической документации специалисты ОХП составляют план-график производственного контроля загрязнённости опасными химическими веществами производственной среды с указанием зданий и сооружений, мест контроля остаточной загрязнённости оборудования, строительных конструкций и отходов.

По результатам исследований помещения разделяются по реальной опасности на две категории: «опасные» (категория А) и «условно безопасные» (категория Б). С учётом потенциальной и реальной опасности помещения разделяются на: 1А – помещения 1 категории, в которых обнаружено содержание высокотоксичных веществ в воздухе, на поверхностях

оборудования и строительных конструкций, в глубинных пробах и соскобах выше гигиенических нормативов; 2А – помещения 2 категории, в которых обнаружены токсичные вещества в воздухе, поверхностных и глубинных пробах и соскобах с оборудования и строительных конструкций в концентрациях выше гигиенических нормативов; 3А – помещения 3 категории, являются смежными с помещениями 1А и 2А категорий. В помещениях 3А категории обнаруживаются токсиканты в воздухе и на поверхности строительных конструкций и оборудования в концентрациях выше гигиенических нормативов; 1Б – помещения 1 категории, в которых содержание высокотоксичных веществ в воздухе, поверхностных, глубинных пробах и соскобах не превышает гигиенические нормативы; 2Б – помещения 2 категории, в которых содержание токсичных веществ в воздухе, поверхностных, глубинных пробах и соскобах не превышает гигиенические нормативы; 3Б – помещения 3 категории, являются смежными с помещениями 1Б и 2Б категорий. В помещениях 3Б категории содержание токсикантов в воздухе и на поверхности строительных конструкций и оборудования не превышает гигиенические нормативы.

План работ по деконтаминации производственной среды разрабатывается на основе итогового категорирования помещений. Показателем полноты деконтаминации является содержание остаточных количеств токсичных и высокотоксичных соединений, не превышающее гигиенические нормативы в воздушной среде внутри оборудования и рабочей зоне, на поверхностях технологического оборудования и строительных конструкций, промывных водах.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) должны соответствовать особенностям каждого производственного участка, рабочего места и характеру проводимых работ. Вид сертифицированных СИЗ, режим их использования определяется, исходя из концентраций загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны и уровня загрязнения поверхностей производственных помещений, технологического и вспомогательного оборудования с учетом микроклиматических параметров, а также тяжести и напряженности трудового процесса.

В зависимости от вида выполняемых ликвидационных работ целесообразно обеспечивать персонал следующими СИЗ. При работах по деконтаминации и выводу из эксплуатации опасных химических объектов СИЗ персонала соответствуют СИЗ, использовавшимся в про-

цессе эксплуатации данного объекта. При работах, проводимых в помещениях 1–2 категории до получения окончательных результатов, свидетельствующих об отсутствии опасных химических соединений в поверхностных и «глубинных» пробах выше гигиенических нормативов, персонал обеспечивается СИЗ, аналогичными тем, которые использовались при ликвидации аварийных ситуаций в период функционирования производств, и монтажной каской при демонтаже оборудования, погрузке и разгрузке металлоотходов, разрушении строительных конструкций. При выполнении работ в помещениях 3 категории и «раскрытых» помещениях 1 и 2 категории персонал работает в хлопчатобумажной пылезащитной спецодежде и респираторе, сменяемых ежедневно, обеспечивается брезентовыми перчатками, монтажной каской, защитными очками и противогазом (в положении «наготове»). Лица, занятые газовой и плазменной резкой строительных конструкций и оборудования, дополнительно обеспечиваются защитным костюмом из негорючей ткани. Персонал, работающий в «грязной» зоне установок по обезвреживанию отходов, обеспечивается СИЗ, аналогичными используемым в помещениях 1 и 2 категории.

Для населения и окружающей среды потенциальную химическую опасность при работах по ликвидации или перепрофилированию ОХП представляют: вентиляционные выбросы из зданий, в которых проводятся работы; газоздушные выбросы от установок термического обезвреживания и сжигания отходов, содержащие общепромышленные загрязнители, и, возможно, недоокисленные компоненты продуктов деструкции ОХВ, диоксины, бенз(а)пирен и другие опасные продукты горения; пыль от ликвидируемых строительных конструкций и участков по временному хранению твёрдых отходов; ливневые и грунтовые воды; грунт от площадок расположения ликвидируемых производств и мест временного хранения образующихся отходов; водоёмы, почва, снег, грунтовые и артезианские воды в случае их загрязнения высокотоксичными и токсичными соединениями.

Реальная химическая опасность от процессов ликвидации и перепрофилирования ОХП и санации их территорий оценивается по результатам химико-аналитических исследований загрязнённости объектов производственной и окружающей сред приоритетными загрязнителями.

Химико-аналитический контроль загрязнённости производственной среды, промплощадки, санитарно-защитной зоны и прилегающей селитебной территории в период ликвидации или перепрофилирования ОХП проводится лабораториями, осуществляющими производственный и санитарно-химический контроль в период эксплуатации объекта.

Основной задачей при осуществлении (организации) производственного контроля за соблюдением санитарных правил и проведением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий посредством лабораторных исследований в период проведения работ по ликвидации или перепрофилированию является определение загрязнённости высокотоксичными и токсичными соединениями воздуха рабочей зоны, технологического оборудования, строительных конструкций, твёрдых и жидких отходов для оценки полноты обезвреживания технологического оборудования, используемого при ликвидационных работах, вентиляционных выбросов и СИЗ персонала, воздуха, почвы и снежного покрова промплощадки, объектов окружающей среды на границе санитарно-защитной зоны и близлежащей селитебной территории.

Федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор за деятельностью ОХП при выводе их из эксплуатации, ликвидации или перепрофилировании осуществляется уполномоченными органами исполнительной власти в соответствии с действующими нормативными документами.

По результатам проведённых исследований разработаны методические рекомендации «Организация безопасных условий работ при ликвидации или перепрофилировании опасных химических производств» (МР 058-12), утверждённые и введённые в действие заместителем руководителя Федерального медико-биологического агентства, Главным государственным санитарным врачом по обслуживаемым организациям и обслуживаемым территориям.

Таким образом, разработаны методические подходы к организации и осуществлению безопасного для персонала, населения и окружающей среды проведения работ по выводу из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности опасных химических объектов, на которых получались, использовались, перерабатывались, образовывались, хранились, транспортировались, уничтожались токсич-

ные и высокотоксичные вещества. Основные положения разработанных методических рекомендаций могут быть использованы для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения при ликвидации или перепрофилировании опасных химических производств.

### Литература

1. Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ (ред. от 29.12.2014) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
2. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных промышленных объектов».
3. Грачев В. Ф., Сагдаков В. Г. Опыт работы территориального отдела межрегионального управления № 5 и ЦГиЭ № 40 Федерального медико-биологического агентства России по медико-санитарному сопровождению конверсии бывших производств химического оружия на Волгоградском ОАО «Химпром» // Медицина экстремальных ситуаций. 2009. № 4 (30).
4. МР 45-12. Методические рекомендации. Осуществление федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора при выводе из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия. – М.: ФМБА России, 2012.
5. МР 46-12. Методические рекомендации. Организация санитарно-химического контроля за состоянием производственной и окружающей среды при выводе из эксплуатации объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия. – М.: ФМБА России, 2012.
6. СП 2.2.1.2513-09. Санитарные правила. Гигиенические требования к размещению, проектированию, строительству, эксплуатации и перепрофилированию объектов по уничтожению химического оружия, реконструкции зданий и сооружений и выводу из эксплуатации объектов по хранению химического оружия. – М.: Федеральный ЦГиЭ Роспотребнадзора, 2009.
7. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Клаучек В. В., Романов В. В., Леженин А. В., Вареник В. И., Николаев В. А., Лось С. П. Санитарно-эпидемиологическое обеспечение объектов по хранению и уничтожению химического оружия в период вывода их из эксплуатации и перепрофилирования // Российский химический журнал (ЖРХО им. Д. И. Менделеева). 2010. Т. LIV. № 4. С. 140–143.
8. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Клаучек В. В., Лось С. П. Научно-методические основы медико-санитарного обеспечения безопасности работ по выводу из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности объектов хранения и уничтожения химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 63–68.
9. Филатов Б. Н., Клаучек В. В., Британов Н. Г., Масленников А. А., Почепцов А. Я., Пильдус И. Э., Точилкина Л. П., Вехтер Е. П. Гигиеническое обеспечение безопасности процесса уничтожения и последующей конверсии объектов по хранению и уничтожению химического оружия // Материалы XI Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. В 3 т. Т. 1 / Под ред. Г. Г. Онищенко, А. И. Потапова. М. 2012. С. 749–751.
10. Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации».

УДК 613.6:623.459

**Выполнение программных мероприятий по охране здоровья персонала объектов по хранению и уничтожению химического оружия, граждан, проживающих и работающих в зонах защитных мероприятий**

© 2015. С. Л. Ветошкин<sup>1</sup>, начальник группы, О. А. Василенко<sup>1</sup>, д.м.н., старший офицер, С. П. Лось<sup>1</sup>, к.м.н., советник, С. Н. Филь<sup>1</sup>, к.м.н., старший офицер, А. С. Кочкин<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,

<sup>1</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>2</sup>Саратовский филиал медицинского института РЕАВИЗ,  
e-mail: fubhuho@mail.ru, Oksana1464@yandex.ru,

Состояние здоровья персонала объектов по хранению и уничтожению химического оружия оценивается с использованием комплекса медико-биологических критериев по результатам предварительных медицинских осмотров при приёме на работу, периодических медицинских обследований, обращений за медицинской помощью. Социально-гигиенический мониторинг осуществляется посредством анализа, оценки и прогноза состояния здоровья населения и среды обитания, определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием на него факторов среды обитания, принятия мер по устранению вредного воздействия на население факторов среды обитания. Действующая система мероприятий по сохранению и укреплению здоровья персонала объектов по хранению и уничтожению химического оружия, граждан, проживающих и работающих в зонах защитных мероприятий, позволяет снизить риск развития у указанного контингента профессиональных и профессионально-обусловленных заболеваний, улучшить качественные и количественные показатели здоровья, снизить вероятность инвалидизации.

The health state of staff at the chemical weapons storage and destruction plants is estimated with the use of a whole complex of medical and biological criteria based on the results of preliminary medical examinations at the stage of employment, of periodic medical examinations, and of appeals for medical help. Social-hygienic monitoring is carried out through analysis, evaluation and forecasting of public health and the environment, determining cause-and-effect relationship between health and the impact environmental factors on health, taking measures to eliminate the harmful effects of environmental factors on the population. The current system of measures aiming at preserving and improving health of the staff at the chemical weapons storage and destruction plants, as well as of the citizens living and working in the areas of protective measures, can reduce the risk of developing professional and vocational-related diseases, improve the quality and quantity of health, reduce the likelihood of disability.

**Ключевые слова:** охрана здоровья, медицинское обеспечение, медицинский осмотр, обследование, освидетельствование, лечебно-профилактические и реабилитационные мероприятия, социально-гигиенический мониторинг.

**Keywords:** health; health care, medical support; medical examination, examination, examination of therapeutic and rehabilitation measures, socio-hygienic monitoring.

Для реализации системы мер по охране здоровья персонала объектов по хранению и уничтожению химического оружия (Объект), а также граждан, проживающих и работающих в зонах защитных мероприятий (ЗЗМ) этих Объектов, создана система медицинского обеспечения, включающая организации и учреждения, осуществляющие санитарно-гигиенические, противоэпидемические, лечебно-профилактические мероприятия, мониторинг окружающей среды и состояния здоровья персонала Объектов и населения ЗЗМ, ведение единой системы медицинского мониторинга (ЕСММ) и автоматизированного персонального учёта [1-5].

Состояние здоровья персонала оценивается с использованием комплекса медико-биологических критериев в соответствии с требованиями нормативно-методических документов по результатам предварительных медицинских осмотров при приёме на работу, периодических медицинских обследований, обращений за медицинской помощью. Весь персонал в обязательном порядке подвергается до- и послесменным медицинским осмотрам, имеющим целью выявление остро возникших патологических состояний, препятствующих выполнению служебных обязанностей или требующих экстренного медицинского вмешательства. Персонал ежегодно проходит периодиче-

ские медицинские освидетельствования и, при необходимости, подвергается диспансерному динамическому наблюдению. Лица, отнесенные в группы риска, проходят обследование и лечение в специализированных лечебных учреждениях, оказывающих высокотехнологичные медицинские услуги. Обследование, установление причинно-следственных связей заболевания с профессиональной деятельностью, лечение и реабилитационные мероприятия проводятся в центрах профпатологии ФМБА России или в Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (далее – ВМедА) после медицинского обследования, осуществленного в расширенном объеме. Всё это позволяет сократить риск развития профессиональной и профессионально обусловленной патологии, развитие которой может являться следствием многофакторного влияния, включающего использование средств защиты в зависимости от вида выполняемых работ, неблагоприятный микроклимат с наличием шума и вибрации на рабочих местах, вероятное воздействие на организм токсичных химикатов, высокий уровень психоэмоциональной напряженности, обусловленный сложностью и ответственностью задач, наличием реального риска для жизни и здоровья. Весь персонал Объектов в обязательном порядке проходит психофизиологическое обследование.

Обследование граждан, проживающих и работающих в ЗЗМ, оказание им медицинской помощи при заболеваниях осуществляют специалисты поликлинических консультативно-диагностических центров, оснащенных современным диагностическим оборудованием. Особое внимание уделяется обследованию детей и подростков, проживающих в ЗЗМ, комплексное обследование которых осуществляется амбулаторно выездными бригадами специалистов и в условиях стационара Центральной детской клинической больницы Федерального медико-биологического агентства России.

За медицинское обеспечение военнослужащих, работающих на Объектах, отвечают медицинские службы воинских частей и специалисты ВМедА, проводящие обследование выездными бригадами на месте, стационарное обследование и лечение на базе ВМедА, формирующие медико-токсикологический регистр.

Мероприятия по охране здоровья персонала Объектов осуществляются во время профессиональной деятельности и по её завершении (в зависимости от выявленной патологии от 5 лет до пожизненного наблюдения), при возникновении нештатных ситуаций, при осуществлении

работ с аварийными боеприпасами, при ликвидации последствий деятельности Объектов.

На настоящем этапе выполнения федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» осуществляется планомерное уничтожение боеприпасов, снаряженных фосфорорганическими отравляющими веществами (ФОВ), обладающими нервно-паралитическим действием. Основу экстренной помощи пораженным ФОВ составляет применение антидотов (пеликсим и карбоксим). Персонал Объектов обеспечивается антидотами для оказания доврачебной само- и взаимопомощи, здравпункт – соответствующим медицинским и техническим оборудованием, аварийными укладками и медицинскими материалами для оказания экстренной медицинской помощи. При расчёте потребности в специальных медикаментозных средствах, при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций, на Объектах учитывается вероятность возникновения интоксикаций у различных категорий граждан, как из числа персонала, так и среди населения ЗЗМ.

Система профилактики заболеваний лиц, занятых на работах с химическим оружием, подразумевает: нормативно-правовое регулирование; соблюдение санитарных норм и правил, санитарно-гигиенических нормативов и стандартов безопасности (контроль соблюдения); систему лечебно-профилактических мероприятий; использование средств индивидуальной, специфической и неспецифической защиты, современных высокотехнологичных здоровьесберегающих технологий; формирование мотивации к здоровому образу жизни [6, 7]. Для повышения устойчивости организма граждан, занятых на работах с химическим оружием, используются специально разработанные рационы лечебно-профилактического питания с использованием витаминов, биологически активных веществ и специализированных функциональных продуктов лечебного и профилактического питания направленного действия.

Лечение, при необходимости, проводится в стационарных и амбулаторных условиях в виде специфической и симптоматической терапии.

В отношении нуждающихся лиц осуществляется медицинская, социальная и профессиональная реабилитация на донологическом, постнологическом и компенсационном уровне стационарно, амбулаторно-поликлинически и санаторно-курортно. На донологическом уровне проводятся профилактические мероприятия: рациональный режим труда и отдыха; умерен-

ная физическая нагрузка; сбалансированное питание; контроль массы тела; отказ от курения, употребления алкоголя, наркотиков; климатотерапия, бальнеотерапия, массаж, рефлексотерапия. На постнотозологическом уровне предусмотрены реабилитационно-профилактические мероприятия: иммунопрофилактика, экстраиммунная терапия, биологически активные вещества, сезонная вакцинация; синдромальная медикаментозная терапия (гепатопротекторы, седативные, калий и магний содержащие препараты, витаминпрофилактика); фитотерапия; лечебно-профилактическое питание; лечебная физкультура; дополнительный отдых; психотерапия. Компенсационный уровень включает реабилитационные мероприятия состояний, характеризующихся как инвалидность (стойкая и необратимая утрата всей или части какой-либо физиологической функции), перечень которых определяется индивидуально, как правило, включают медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию.

С целью формирования установки на здоровье как высшую ценность проводятся занятия по профилактике наркомании, алкоголизма, табакокурения, популяризации здорового питания для военнослужащих и гражданского персонала объектов, лектории для жителей ЗЗМ, выпускаются информационные бюллетени. Систематически проводятся спортивно-оздоровительные мероприятия, спортивные состязания и соревнования.

Для доказательного определения отсутствия отрицательного влияния Объектов на здоровье человека и среду обитания результаты обследований учитываются в ЕСММ, которая содержит персонифицированные данные по каждому сотруднику объектов, включая сведения о медицинских освидетельствованиях при приеме на работу, до- и послесменных медицинских осмотрах, периодических медицинских осмотрах. ЕСММ включает подсистему мониторинга здоровья военнослужащих, лиц гражданского персонала объектов, населения, проживающего в ЗЗМ (подсистема «Мониторинг здоровья») и подсистему мониторинга санитарно-гигиенического состояния объектов (подсистема «СанГиМо») [8].

Социально-гигиенический мониторинг осуществляется посредством анализа, оценки и прогноза состояния здоровья населения и среды обитания, определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием на него факторов среды обитания, принятия мер по устранению вредного воздействия на население факторов среды обитания.

Анализ соответствия медицинских сил и средств задачам медицинского обеспечения при уничтожении химического оружия показал, что медицинская служба объектов по хранению и уничтожению химического оружия и учреждений заинтересованных ведомств располагает всем необходимым для проведения лечебно-профилактических, реабилитационных мероприятий и социально-гигиенического мониторинга, что позволяет снизить риск развития у указанного контингента профессиональных и профессионально-обусловленных заболеваний, улучшить качественные и количественные показатели здоровья, снизить вероятность инвалидизации. Проблемными вопросами медицинского обеспечения являются создание системы охраны здоровья граждан при ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия, определение продолжительности социально-гигиенического мониторинга здоровья персонала Объектов, корректировка площадей зон защитных мероприятий Объектов.

### Литература

1. Гигиенические требования к размещению, проектированию, строительству, эксплуатации и перепрофилированию объектов по уничтожению химического оружия, реконструкции зданий и сооружений и выводу из эксплуатации объектов по хранению химического оружия // Санитарные правила СП 2.2.1.2513-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 77 с.
2. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон Российской Федерации от 30 марта 1999 г. № 52 –ФЗ.
3. О социальной защите граждан, занятых на работах с химическим оружием: Федеральный закон Российской Федерации от 11 ноября 2000 г. № 136-ФЗ.
4. Об уничтожении химического оружия: Федеральный закон Российской Федерации от 25 апреля 1997 г. № 76 – ФЗ
5. Об утверждении федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» постановление Правительства Российской Федерации от 21 марта 1996 г. с изменениями.
6. Клиническая эпидемиология экзогенных интоксикаций. Монография / Под ред. В.П. Капашина. Ст. Леонидовка. 2013. 142 с.
7. Сборник инструктивно-методических документов по проблеме уничтожения химического оружия (Часть II ФОВ, Том I) / Под ред. В.Д. Ревы. М.: 2001. 278 с.
8. Концепция единой системы медицинского мониторинга при хранении, перевозке и уничтожении химического оружия. М.: ФГУП «НИЦ ИТЭП», 2005. 180 с.

**Система средств индивидуальной защиты, используемых  
на объектах по уничтожению химического оружия**

© 2015. Р. В. Хохлов<sup>1</sup>, к.х.н., начальник управления,  
А. Ю. Кармишин<sup>2</sup>, к.т.н., начальник, И. В. Коваленко<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.,  
Ю. Ф. Таранченко<sup>2</sup>, к.х.н., с.н.с., Е. А. Василькова<sup>2</sup>, н.с.,

<sup>1</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье обобщён опыт работ по созданию средств индивидуальной защиты, предназначенных для использования персоналом объектов по уничтожению химического оружия. Приведена классификация средств индивидуальной защиты, назначение, принцип действия и основные технические характеристики. Приведены обобщённые данные по техническим, эксплуатационным и защитным характеристикам средств индивидуальной защиты. Новизна приведённых в настоящей статье данных состоит в том, что впервые осуществлена классификация средств индивидуальной защиты, которые разработаны целевым образом для обеспечения безопасности персонала занятого на работах по уничтожению химического оружия, а также специалистов, участвующих в ликвидации возможных аварийных ситуаций на объектах по хранению и объектах по уничтожению химического оружия.

Практическая значимость проведённой работы по обобщению сведений о разработанных средствах индивидуальной защиты заключается в том, что указанные средства индивидуальной защиты могут быть применены и на других опасных производственных объектах, на которых обращаются вещества остронаправленного действия или вещества I класса опасности.

The paper generalizes the experience of work on creation of personal protective equipment for the personal of chemical weapons destruction plants. The articles gives classification of personal protective equipment, shows purpose, principle and basic specifications. Generalized data data on technical, operational and protective characteristics of the PPE are given. The novelty of this article data is in the fact that for the first time classification of personal protective equipment is carried out, which is designed purposefully to ensure the safety of personnel engaged in different operations at the chemical weapons destruction plant, as well as professionals involved in the elimination of potential accidents at the chemical weapons storage and destruction plants. The practical importance of the work of getting together the information on personal protective equipment is that these PPE can be applied to other hazardous industries, which are to do with the substance or substances highly directional action or of the Ist hazard class.

**Ключевые слова:** реакционные массы, высокотемпературная переработка, водно-солевой слой, капсулирование.

**Keywords:** reaction mass, high-temperature treatment, water-salt layer, encapsulation.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) являются средствами, которые обеспечивают безопасные условия персонала объектов при проведении работ, связанных с уничтожением химического оружия (ХО), а также в случае ликвидации аварийных ситуаций [1].

Специфика выполнения работ на объектах по уничтожению химического оружия, а также требования ряда нормативных документов определили необходимость разработки СИЗ для защиты персонала объектов, а также аварийно-спасательных бригад от отравляющих веществ (ОВ) и поражающих факторов пожара. Разрабатываемые СИЗ должны обеспечивать возможность выполнения персоналом функциональных обязанностей при

проведении регламентных работ при уничтожении ОВ, а также при ликвидации аварий и их последствий, как при одновременном, так и при раздельном воздействии поражающих факторов ОВ и пожара.

Основной целью приведённого обзора о разработанных СИЗ является необходимость проведения их классификации в качестве системы средств с учётом области и периодичности их применения на объектах по уничтожению ХО.

С 2001 по 2005 годы выполнялась опытно-конструкторская работа «Разработка системы средств индивидуальной защиты для персонала объектов по уничтожению химического оружия и аварийно-спасательных бригад»,

в рамках которой создавались комплекты и комплексы СИЗ для защиты персонала объектов по уничтожению химического оружия и аварийно-спасательных бригад, участвующих в уничтожении кожно-нарывных и фосфорорганических ОВ [2].

Указанная ОКР была завершена разработкой опытных образцов комплексов СИЗ-1, СИЗ-2, СИЗ-3, СИЗ-4 и СИЗ-5.

В настоящее время систему СИЗ, используемых на объектах по уничтожению ХО, можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

Основные сведения о назначении, составе и характеристиках СИЗ приведены ниже.

Комплект СИЗ-1 – предназначен для защиты персонала, работающего в помещениях 1 группы опасности объектов по уничтожению ХО, от паров кожно-нарывных и фосфорорганических ОВ при нормальном функционировании объектов и кратковременно от аэрозолей, капель ОВ и воздействия пламени при возникновении аварийной ситуации [3].

В состав комплекта входят: костюм изолирующий с вклеенными в него маской и резиновыми сапогами; фильтрующий химзащитный комбинезон; подшлемник; носки; сумка (упаковочная).

Принцип работы. Воздух, засасываемый из внешней среды узлом подачи воздуха,

поступает в две фильтрующе-поглощающие коробки, очищается, поступает на дыхание в подмасочное пространство и затем через клапан выдоха маски поступает в подкостюмное пространство, через клапаны в костюме воздух выходит наружу.

Технические характеристики комплекта СИЗ-1 приведены в таблице 1.

Высокая стоимость изделия, а также нерешённые вопросы его санитарно-профилактической обработки не позволили массово применять комплект СИЗ-1 в помещениях первой группы опасности объектов по уничтожению химического оружия.

В настоящее время в помещениях первой группы опасности объектов по уничтожению ХО основным средством индивидуальной защиты является комплект защитного костюма Л-1М, который в сочетании с противогазом ПФС обеспечивает защиту работников объектов по уничтожению ХО от паров кожно-нарывных и фосфорорганических ОВ при нормальном функционировании и, кратковременно, от капель и аэрозолей ОВ при возникновении аварийной ситуации.

В состав комплекта защитного костюма Л-1М входят [4]: костюм защитный легкий Л-1, изготовленный из ткани УНКЛ-3, а также комплект химзащитный из материала ПХЗФ-1, перчатки защитные БЛ-1М или ЛЗ-М.

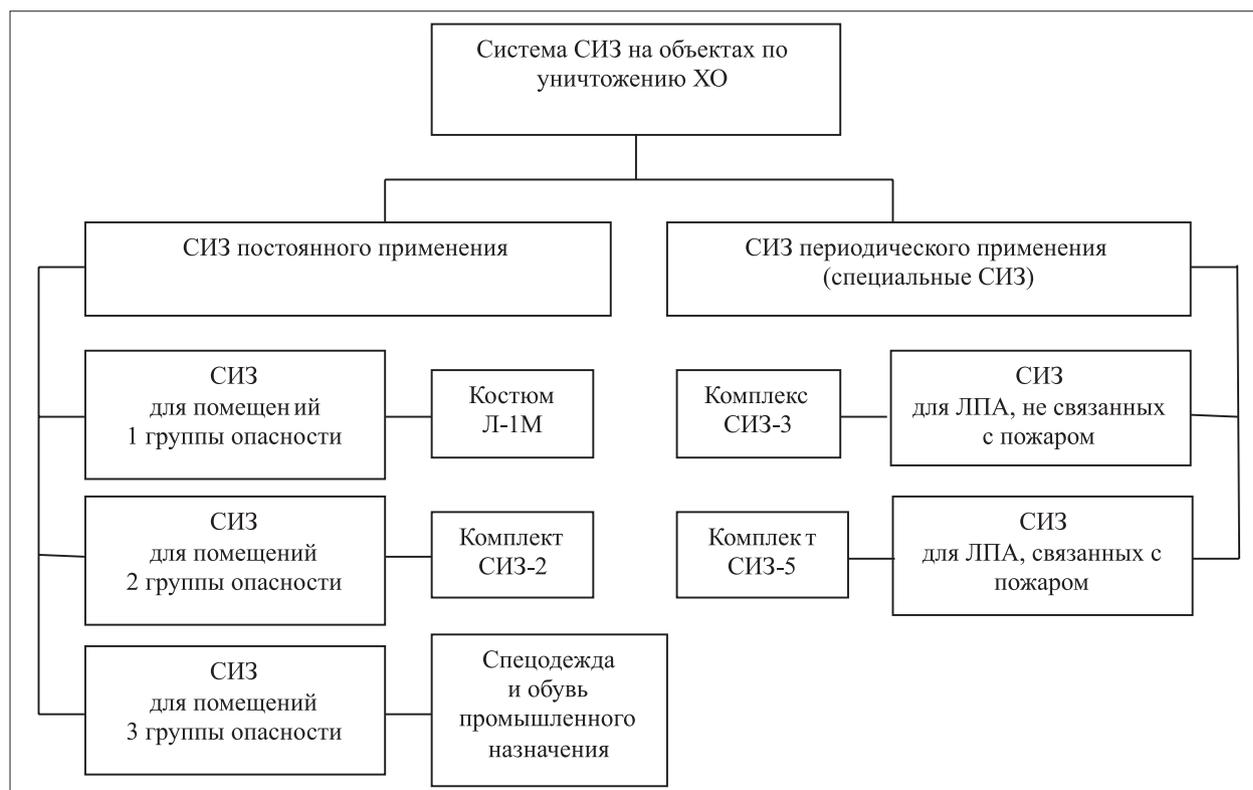


Рис. 1. Система СИЗ на объектах по уничтожению ХО.

Технические характеристики костюма Л-1М приведены в таблице 1.

Комплекс СИЗ-2 – предназначен для защиты персонала, работающего в помещениях 2 группы опасности, от паров, аэрозолей и кратковременно от капель ОВ кожно-нарывного действия, фосфорорганических ОВ. Он используется при нормальном режиме работы объекта уничтожению ХО, с учётом возможности возникновения аварийной ситуации [5].

В состав комплекса входят: комплект СИЗ-2 (комбинезон фильтрующий, сапоги (полусапоги), перчатки защитные БЛ-1М или ЛЗ-М); противогаз ПФС с капюшоном и сумкой; защитные сапоги; защитный комплект НИВА-2М (нагнетатель, блок питания, зарядное устройство); жилет; фильтрующе-поглощающие коробки для комплекта «Нива-2»; присоединительное устройство.

Принцип работы. Наружный воздух с помощью нагнетателя подаётся в две фильтрующе-поглощающие коробки, очищается, поступает в подкостюмное пространство, через клапаны в костюме воздух выходит наружу.

Технические характеристики комплекса СИЗ-2 приведены в таблице 1.

Комплекс СИЗ-3 – предназначен для защиты аварийно-спасательных бригад от ОВ кожно-нарывного действия, фосфорорганических ОВ при ликвидации аварий, не сопровождаемых пожаром, а также ликвидации последствий аварий и пожаров на объектах по уничтожению ХО. Является средством многократного использования (однократно при воздействии жидкой фазы ОВ) в диапазоне температуры от минус 35 до плюс 40°С [6].

В состав комплекса входят: комплект СИЗ-3 (костюм изолирующий, комбинезон фильтрующий, подшлемник, носки); дыхательный аппарат со сжатым воздухом (АП-2000); шланг переходник; внешний (дополнительный) источник воздуходообеспечения; радиостанция типа «Гранит Р-43».

Принцип работы. Работа комплекса заключается в полной изоляции органов дыхания и кожных покровов пользователя от окружающей среды. Воздух из баллонов дыхательного аппарата поступает под маску на вдох. Дыхание пользователя обеспечивается за счёт рабочего запаса сжатого воздуха, находящегося в баллонах дыхательного аппарата. Выдыхаемый воздух поступает в подкостюмное пространство, создаётся избыточное давление в нём, избыточный воздух через клапан сброса избыточного давления,

расположенный на капюшоне изолирующего костюма, выходит в атмосферу.

Технические характеристики комплекса СИЗ-3 приведены в таблице 1.

Комплекс СИЗ-4 – предназначен для защиты личного состава аварийно-спасательных бригад от ОВ кожно-нарывного действия и фосфорорганических ОВ, а также от повышенных тепловых воздействий при ликвидации аварий, связанных с пожаром, на объектах по уничтожению ХО [7].

В состав комплекса входят: комплект СИЗ-4 (комбинезон теплозащитный, капюшон, рукавицы трёхпалые, сапоги, костюм изолирующий, комбинезон фильтрующий, подшлемник, носки, перчатки защитные БЛ-1М, перчатки трикотажные хлопчатобумажные); дыхательный аппарат со сжатым воздухом (АП-2000); внешний (дополнительный) источник воздуходообеспечения, комплект изделий (стальной баллон ёмкостью 7 л с вентилем, редуктором ВР-12, шлангом удлинителем, сигнальным устройством с манометром); шланг переходник; радиостанция типа «Гранит Р-43», защитная каска.

Принцип работы. Работа комплекса заключается в полной изоляции органов дыхания и кожных покровов пользователя от окружающей среды. Воздух из баллонов дыхательного аппарата поступает под маску на вдох. Дыхание пользователя обеспечивается за счёт рабочего запаса сжатого воздуха, находящегося в баллоне. Выдыхаемый воздух поступает в подкостюмное пространство изолирующего костюма, создавая избыточное давление в нём; через имеющийся в капюшоне костюма клапан избыточного давления воздух выходит в пространство между изолирующим костюмом и теплозащитным комбинезоном и, через имеющиеся в комбинезоне неплотности, в атмосферу.

Технические характеристики комплекса СИЗ-4 приведены в таблице 1.

Оснащение персонала объектов по уничтожению ХО СИЗ, отвечающим требованиям, предъявляемым к промышленно-опасным объектам, является одним из условий эксплуатации этих объектов.

По результатам эксплуатационной носки комплекса СИЗ-4 персоналом противопожарной защиты объекта по уничтожению ХО в пос. Горный Саратовской области проведены работы по оптимизации эксплуатационных, эргономических показателей комплекса СИЗ-4. Указанные доработки комплекса СИЗ-4 были востребованы в ходе создания комплекта СИЗ-5.

Комплект СИЗ-5 – предназначен для защиты пожарных-спасателей от иприта, люизита, их смесей и фосфорорганических отравляющих веществ, опасных и вредных факторов пожара на объектах по уничтожению ХО.

В состав комплекта входят [8]: изолирующий костюм СИЗ-5 (изолирующий скафандр, химзащитный комбинезон, химзащитный капюшон, защитные носки, перчатки защитные летние БЛ-1М, перчатки трикотажные х/б, защитная каска «Труд-У», ремкомплект, комплект средств для профилактического обслуживания); дыхательный аппарат АП «Омега» с двумя металлокомпозитными баллонами ёмкостью по 6,8 л каждый; радиостанция типа «Гранит Р-43».

Принцип работы. Принцип работы комплекта СИЗ-5 заключается в полной изоляции органов дыхания и кожных покровов пользователя от окружающей среды. Воздух из баллонов дыхательного аппарата поступает под маску на вдох. Дыхание пользователя обеспечивается за счёт рабочего запаса сжатого воздуха, находящегося в баллонах дыхательного аппарата. Выдыхаемый воздух поступает в подкапюшное пространство, создавая избыточное давление в нём, избыток воздуха через клапаны сброса избыточного давления, расположенные на капюшоне изолирующего скафандра, выходит в атмосферу.

Конструкция дыхательного аппарата обеспечивает кроме автоматической подачи воздуха для дыхания пользователя поддержание избыточного давления в подмасочном пространстве.

Технические характеристики комплекта СИЗ-5 приведены в таблице 1.

Защитные материалы верха и пакеты материалов изолирующего костюма СИЗ-5 соответствуют требованиям норм пожарной безопасности.

Комплект СИЗ-5 обеспечивает возможность работы со средствами индивидуальной защиты органов дыхания и размещения средств связи, типы которых рекомендованы к применению МЧС России, а также используется с пожарно-техническим вооружением (ручной механизированный и немеханизированный инструмент, ручные пожарные стволы, пеногенераторы и т. д.); выполнения видов работ, связанных с тушением пожаров и проведением аварийно-спасательных работ, таких, как разведка, переноска тяжестей, подъём по вертикальным лестницам (в том числе имеющим ограждение диаметром 800

мм), эвакуация пострадавших, боевое развёртывание от автоцистерны, прокладка рукавной линии и т. п.

Конструкция, комплектующие и фурнитура, используемые при изготовлении изделия, позволяют пожарному при помощи ассистента надевать комплект в течение пяти минут и самостоятельно раскрывать герметичный наружный скафандр в случае возникновения аварийных ситуаций в течение не более 20 сек.

Обобщённые данные по техническим и эксплуатационным характеристикам средств индивидуальной защиты представлены в таблице 1.

Анализ данных, приведённых в таблице 1 показал, что разработанные СИЗ удовлетворяют по защитной мощности при воздействии как паров, так и капель отравляющих веществ, однако обладают отдельными недостатками в части массогабаритных характеристик и эргономических свойств. На средства защиты Л-1М, СИЗ-1, СИЗ-2, СИЗ-3 и СИЗ-5 имеются сертификаты соответствия.

Для обеспечения безопасности персонала, занятого на работах в рабочей зоне, предусматривается использование средств индивидуальной защиты типа Л-1М и СИЗ-1.

Показатели защитной мощности используемых на объектах по уничтожению химического оружия средств индивидуальной защиты Л-1М и СИЗ-1 по парам и каплям ОВ приведены в таблице 2.

Анализ данных, приведённых в таблице 2, показывает, что СИЗ обеспечат необходимый уровень защиты при многотысячном превышении нормативов ПДК воздуха рабочей зоны. При этом необходимо учесть, что персонал удаляется из рабочей зоны в случае срабатывания сигнализаторов аварийного контроля (на уровне пороговых концентраций), т.е. при наличии в воздухе рабочей зоны стократного превышения норматива ПДК.

Таким образом, для обеспечения безопасных условий труда персонала на объектах по уничтожению химического оружия разработана система средств индивидуальной защиты СИЗ-1, СИЗ-2, СИЗ-3, СИЗ-4 и СИЗ-5 и проведена доработка и усовершенствование костюма Л-1 (модификация костюм Л-1М).

Технические и эксплуатационные характеристики средств индивидуальной защиты, предназначенных для обеспечения безопасных условий труда персонала на объектах по уничтожению ХО, удовлетворяют по защитной мощности при воздействии как паров, так и капель ОВ.

## ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ

**Таблица 1**

Обобщённые технические и эксплуатационные характеристики средств индивидуальной защиты

Технические характеристики	СИЗ-1	СИЗ-2	СИЗ-3	СИЗ-4	СИЗ-5	Л-1М
<b>Время защитного действия, мин:</b> по парам ОВ, мин	не менее 60	-	не менее 60	не менее 60	не менее 60	-
КНД при концентрации 0,2-0,3 мг/м <sup>3</sup>	-	не менее 30	-	-	-	не менее 15
ФОВ при концентрации 1,5 мг/м <sup>3</sup>	-	не менее 30	-	-	-	-
по жидкой фазе ОВ, мин плотность заражения 5 г/м <sup>2</sup> и масса капли 0,5 мг	не менее 15	не менее 30	-	-	не менее 30	не менее 15
концентрация 100 г/м <sup>2</sup>	-	-	не менее 30	не менее 30	-	-
по жидкой фазе дегазаторов, мин	не менее 60	-	не менее 60	не менее 60	20-90	-
от воздействия открытого пламени в течение, с	-	-	-	12	не менее 3	-
от воздействия теплового потока, с плотностью 10-18 кВт/ м <sup>2</sup> плотностью 5 кВт/ м <sup>2</sup>	-	-	-	600-900	240	-
от воздействия газовой среды с температурой 200°С, с	-	-	-	не менее 600	не менее 420	-
от контакта с нагретой до 400°С твёрдой поверхностью, с	-	-	-	не менее 5	не менее 5	-
<b>Сохранение защитных свойств</b> после дегазации, стирки, химчистки, кратность	10	10	при отсутствии заражения жидкой фазой ОВ – до 10 смен	после воздействия жидкой фазы ОВ повторно не используется	-	10
<b>Невозгораемость</b> при воздействии открытого пламени в течение, с	5-10	-	8-10	-	-	-
Ресурс эксплуатационной носки, ч	более 40	более 40	4 (с заменой баллонов).	4 (с заменой баллонов).	-	не менее 40
<b>Продолжительность выполнения непрерывной физической нагрузки</b> средней степени тяжести при температуре воздуха плюс 21°С, мин	168	240	-	-	30	240
Время непрерывной работы нагнетателя при производительности нагнетателя 90-120 л/мин, ч	-	5	-	-	-	-
Время работы дыхательного аппарата, мин						
АП-2000 при расходе воздуха 30 л/мин	-	-	не менее 80	не менее 80	-	-
Внешний источник подачи воздуха с расходом воздуха 30 л/мин	-	-	-	не менее 70	-	-
АП «Омега»	-	-	-	-	не менее 120	-

Новизна приведённых в настоящей статье данных состоит в том, что впервые осуществлена классификация СИЗ, которые разработаны целевым образом для обеспечения безопасности персонала занятого на работах по уничтожению ХО, а также специалистов,

участвующих в ликвидации возможных аварийных ситуаций на объектах по хранению и объектах по уничтожению ХО.

Практическая значимость проведённой работы по обобщению сведений о разработанных СИЗ заключается в том, что

Таблица 2

Показатели защитной мощности средств индивидуальной защиты типа Л-1М и СИЗ-1

Тип ОВ	Нормативы ПДК воздуха рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Показатели защитной мощности Л-1М/СИЗ-1			
		значение воздействующей концентрации паров ОВ, мг/м <sup>3</sup>	кратность превышения ПДК воздуха рабочей зоны	время защитного действия по парам ОВ, мин	время защитного действия по каплям ОВ, мин, (плотность заражения 5 г/м <sup>2</sup> , масса капли 0,5 мг)
Иприт	2,0·10 <sup>-4</sup>	0,2-0,3	2000-3000	не менее 15 не менее 60	не менее 15 не менее 15
Люизит	2,0·10 <sup>-4</sup>	0,2-0,3	2000-3000	не менее 15 не менее 60	не менее 15 не менее 15
Зарин	2,0·10 <sup>-5</sup>	0,2-0,3	10000-15000	не менее 15 не менее 60	не менее 15 не менее 15
Зоман	1,0·10 <sup>-5</sup>	0,2-0,3	20000-30000	не менее 15 не менее 60	не менее 15 не менее 15
Типа ви-икс	5,0·10 <sup>-6</sup>	0,2-0,3	40000-60000	не менее 15 не менее 60	не менее 15 не менее 15

указанные СИЗ могут быть применены и на других опасных производственных объектах, на которых обращаются вещества остронаправленного действия или вещества I класса опасности. Отличительной особенностью отдельных СИЗ является возможность обеспечения безопасности персонала при ликвидации последствий проливов ОВ в присутствии опасных и вредных факторов пожара.

### Литература

1. Филатов Б.Н., Клаучек В.В., Британов Н.Г., Крылова Н.В., Доброшенко Л.А, Фролов А.С., Чарова Т.А., Дворчик Т.Я. Медико – гигиенические аспекты обеспечения безопасности персонала объектов по уничтожению химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 110 – 115.

2. Отчет по ОКР «Разработка системы средств индивидуальной защиты для персонала объектов по уничтожению химического оружия и аварийно-спасательных бригад» шифр «Конница-СЗ». ФГУП «ЭНПО «Неорганика». Электросталь. 2004.

3. Комплект СИЗ-1. Руководство по эксплуатации. ФГУП «ЭНПО «Неорганика», Электросталь.

4. Комплект защитного костюма Л-1М. Руководство по эксплуатации. ФГУП «ЭНПО «Неорганика». Электросталь.

5. Комплекс средств индивидуальной защиты СИЗ-2. Руководство по эксплуатации. ФГУП «ЭНПО «Неорганика». Электросталь.

6. Комплекс СИЗ-3. Руководство по эксплуатации. ФГУП «ЭНПО «Неорганика». Электросталь.

7. Комплекс СИЗ-4. Руководство по эксплуатации. ФГУП «ЭНПО «Неорганика». Электросталь.

8. Комплект СИЗ-5. Руководство по эксплуатации. ФГУП «ЭНПО «Неорганика». Электросталь.

**Оценка потенциального риска здоровью населения в районе влияния  
объекта по уничтожению химического оружия «Камбарка»**

© 2015. Б. Н. Филатов<sup>1</sup>, д.м.н., директор, Н. Г. Британов<sup>1</sup>, к.м.н., зав. лабораторией,  
Л. А. Доброшенко<sup>1</sup>, с.н.с., В. В. Клаучек<sup>1</sup>, д.м.н., зам. директора,  
Т. И. Колодий<sup>1</sup>, зам. зав. лабораторией, Н. В. Крылова<sup>1</sup>, к.б.н., в.н.с.,  
С. П. Лось<sup>2</sup>, к.м.н., советник,

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии  
Федерального медико-биологического агентства России,

<sup>2</sup>Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: filatov@rihtop.ru

Целью исследования являлась оценка потенциального риска здоровью населения, проживающего в районе влияния объекта по уничтожению химического оружия «Камбарка» от воздействия аэрогенных поллютантов. Расчёт риска выполнен в соответствии с действующими нормативно-правовыми документами в расчётном прямоугольнике, равномерно покрывающем территорию санитарно-защитной зоны объекта и зону защитных мероприятий. Установлено, что уровни индивидуального канцерогенного риска на всей расчётной территории квалифицируются как пренебрежимо малые и допустимые. Значения коэффициентов опасности острого воздействия для отдельных веществ и при аддитивном влиянии соответствуют приемлемому уровню. Потенциальные риски развития неканцерогенных эффектов от загрязнения атмосферного воздуха, создаваемого выбросами объекта «Камбарка», являются минимальными для неканцерогенного риска при хроническом воздействии и приемлемыми для хронического риска, рассчитанного по беспороговой модели.

The study was conducted to assess potential health risks of exposure to aerogenic pollutants in the impact area of the Kambarka chemical weapons destruction facility. All risk evaluations were carried out for a calculation rectangle uniformly covering the health protection zone and the protective action zone of the facility according to the applicable norms and regulations. Individual cancer risks throughout the assessed territory were established as negligible or permissible. The values of the acute exposure hazard coefficients for separate substances and for additive exposure corresponded to the acceptable level. The potential risks of non-carcinogenic effects of airborne releases from the Kambarka facility are minimal for the non-carcinogenic risk of chronic exposure and are acceptable for the risk of chronic exposure calculated using the no-threshold model.

**Ключевые слова:** объект уничтожения химического оружия, потенциальный риск здоровью населения, оценка риска, атмосферный воздух, приоритетные загрязнители.

**Keywords:** chemical weapons destruction facility, potential risk to human health, risk assessment, ambient air, high-priority contaminants.

**Введение**

Одной из главных задач в проблеме безопасности процесса ликвидации химического оружия в Российской Федерации является обеспечение защиты здоровья производственного персонала и населения, проживающего в районах расположения объектов по уничтожению химического оружия. Особенности расположения указанных производств характеризуются их размещением в густонаселённых регионах, в ряде случаев – в непосредственной близости от городов и населённых пунктов [1]. Негативное воздействие характерных для выбросов подобных объектов загрязнителей может осуществляться через все физические составляющие среды обитания, и, в первую

очередь, через атмосферный воздух в связи с возможностью поступления токсикантов в организм и трудностью защиты человека от аэрогенных поллютантов [2].

Основными критериями безопасного функционирования объектов по уничтожению химического оружия является отсутствие вредного влияния деятельности предприятия [1]. Одним из основных элементов программы сохранения благоприятной для человека среды обитания является методология оценки риска, рассматриваемая в качестве главного механизма разработки и принятия управленческих решений в области охраны здоровья населения, проживающего в районах расположения химически опасных объектов [3–5].

Объект по уничтожению химического оружия «Камбарка» – второй российский объект по уничтожению химического оружия, на котором процесс ликвидации отравляющих веществ кожно-нарывного действия полностью завершился в марте 2009 года. В настоящее время объект «Камбарка» продолжает функционировать в штатном режиме. Ведутся работы по подготовке предприятия к ликвидации последствий его деятельности.

**Цель исследования:** оценить потенциальный риск для здоровья населения, проживающего в районе влияния объекта по уничтожению химического оружия «Камбарка», от воздействия аэрогенных поллютантов.

### Методика

Расчёт риска выполнялся в соответствии с положениями Федеральных законов и других нормативно-правовых документов [6–10].

В работе были использованы материалы, представленные в проекте нормативов допустимых выбросов в атмосферный воздух объекта по уничтожению химического оружия «Камбарка», материалы статистической отчетности предприятия – форма № 2-ТП (воздух) за 2014 год, метеофайл по г. Камбарка Удмуртской Республики, подготовленный специалистами Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, а также значения фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, установленные Удмуртским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

При оценке потенциального риска использовали методики расчёта индексов сравнительной канцерогенной и неканцерогенной опасности содержащихся в выбросах веществ и их предварительного ранжирования [8], математического моделирования рассеивания атмосферных загрязнителей [11], расчёта осреднённых за длительный период концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [12], расчёта потенциальных (неканцерогенного и канцерогенного) рисков для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [8] и расчёта хронического риска по беспороговой модели [13].

На этапе оценки экспозиции риска применялся метод математического моделирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объекта на основе расчётной модели ОНД-86 [11] с реализацией при помощи Унифицированной программы расчёта

загрязнения атмосферы «Эколог» (версия 3) вариант «Стандарт» с учётом влияния застройки. Расчёт осреднённых за длительный период концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе осуществлялся с использованием приложения «Средние», реализующего положения «Методических указаний по расчёту осреднённых за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ». Расчёт потенциальных рисков для здоровья населения выполнялся при помощи расчётного блока «Риски», используемого совместно с программой «Эколог» (версия 3), основанного на рекомендациях «Руководства по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [8].

Оценка риска для здоровья населения осуществлялась согласно положений действующих нормативно-методических документов и с учётом научных разработок [8, 13–15].

### Результаты и их обсуждение

В настоящее время на объекте по уничтожению химического оружия «Камбарка» проводятся работы по переработке реакционных масс, образовавшихся после уничтожения остатков люизита, и дегазация внутренних поверхностей ёмкостей в хранилищах. В промзоне объекта насчитывается 50 источников выбросов, из них 48 – организованные. Источниками выделения загрязняющих веществ являются технологическое оборудование после дегазации бывших модулей детоксикации остатков люизита, печи сжигания жидких и твёрдых отходов, дизельная электростанция, котельная, ремонтно-механические мастерские и автотранспорт.

В атмосферу выбрасывается двадцать загрязняющих веществ в количестве 467,5 т/год. Наибольшие валовые объёмы выбросов в атмосферу обусловлены выбросами азота диоксида (1 ранговое место), углерод оксида (2 ранговое место) и ацетилена (3 ранговое место), которые составляют 85,3 % от общего выброса химических веществ в атмосферный воздух. На долю выбросов азота оксида, серы диоксида, водорода хлористого и угольной золы приходится 13,3 %.

При выборе приоритетных химических веществ с целью последующей количественной оценки риска здоровью населения анализировались доступные данные о параметрах токсичности и опасности веществ, величинах гигиенических нормативов и референтных концентраций.

## ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ

Предварительное ранжирование потенциальных канцерогенов (табл. 1) проводили на основании индекса сравнительной канцерогенной опасности (HRIc), рассчитанного с учётом суммарной годовой эмиссии и весового коэффициента канцерогенного эффекта, устанавливаемого в зависимости от значения фактора канцерогенного потенциала и группы канцерогенности по классификации Международного агентства по изучению рака (МАИР) [8].

Предварительное ранжирование компонентов, являющихся системными токсикантами (табл. 2), проводили по величине индекса сравнительной неканцерогенной опасности (HRI) [8].

По результатам ранжирования загрязняющих химических веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух объектом «Камбарка», были определены приоритетные вещества, подлежащие расчёту. Это вещества, имеющие

1–19 ранг по индексу сравнительной неканцерогенной опасности. Расчёт потенциального канцерогенного риска для здоровья населения проводился по всем веществам, обладающим указанным эффектом.

На этапе идентификации опасности были установлены основные органы и системы организма, на которые возможно воздействие приоритетных загрязняющих веществ при хроническом ингаляционном воздействии. Это дыхательная система, центральная нервная система, сердечно-сосудистая система, печень, почки, кровь, иммунная система, периферическая нервная система, а также возможно влияние на показатели смертности и развития населения.

Воздействие канцерогенных веществ способно привести к возникновению раковых заболеваний. Наиболее вероятным типом действия является суммация (аддитивный эффект).

**Таблица 1**

Ранжирование компонентов выбросов по степени опасности канцерогенных эффектов

CAS	Код	Название вещества	МАИР	Выброс, т/год	HRIc	Ранг
7440-38-2	325	Мышьяк, неорганические соединения в пересчете на мышьяк	1	0,409406	69599,02	1
-	328	Углерод (сажа)	1	5,146001	874,820	2
16065-83-1	228	Хрома (Cr <sup>3+</sup> ), неорганические соединения в пересчете на хром	3	0,002536	431,12	3
50-32-8	703	Бенз(а)пирен	2A	0,000054	0,918	4

**Таблица 2**

Ранжирование компонентов выбросов по степени неканцерогенной опасности

CAS	Код	Название вещества	Выброс, т/год	HRI	Ранг по HRI
7440-38-2	0325	Мышьяк, неорганические соединения в пересчете на мышьяк	0,409406	69599,02	1
10102-44-0	0301	Азота диоксид	154,875927	26328,09759	2
10102-43-9	0304	Азот оксид	32,15464	5466,2888	3
7446-09-5	0330	Сера диоксид	24,874043	4228,58731	4
7647-01-0	0316	Водород хлористый	15,791285	2684,51845	5
74-86-2	0528	Ацетилен	121,210709	2060,5821	6
-	0328	Углерод (сажа)	5,146001	874,82017	7
8008-20-6	2732	Керосин	0,129000	219,3	8
630-08-0	0337	Углерод оксид	122,850641	208,846089	9
-	3714	Угольная пыль	7,456041	126,7527	10
1310-73-2	0150	Натрий гидроксид	0,019983	33,9711	11
50-32-8	703	Бенз(а)пирен	0,000054	9,18	12
541-25-3	8005	Люизит	0,003558	6,0486	13
16065-83-1	228	Хром Cr <sup>3+</sup> , неорганические соединения в пересчете на хром	0,002536	4,3112	14
110-54-3	0403	Гексан	0,092260	1,56842	15
-	2754	Углеводороды предельные C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	0,014663	0,249271	16
-	2908	Пыль неорганическая: 70–20 % SiO <sub>2</sub>	0,000274	0,04658	17
67-56-1	1052	Метиловый спирт	0,000316	0,00054	18
67-64-1	1401	Ацетон	0,000631	0,001073	19
7647-14-5	0152	Натрий хлорид	1,2031E-08	2,045E-06	20

На этапе оценки зависимости «доза–ответ» проводилась количественная характеристика токсикологической информации. В данном исследовании использовался основной параметр для оценки канцерогенного риска воздействия канцерогенного агента с беспороговым механизмом действия – фактор канцерогенного потенциала, или фактор наклона (SF), характеризующий степень нарастания канцерогенного риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу [8].

Для оценки неканцерогенного риска использовались референтные концентрации для острых ингаляционных воздействий (ARFC) и хронического ингаляционного поступления (RFC) [8]. При отсутствии референтной концентрации в качестве её эквивалента применялись предельно допустимые концентрации (ПДК) или ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) для атмосферного воздуха [16, 17].

Характеризуя неопределённости, следует отметить, что в работе не учитывалась возможная трансформация веществ, способная привести к изменению их количества и концентрации в атмосферном воздухе, и, соответственно, потенциального воздействия на здоровье. Указанная неопределённость распространяется и на этап оценки экспозиции. Отсутствие полных сведений и характеристик потенциальных вредных эффектов химических веществ, имею-

щих гигиенические нормативы в виде ОБУВ, добавляет неопределённости. Установленные неопределённости не повлияли на полноту и достоверность оценки рисков здоровью населения и не потребовали корректировки плана проведения исследований.

На этапе проведения оценки экспозиции основной задачей являлось получение информации о том, с какими реальными дозовыми нагрузками сталкиваются различные группы населения, то есть оценка ожидаемых максимальных и осреднённых экспозиционных нагрузок.

Учитывая цель исследования, за основу сценария воздействия был принят сценарий жилой зоны, при котором рассматривается хроническое (пожизненное) воздействие. Это предполагает оценку воздействия на жителей, постоянно проживающих в рассматриваемой местности, без учёта их дополнительной экспозиции к вредным веществам в процессе трудовой деятельности.

Расчёт показателей среднегодовых концентраций (и соответственно потенциальных рисков по этим концентрациям) был проведён в расчётном прямоугольнике, который равномерно покрывает территорию санитарно-защитной зоны (СЗЗ) объекта и зону защитных мероприятий (87 км<sup>2</sup>). Из общего количества расчётных точек в заданной сетке выбрано 8 точек расчёта показателей средних

Таблица 3

Индивидуальный канцерогенный риск (CR)

Вещество	Код	CR		
		минимальный	средний	максимальный
Хром (Cr <sup>3+</sup> )	0228	*	*	*
Мышьяк	0325	*	1,16154E-05	0,000032
Сажа	0328	*	*	*
Сера диоксид	0330	*	*	*
Бенз(а)пирен	0703	*	*	*

Примечание: \* – менее 1E-07

Таблица 4

Коэффициент опасности острого воздействия (HQ)

Вещество	Код	HQ		
		минимальный	средний	максимальный
Натрия гидроксид	0150	0,000117	0,003171692	0,004839
Азота диоксид	0301	0,178318	0,214454846	0,241462
Азота оксид	0304	0,059958	0,064872154	0,068258
Соляная кислота	0316	0,000071	0,001512462	0,002561
Мышьяк	0325	0,010868	0,206017615	0,317867
Сажа	0328	*	*	*
Сера диоксид	0330	0,019904	0,024121615	0,027245
Углерод оксид	0337	0,108721	0,109283385	0,109776
Ацетилен	0528	*	*	*
Угольная зола	3714	*	*	*
Люизит	8005	*	*	*

Примечание: \* – менее 1E-07

# ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ

Таблица 5

Коэффициент опасности хронического воздействия (HQ)

Вещество	Код	HQ		
		минимальный	средний	максимальный
Натрия гидроокись	0150	0,00001	0,000326	0,000854
Хром (Cr <sup>3+</sup> )	0228	*	4,53846E-06	0,000013
Азота диоксид	0301	2,075000	2,075000	2,075000
Азота оксид	0304	0,716667	0,716667	0,716667
Соляная кислота	0316	0,000441	0,005676231	0,016325
Мышьяк	0325	0,006222	0,090509462	0,250504
Сажа	0328	0,000046	0,000561231	0,00161
Сера диоксид	0330	0,260000	0,260000	0,260000
Углерод оксид	0337	0,833333	0,833333	0,833333
Гексан	0403	*	*	*
Ацетилен	0528	0,000057	0,000985538	0,002773
Бенз(а)пирен	0703	0,000018	0,000268538	0,000869
Метиловый спирт	1052	*	*	*
Ацетон	1401	*	*	*
Керосин	2732	*	3,73846E-05	0,000094
Углеводороды предельные C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	2754	*	*	*
Пыль неорганическая: 70-20 % SiO <sub>2</sub>	2908	*	*	*
Угольная зола	3714	0,000014	0,000170154	0,000489
Люизит	8005	*	8,07692E-06	0,000021

Примечание: \* – менее 1E-07

Таблица 6

Риск хронического воздействия по беспороговой модели (Risk)

Вещество	Код	Risk		
		минимальный	средний	максимальный
Натрия гидроокись	0150	*	1,26154E-05	0,000164
Хром (Cr <sup>3+</sup> )	0228	*	*	*
Азота диоксид	0301	0,071302	0,071302	0,071302
Азота оксид	0304	0,027385	0,027385	0,027385
Соляная кислота	0316	0,000001	4,28462E-05	0,00015
Мышьяк	0325	0,000044	0,001480692	0,004928
Сажа	0328	0,000002	2,16154E-05	0,000062
Сера диоксид	0330	0,010023	0,010023	0,010023
Углерод оксид	0337	0,048383	0,048383	0,048383
Гексан	0403	*	*	*
Ацетилен	0528	0,000002	3,82308E-05	0,000107
Бенз(а)пирен	0703	*	*	*
Метиловый спирт	1052	*	*	*
Ацетон	1401	*	*	*
Керосин	2732	*	1,30769E-06	0,000004
Углеводороды предельные C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub>	2754	*	*	*
Пыль неорганическая: 70- 20 % SiO <sub>2</sub>	2908	*	*	*
Угольная зола	3714	*	*	*
Люизит	8005	*	*	*

Примечание: \* – менее 1E-07

концентраций на границе СЗЗ, расположенных по восьми румбам, 3 точки на границе жилой зоны города Камбарка – ближайших к предприятию, а также точки в населённых пунктах Кама и Балаки, входящих в зону защитных мероприятий объекта.

На основании расчёта среднегодовых концентраций был выполнен расчёт потен-

циальных рисков для здоровья населения (таблицы 3–6).

Уровни индивидуального канцерогенного риска от воздействия сажи, хрома трёхвалентного и бенз(а)пирена на селитебной территории и границе СЗЗ соответствуют первому диапазону риска (<1,0E-06 – уровень De minimis). Подобные риски не требуют

никаких дополнительных мероприятий по их снижению, и их уровни подлежат только периодическому контролю. Уровни индивидуального канцерогенного риска от воздействия мышьяка на селитебной территории и на границе СЗЗ, а также суммарный канцерогенный риск соответствуют второму диапазону риска (более  $1,0E-06$ , но менее  $1,0E-04$ ), то есть являются предельно допустимыми. Уровни загрязнения указанным веществом подлежат постоянному контролю.

Результаты ранжирования уровней неканцерогенных рисков для здоровья показали, что ведущими веществами по неканцерогенным эффектам являются азота диоксид, азота оксид, углерода оксид, сера диоксид и мышьяк. Значения коэффициентов опасности (HQ) острого воздействия, как для отдельных веществ, так и при аддитивном воздействии во всех реперных точках не превышают единицу. Такой уровень риска оценивается как приемлемый. Значения коэффициентов опасности (HQ) при хроническом воздействии и риск длительного (хронического) воздействия, рассчитанный по беспороговой модели, для большинства веществ является приемлемым на всей изучаемой территории, кроме риска развития неканцерогенных эффектов от воздействия азота диоксида. Значение HQ для азота диоксида равно 2,075, а Risk = 0,071302 во всех точках. Анализ полученных результатов показал, что повышенный уровень риска при воздействии азота диоксида вызван его высоким фоновым содержанием в атмосферном воздухе, создаваемым всеми источниками выбросов на рассматриваемой территории.

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов при комбинированном хроническом воздействии химических соединений проводилась на основе расчёта индекса опасности (таблица 7).

Полученные данные свидетельствуют, что при совместном действии химических веществ по их неканцерогенным эффектам (HI) отсутствует негативное влияние на большинство изучаемых органов и систем, так как индексы опасности находятся ниже допустимого уровня. Воздействие совокупности веществ на органы дыхания и кровь является настораживающим. При этом превалирующий вклад в величину индекса опасности вносит диоксид азота.

Учитывая неблагоприятный прогноз развития неканцерогенных эффектов, связанный с повышенным содержанием в атмосферном воздухе района расположения объекта «Камбарка» азота диоксида, представляло интерес выполнить расчёт потенциального риска для здоровья населения от выбросов предприятия без учёта фоновых концентраций (табл. 8), поскольку фоновая концентрация вредного вещества является характеристикой загрязнения атмосферы, создаваемого всеми источниками выбросов на рассматриваемой территории [18].

Анализ полученных результатов показал, что потенциальные риски развития неканцерогенных эффектов от содержания в атмосферном воздухе азота диоксида, создаваемого выбросами объекта «Камбарка», являются минимальными для неканцерогенного риска при хроническом воздействии ( $<0,1$ ) и приемлемыми для хронического риска, рассчитанного по беспороговой модели ( $<0,05$ ). При этом вклад выбросов предприятия в величину потенциальных хронических рисков составляет не более 3,8 %.

## Заключение

Таким образом, потенциальные риски развития канцерогенных эффектов для здо-

Таблица 7

Индексы опасности при одновременном хроническом поступлении химических веществ ингаляционным путем по их влиянию на органы и системы населения (HI)

Органы и системы	HI		
	минимальный	средний	максимальный
Кровь	3,625	3,625008077	3,625021
Органы дыхания	3,058443	3,149738077	3,323767
Сердечно-сосудистая система	0,839555	0,923850538	0,983858
Развитие	0,839573	0,924111	0,984706
Центральная нервная система	0,83339	0,834326615	0,836127
Смертность	0,26	0,26	0,26
Иммунная система	0,000018	0,000276615	0,00089
Периферическая нервная система	0,014771	0,123120077	0,250525
Почки	0	8,07692E-05	0,000021
Печень	0	4,54615E-05	0,00011

Сравнение потенциальных рисков здоровью населения для азота диоксида, рассчитанных с учётом и без учёта его фоновых концентраций

Вид риска здоровью населения	Расчёт с учетом фоновых концентраций			Расчёт без учета фоновых концентраций		
	минимальный	средний	максимальный	минимальный	средний	максимальный
Неканцерогенный риск при хроническом воздействии	2,075	2,075	2,075	0,001936	0,027116	0,081164
Хронический риск по беспороговой модели	0,071302	0,071302	0,071302	0,00001	0,000318	0,001167

ровья населения от загрязнения атмосферного воздуха, создаваемого выбросами объекта по уничтожению химического оружия «Камбарка», находятся на минимальном и допустимом уровнях, неканцерогенные риски являются минимальными и приемлемыми.

Наличие потенциального риска для здоровья населения, создаваемого фоновым содержанием в атмосферном воздухе азота диоксида, обуславливает необходимость организации постоянного контроля за его концентрациями, а также проведения работ по выявлению основных источников его поступления с последующим проведением плановых мероприятий по оздоровлению ситуации.

### Литература

1. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Клаучек В. В. Медико-санитарные проблемы уничтожения химического оружия // Токсикологический вестник. 2007. № 3. С. 2–6.
2. Колосков С. В., Шагеев Р. М., Аверьянов В. Н., Дунаев В. Н. Структура аэрогенной нагрузки и риск для здоровья населения в селитебной территории промышленного города // Гигиена и санитария. 2009. № 4. С. 87–89.
3. Filatov B., Kolodi T., Wolff S., zkaynak H., Larson B., Shaposhnikov D., Avaliani S., Vishnavetskaya L. Assessing chronic health risks from stationary source air emissions in Volgograd, Russia // Air Pollution in the Ural Mountains. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998. P. 231–237.
4. Петров В. И., Авалиани С. Л., Латышевская Н. И., Филатов Б. Н., Герусова Г. П., Вишневецкая Л. П., Яцышен В. В., Сукачева О. А., Митрохин О. В., Яцышена Т. Л., Давыденко Л. А., Колодий Т. И., Трацилова А. В., Першин С. Е. **Экологический риск для здоровья населения**. Волгоград: ИПК «Царицын», 2000. 84 с.
5. Рахманин Ю. А., Новиков С. М., Румянцев Г. И. Методологические аспекты оценки риска для здоровья населения при кратковременном и хроническом воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду // Гигиена и санитария. 2002. № 6. С. 5–7.
6. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ (ред. от 13.07.2015, с изм. и доп., вступившими в силу с 24.07.2015) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
7. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О техническом регулировании».
8. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду : утв. Первым зам. Министра здравоохранения РФ, Гл. гос. сан. врачом РФ 05.03.04 : введено в действие с 05.05.04.
9. Постановление Правительства РФ от 02.02.2006 № 60 (ред. от 04.09.2012) «Об утверждении Положения о проведении социально-гигиенического мониторинга».
10. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 25, Главного государственного инспектора РФ по охране природы № 03-19/24-3483 от 10.11.1997 «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации».
11. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86) : утв. Госкомгидрометом СССР 04.08.1986 № 192 : введена 01.01.1987.
12. Методические указания по расчету усредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ (Дополнение к ОНД-86). СПб.: ГГО им. А. И. Воейкова, 2005.
13. Комплексная гигиеническая оценка степени напряженности медико-экологической ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами среды обитания населения. Методические рекомендации : утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 30.07.1997 № 2510/5716-97-32.
14. Рахманин Ю. А., Сеницына О. О. Оценка риска здоровья как системообразующий фактор при изучении химического загрязнения объектов окружающей среды // Актуальные проблемы безопасности и оценки риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания: Материалы Пленарного заседания Всеросс. науч.-практ. конф. с международ. участием (Пермь, 21–23 мая 2014 г.). Режим доступа: <http://fcrisk.ru/node/781>.

15. Онищенко Г. Г., Новиков С. М., Рахманин Ю. А., Авалиани С. Л., Буштуева К. А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.

16. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест : утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 21.05.2003 : введены в действие с 25.06.2003.

17. ГН 2.1.6.2309-07. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест : утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 19.12.2007 : введены в действие с 01.03.2008.

18. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989, Гл. гос. сан. врачом СССР 16.05.1989: введено 01.07.1991.

#### IV ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ХИМИЧЕСКОЕ РАЗОРУЖЕНИЕ-2015; СЕМДЕТ-2015»

14–17 сентября 2015 г. в г. Ижевске прошла IV Всероссийская конференция «Химическое разоружение – 2015: итоги и аспекты технологических решений, экоаналитического контроля и медицинского мониторинга». Организаторами конференции выступили Удмуртский научный центр УрО РАН, Институт механики УрО РАН, Министерство строительства, архитектуры и жилищной политики Удмуртской Республики (УР), Союз научных и инженерных общественных отделений УР (СННОО), Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии (ГосНИИЭНП) г. Саратов.

Целью проведения конференции «Химическое разоружение – 2015» было обсуждение результатов и проблем химического разоружения в РФ к 2015 г., а также рассмотрение вопросов, связанных с дальнейшим функционированием объектов после выполнения Конвенциональных задач; технологических проблем, связанных с обезвреживанием реакционных масс и отходов уничтожения химического оружия (УХО). В ходе работы конференции был проведен анализ проблем экоаналитического контроля и социально-гигиенического мониторинга, реабилитации территорий в районе объектов по уничтожению химического оружия (ОУХО). Местом проведения конференции был выбран г. Ижевск, столица Удмуртской Республики, региона РФ, где размещалось больше всего отравляющих веществ (ОВ). Региональный статус конференции позволяет проводить анализ проблем УХО непосредственно в регионах проводимых работ, что является особенностью данной конференции, ранее конференции были проведены в 1996, 2000, 2009 гг.

В работе конференции приняли участие специалисты Научно-исследовательского центра Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия (ФУ по БХ и УХО) – г. Москва, специалисты в области проблем химического разоружения и обезвреживания токсичных веществ из гг. Санкт-Петербурга, Кирова, Кургана, Саратова, Пензы, Уфы и Ижевска. Приветствие участникам конференции были направлены от Председателя Правительства УР, Председателя Удмуртского научного центра РАН, Президента СННОО.

В ходе первого заседания г.н.с. ФУ по БХ и УХО, д.т.н., проф. Назаровым В.Д. был показан 20 мин фильм о реализации Программы по УХО в РФ. 2015 год является важной вехой в реализации Программы по УХО в РФ: завершается уничтожение химического оружия на четырёх российских объектах: в г. Щучье Курганской области, в пос. Марадьковский Кировской области, в г. Почеп Брянской области, пос. Леонидовка Пензенской области. В настоящий момент в РФ уничтожено почти 90% всех запасов отравляющих веществ. Проводится уничтожение снарядов с фосфорсодержащими ОВ на последнем объекте по УХО в пос. Кизнер. Работы там предполагается закончить не позднее декабря 2020 г.

Зам. министра строительства, архитектуры и жилищной политики УР Перунов А.Д. выступил с докладом о реализации Федеральной целевой программы по УХО в УР, в котором отметил, что на объекте в г. Камбарке, работы по уничтожению люизита на котором закончились в 2009 г., идет демонтаж оборудования, соприкасавшегося с ОВ и очистка загрязнённой территории, обсуждаются проекты с перепрофилированием объекта для различных народнохозяйственных нужд. В декабре 2013 г. началась эксплуатация последнего объекта по уничтожению химического оружия в РФ в пос. Кизнер. Одновременно развивается социальная сфера. В настоящий момент на объекте уничтожено около 40% имеющегося там вооружения. Руководитель регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по УР Н.Д. Смолина в докладе осветила работу по организации контроля объекта по УХО в пос. Кизнер.

В ходе второго заседания обсуждались вопросы технической безопасности организации работ по УХО. Выступили специалисты из ФУ по БХ и УХО (гг. Москва, Пенза). Обсуждались вопросы подготовки и тестирования государственных стандартных образцов для лабораторий контроля процессов УХО. Особый интерес вызвало сообщение об установке по уничтожению химических боеприпасов сложной конструкции. Устройство позволяет проводить нейтрализацию ОВ, с последующим подрывом взрывчатки и термической обработкой образующихся газообразных веществ.

Третье заседание было посвящено вопросам перепрофилирования объектов УХО после выполнения Конвенциональных задач. В ходе развернувшейся дискуссии отмечалась сложность привлечения инвесторов для реализации проектов по перепрофилированию объектов

УХО. Возможным решением может быть использование объектов для решения системных задач устойчивого развития регионов, в частности для обезвреживания опасных и токсичных веществ, образующихся на предприятиях индустриального комплекса, например, на оборонных производствах.

Четвёртое заседание было посвящено вопросам социально-гигиенического мониторинга и мониторинга здоровья населения при уничтожении химического оружия. На заседании выступили д.м.н., проф. Ижевской государственной медицинской академии Кирьянов Н.А.; д.м.н., в.н.с. ГосНИИЭМП Хотько Н.И.; главный врач Камбарской ЦРБ Семакова Ф.Ф. В докладах отмечалось, что не выявлено увеличения заболеваемости населения, проживающего на территории зоны защитных мероприятий ОУХО. Некоторые изменения статистических показателей связаны с тем, что с началом работ по УХО вопросы медицинского мониторинга стали более системными.

В ходе пятого заседания обсуждались вопросы совершенствования системы экологического мониторинга опасных промышленных объектов, проведения работ по реабилитации территорий в районе объектов УХО, а также обсуждались проблемы загрязнения окружающей среды токсичными веществами. Выступления д.т.н., проф. Вятского государственного гуманитарного университета Ашихминой Т.Я., и начальника объекта УХО в пос. Кизнер Новойдарского Ю.В. были посвящены проводимым работам по оценке воздействия объекта «Марадыковский» на природный комплекс на завершающем этапе уничтожения отравляющих веществ. В выступлении д.б.н., к.х.н., проф. Курганского государственного университета были представлены результаты экотоксикологического исследования на примере мелких грызунов при проведении биомониторинговых работ в районе расположения объекта «Щучье». Выступление зам. директора НИЦ Экологической безопасности РАН (г. Санкт-Петербург), д.г.-м.н. Тронина А.А. было посвящено вопросам затопленного в Балтийском море химического оружия и, в частности, микробиологической технологии биоремедиации почв, загрязнённых ипритом, в случае возможного загрязнения почвы при работах по обезвреживанию затопленных химических боеприпасов. Зам. директора Башкирского регионального экологического центра, д.б.н. Амирова З.К. выступила по проблемам диоксинового загрязнения при производстве химических средств защиты растений. Советник главы УР к.т.н. Кургузкин М.Г. посвятил свое выступление необходимости системных исследований фоновых показателей для оценки воздействия промышленных объектов на окружающую среду на примере объекта УХО в г. Камбарке. Шумилова М.А. с.н.с. Института механики УрО РАН, к.х.н. сделала сообщение о возможности усовершенствования подхода к организации экологического мониторинга с учётом особенностей поведения поллютантов в окружающей среде.

В ходе шестого заседания были заслушаны выступления молодых учёных и специалистов, посвящённых проблемам безопасности работ по УХО, обезвреживания загрязнённых территорий, вопросам организации мониторинга опасных промышленных объектов.

В ходе стендовой сессии конференции участникам были продемонстрированы устройства для испытания загрязнённых почв и грунтов в лабораторных и полевых условиях, исключающих загрязнение окружающей среды. Представленные на стенде устройства разработаны в Институте механики УрО РАН, они позволяют проводить исследования по санитарной обработке загрязнённой почвы, а также совершенствовать системы мониторинга опасных промышленных объектов на основе прогноза поведения опасных веществ в загрязнённом слое почвы. По разработанным устройствам и методу исследования особенностей поведения загрязняющих веществ в почвах подготовлены заявки на получение патента на изобретение.

Участникам конференции была предложена интересная культурная программа. Была организована поездка в г. Воткинск, дом-музей П.И. Чайковского. В 2015 г. исполнилось 175 лет со дня рождения великого русского композитора, в связи с этим в доме-музее П.И. Чайковского была обновлена экспозиция. Для участников конференции творческим коллективом при доме-музее был организован небольшой концерт с исполнением произведений П.И. Чайковского и народной музыки.

Приятным моментом на конференции стало награждение приказом Начальника Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия В.П. Капашина ряда членов Оргкомитета и участников конференции за большую плодотворную работу в области химического разоружения и за активное участие в подготовке конференции.

Награды были вручены Перунову А.Д., Ашихминой Т.Я., Петрову В.Г., Плотниковой О.М., Арефьевой Е.А., Шумиловой М.А.

Результаты работы конференции показали, что в ходе выполнения ФЦП «Уничтожение запасов химического оружия в РФ» накоплен значительный опыт и знания в области обезвреживания высокотоксичных веществ, разработаны новые технологии и методы уничтожения опасных химических веществ, материалов и изделий, в том числе сложной конструкции, методы контроля производственных процессов, связанных с работами с ОВ, организована система экологического контроля и мониторинга объектов по УХО, проводится мониторинг здоровья населения. Задачей на будущее является использование этого опыта для решения вопросов, связанных, с ликвидацией последствий деятельности объектов УХО.

По-прежнему актуальными являются вопросы перепрофилирования объектов УХО, обезвреживания загрязнённых территорий в ходе работ по УХО. Было решено, что следующую конференцию целесообразно провести в 2018 г., и посвятить её итогам деятельности последнего объекта УХО в РФ в пос. Кизнер, и в целом успехам РФ по химическому разоружению.

**Зав. лабораторией природоохранных и ресурсосберегающих технологий  
ИМ УрО РАН, д.х.н.**

**Петров В.Г.**

**Оргкомитет конференции**

**«Химическое разоружение – 2015; СЕМДЕТ-2015»**

**В.П. КАПАШИН.  
УМ, ЧЕСТЬ И ДОБЛЕСТЬ ЭПОХИ ХИМИЧЕСКОГО РАЗОРУЖЕНИЯ**

Имя Валерия Петровича Капашина, генерал-полковника, начальника Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия прочно вошло в историю химического разоружения.

Валерий Петрович является Лауреатом премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники в 2008 и 2013 гг., действительным членом Всемирной академии наук комплексной безопасности, действительным членом, профессором, академиком Академии проблем безопасности, обороны и правопорядка, действительным членом Российской академии естественных наук, член-корреспондентом Российской инженерной академии. Ему присвоено ряд почётных званий: Почетный профессор Ижевского ГТУ им. М.Т. Капашникова, «Почетный работник отрасли боеприпасов и спецхимии», «Почетный химик», «Почетный работник Ростехнадзора», «Почетный работник науки и техники», «Почетный работник гидрометеослужбы России», «Отличник здравоохранения». Валерий Петрович Капашин является почётным гражданином: Удмуртской Республики, Камбарского района Удмуртской Республики, Почепского района Брянской области, Краснопартизанского района Саратовской области.

Заслуг и доблести Валерия Петровича не перечислить, и всё это относится к одному человеку родом из Полтавщины. Отец Валерия Петровича, Петр Григорьевич, был сельским тружеником, патриотом отечества. Мать, Мария Александровна, была простой труженицей села. Родители и школа в совокупности оказали свое воздействие на дальнейшее становление личности Валерия Петровича. Воспитание на героических традициях и легендарном наследии своей родины, сформировало в нем желание посвятить свою жизнь защите Отечества, стать профессиональным военным.

Окончив школу в 1968 году, Валерий поступил в Саратовское военное училище химической защиты, которое с отличием закончил в 1971 году. С этого времени началась его профессиональная деятельность – служба Родине.

В 1973 году Валерий Петрович был назначен на должность командира учебной роты химической защиты. В 1978 году с должности командира отдельного батальона химической защиты Валерий Петрович поступает на учебу в Военную академию химической защиты им. С.К. Тимошенко по окончании которой майор Капашин В.П. был назначен на должность начальника штаба 28-го полка химической защиты Уральского военного округа.

В составе химических войск оперативной группы Юго-Западного направления, полк под командованием В.П.Капашина выполнял боевую задачу по ведению радиационной разведки, дезактивации местности вблизи аварийного блока Чернобыльской АЭС и в населенных пунктах, находящихся в 30-километровой зоне. За проявленное мужество и самоотверженность при выполнении задач по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС полк был награжден вымпелом Министра обороны СССР «За мужество и воинскую доблесть», а его командир – боевым орденом Красная Звезда. Как говорит Валерий Петрович: «Эта награда для меня – одна из самых дорогих».

В ноябре 1986 года после выполнения задач, поставленных командованием оперативной группы Юго-Западного направления, полк без потерь возвратился в пункт постоянной дислокации (г. Златоуст, УрВО).

В 1987 году подполковник Капашин В.П. был направлен для прохождения дальнейшей службы в Южную группу войск (ЮГВ) на должность начальника штаба – заместителя начальника химических войск группы. Группа войск находилась на передних южных рубежах армий Варшавского договора. Через два года, в сентябре 1989 года, полковник Капашин был назначен на должность начальника химических войск Западного направления.

С 1992 года Валерий Петрович возглавлял Государственный научно-исследовательский испытательный полигон, который дислоцировался на территории Туркестанского военного округа (ТуркВО).

Начальник войск РХБ защиты ВС РФ генерал-полковник С.В. Петров высоко оценил работу, проделанную полковником Капашиним В.П., при этом он отметил: «Для этого офицера нет невыполнимых задач». После завершения деятельности Государственного научно-исследовательского испытательного полигона Валерий Петрович по представлению начальника

войск РХБ защиты ВС РФ генерал-полковника С.В. Петрова был назначен на должность начальника химических войск Дальневосточного военного округа (ДВО).

Инициативность, умение расставить приоритеты в службе, способность работать с подчиненными, использовать их потенциал для решения задач, стоящих перед химическими войсками округа – вот отличительные черты в работе и службе Валерия Петровича. Его целеустремленность, желание сделать дело как можно лучше получили высокую оценку командования военного округа. За достигнутые успехи в боевой подготовке и воспитание личного состава химических войск командующим войсками военного округа генерал-полковником Чечеватовым В.С. принимается решение о представлении полковника Капашина В.П. к присвоению высшего офицерского звания «генерал-майор».

В январе 1993 года в Парже Российская Федерация подписала Конвенцию о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении. С этого временного рубежа остро встал вопрос о подготовке страны к выполнению взятых международных обязательств.

Уже в марте 1996 года Правительством Российской Федерации была утверждена федеральная целевая программа «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» (далее – Программа). Учитывая ее международную значимость, указом Президента Российской Федерации в апреле этого же года Программе присвоен статус президентской.

Генерал-майор Валерий Петрович Капашин в мае 1996 года назначается на должность начальника управления ликвидации химического оружия, одновременно ему поручено возглавить дирекцию Программы по уничтожению химического оружия.

Имея богатый опыт руководства крупными воинскими коллективами, глубокие системные знания, широкий кругозор, обладая еще и очень важным для руководителя комплексом личностных качеств, главное из которых – дар безошибочно определять в людях творческий потенциал и умение работать, порой жестко, но всегда тактично и по-человечески оберегая и укрепляя личное достоинство каждого подчиненного, умея доверять и принципиально спрашивать за порученный участок работы, Валерий Петрович приступил к формированию коллектива возглавляемого им управления ликвидации химического оружия.

Под руководством Валерия Петровича были укреплены командные кадры управления и управление стало сплоченным, работоспособным коллективом единомышленников.

Время требовало незамедлительных шагов по реализации Программы, сроки выполнения которой были весьма ограничены. Валерием Петровичем были определены первостепенные и наиболее важные задачи, к которым, прежде всего, относится выбор участков местности для строительства будущих объектов по уничтожению химического оружия. После этого госзаказчик Программы мог незамедлительно приступить к проектированию объектов по уничтожению химического оружия. Учитывая важность и значимость этой работы, Валерий Петрович лично возглавил ее. Это была чудовищная нагрузка, он ездил по огромной территории страны – Саратовской, Пензенской, Брянской, Кировской, Курганской областям и Удмуртской Республике. Нужно было преодолеть резко негативное отношение людей к самой идее создания на территории регионов объектов по уничтожению химического оружия. Он встречался с руководством, населением регионов, разъяснял, убеждал, согласовывал, развязывал тугие бюрократические узлы, организовывал и проводил общественные слушания. Именно при нем с администрациями регионов было достигнуто взаимопонимание по принципиальному вопросу – необходимости создания объектов по уничтожению химического оружия.

В результате многогранной и колоссальной проделанной работы были выбраны и согласованы с регионами варианты размещения объектов.

Параллельно Валерий Петрович организовывал и проводил конкурсный отбор технологий уничтожения отравляющих веществ, обосновывал размеры санитарно-защитных зон и зон защитных мероприятий вокруг объектов по хранению и уничтожению химического оружия. Надзорные органы разрабатывали и утверждали санитарно-гигиенические нормативы и допустимые уровни зараженности отравляющими веществами воздуха, воды и почвы для этих объектов. Проводились сравнительные испытания приборов газоаналитического контроля воздуха, на их основе были определены направления дальнейших работ по оснащению объектов приборами контроля.

Материалы этих и последующих исследований легли в основу кандидатской, а затем и докторской диссертаций Валерия Петровича.

## БИБЛИОГРАФИЯ

Объекты по уничтожению химического оружия являются особо опасными химико-технологическими производствами. Эксплуатация таких объектов требовала обеспечения их подготовленным квалифицированным персоналом. Этот вопрос Валерий Петрович поставил в качестве приоритетного. Базой для подготовки кадров для объектов по уничтожению химического оружия был определен Саратовский военный институт РХБ защиты. В целях концентрации руководства подготовкой кадров для объектов по хранению и уничтожению химического оружия в едином органе он был переподчинен начальнику управления ликвидации химического оружия.

В период 1996-1997 годов под руководством Валерия Петровича была проделана огромная работа по совершенствованию учебной и лабораторной базы военного института. Кафедры института были оснащены современным оборудованием и приборами. Профессорско-преподавательский состав пополнился специалистами высшей квалификации. Был выполнен значительный объем работ по улучшению бытовых условий жизни и учебы курсантов. Все это способствовало подготовке в стенах института высококлассных отечественных специалистов.

Необходимость оперативного решения многих вопросов химического разоружения обусловила дальнейшее совершенствование системы управления процессом уничтожения химического оружия. В этой связи Валерий Петрович в конце 1996 года назначается на должность заместителя начальника войск РХБ защиты Вооруженных Сил Российской Федерации по ликвидации химического оружия. Это позволяло ему, как непосредственному начальнику, напрямую ставить задачи по химическому разоружению различным управлениям и службам управления начальника войск РХБ защиты, оперативно решать кадровые вопросы и вопросы жизнеобеспечения арсеналов химического оружия, Саратовского военного института.

В начале 1998 года произошло знаковое событие, касающееся создания в Вооруженных Силах Российской Федерации единой системы руководства процессом безопасного хранения и уничтожения химического оружия. Арсеналы химических боеприпасов, подчиненные ГРАУ и ВВС МО РФ, в соответствии директивами Министра обороны Российской Федерации, были переданы в состав войск РХБ защиты ВС РФ. Под непосредственным руководством Валерия Петровича офицеры управления ликвидации химического оружия проделали огромную работу по организации приема передаваемых воинских частей в состав войск РХБ защиты и приведению их организационно-штатной структуры в соответствие со стоящими перед ними задачами.

Этот период времени Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации принимаются законодательные акты, регламентирующие выполнение Россией международных обязательств в области химического разоружения.

В мае 1997 года принимается Федеральный закон «Об уничтожении химического оружия», в ноябре этого же года – Федеральный закон «О ратификации Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении», впоследствии Федеральный закон «О социальной защите граждан, занятых на работах с химическим оружием».

В этот период генерал-лейтенантом Валерием Капашиним и руководимым им управлением ликвидации химического оружия была выполнена большая работа: на конкурсной основе определены проектные и строительные организации, организации по техническому оснащению объектов, разработаны и выданы технические задания на разработку проектной и технической документации на строительство объектов.

Учитывая сложную ситуацию, связанную с выполнением международной Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении, Президент Российской Федерации принимает решение о кардинальном изменении принципиальной основы химического разоружения и выводе российской программы уничтожения химического оружия из кризиса.

Во исполнение указа Президента Российской Федерации постановлением Правительства Российской Федерации функции Национального органа Российской Федерации по выполнению Конвенции были закреплены за Российским агентством по боеприпасам. Распоряжением Правительства Российской Федерации это агентство было определено государственным заказчиком Программы.

На основании указа Президента Российской Федерации была образована новая структура для решения задач по хранению и уничтожению химического оружия – Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия при Российском агентстве

по боеприпасам. Начальником Федерального управления был назначен генерал-лейтенант Капашин В.П.

Валерием Петровичем были досконально проработаны основные направления научно-технической политики для успешного выполнения федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации». В зависимости от достигаемых целевых показателей на этапах выполнения Программы реализация научно-технической политики должна была осуществляться в два этапа, отличающихся приоритетами в направлении исследований.

Основные приоритеты в научных исследованиях на первом этапе были смещены в сторону разработок технологий уничтожения химического оружия, систем промышленной и экологической безопасности, норм и правил осуществления санитарно-эпидемиологического контроля, создания специализированного технологического оборудования.

На втором этапе реализации научно-технической политики приоритеты отданы выводу объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия из эксплуатации. Научно-исследовательские работы на этом этапе были направлены: на разработку исходных данных для вывода из эксплуатации и ликвидации последствий деятельности объектов по хранению и уничтожению химического оружия; на поиск путей вовлечения в хозяйственный оборот металлического лома, солевых отходов, образующихся при термической переработке реакционных масс; на разработку методов и технологий реабилитации загрязненных территорий.

Конкретная работа по подготовке Российской Федерации, как правопреемника СССР, к выполнению обязательств по контролю за химическим оружием и уничтожением его запасов началась в 90-е годы XX века. Эти годы для Российской Федерации были исключительно тяжелыми как в экономическом, так и социально-политическом отношении. Однако, несмотря на все трудности, Правительством Российской Федерации было принято смелое и правильное решение о начале дорогостоящего, но жизненно необходимого процесса уничтожения химического оружия.

Решение такой сложной задачи, связанной с серьезными международными военно-политическими проблемами и обязательствами, было поручено профессиональному военному химику генерал-майору Валерию Петровичу Капашину. Именно на этом поприще полностью раскрылся его организаторский талант. Стиль его работы, творческое отношение к делу, беспримерная преданность долгу офицерской службы, высочайшая самоотверженность в работе, зачастую в ущерб личной жизни, прежде всего, направлены на решение задач государственной важности. Сочетая требовательность с заботой о подчиненных, Валерий Петрович никогда не прощал неисполнительности, безответственности и неорганизованности, никогда не приостанавливал задуманное, учил подчиненных видеть главное и не останавливаться на второстепенных вопросах при выполнении поставленных задач.

За почти 20-летнее руководство выполнением федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» генерал-полковником Валерием Петровичем Капашиним разработана уникальная концепция решения проблемы химического разоружения, подготовлена целая плеяда специалистов высшей квалификации, умеющих доводить до конца то, что задумал руководитель.

Гигантская работа, которую выполнил и продолжает выполнять коллектив, возглавляемый генерал-полковником Валерием Капашиним, направлена не только на решение государственной задачи в области химического разоружения, но и на очищение нашей родной земли от химической «чумы XX века» на благо будущих поколений.

В настоящее время генерал-полковник Валерий Капашин успешно руководит процессом уничтожения оставшихся запасов химического оружия в Российской Федерации. Это руководитель, который профессионально разбирается во всех вопросах, связанных с химическим разоружением. Его решения строго аргументированы, досконально проработаны и ориентированы на перспективу.

На протяжении всех этапов выполнения федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» главным ее исполнителем являлось руководимое им Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия. Уже к концу 2015 года на шести объектах завершился процесс уничтожения отравляющих веществ. В совокупности уничтожено более 91% запасов химического оружия.

## БИБЛИОГРАФИЯ

Посещая объекты по хранению и уничтожению химического оружия председатель Государственной комиссии по химическому разоружению, полномочный представитель Президента в Приволжском федеральном округе Михаил Викторович Бабич неизменно давал высокую оценку действиям специалистов Федерального управления, работающих с опаснейшими суперэкоотоксикантами. Им не раз подчеркивалась продуманная генерал-полковником Валерием Капашиним стратегия организации процесса уничтожения химического оружия. Особенностью этой стратегии является создание беспрецедентных систем безопасности и производственных мощностей, оснащенных самым современным, а в отдельных случаях уникальным технологическим оборудованием. Все это в совокупности – высокий профессионализм специалистов и надежное современное оборудование – способствует соблюдению основного принципа – не нанести при уничтожении химического оружия вреда здоровью людей и природе. При практических работах по уничтожению запасов российского химического оружия были исключены даже намеки на возникновение нештатных ситуаций.

Успехи Валерия Петровича и всего коллектива Федерального управления в выполнении в мирное время боевых задач по безопасному хранению и уничтожению химического оружия бесспорны. Он награжден за самоотверженный доблестный труд и службу Родине многочисленными орденами, медалями и почетными знаками:

ОРДЕНОМ «ЗА ЗАСЛУГИ ПЕРЕД ОТЕЧЕСТВОМ» IV СТЕПЕНИ — за заслуги в укреплении обороноспособности страны и высокие показатели в служебной деятельности, 2010 год;

ОРДЕНОМ «ЗА ВОЕННЫЕ ЗАСЛУГИ» — за особые заслуги в выполнении первого этапа федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации», 2004 год;

ОРДЕНОМ ПОЧЁТА — за высокие личные показатели в служебной деятельности, проявленные при выполнении важной государственной задачи, 2001 год;

ОРДЕНОМ КРАСНОЙ ЗВЕЗДЫ — за мужество и героизм, проявленные при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, 1986 год;

ОРДЕНОМ «ЗА СЛУЖБУ РОДИНЕ В ВООРУЖЁННЫХ СИЛАХ СССР» III СТЕПЕНИ — за поддержание высокой боевой готовности войск и освоение новой боевой техники, 1985 год;

МЕДАЛЬЮ ОРДЕНА «ЗА ЗАСЛУГИ ПЕРЕД ОТЕЧЕСТВОМ» II СТЕПЕНИ — за активное участие в ликвидации последствий землетрясения на Курильских островах и проявленные при этом стойкость и самоотверженность, 1996 год;

СЕРЕБРЯНОЙ ЗВЕЗДОЙ ОРДЕНА «МИРОТВОРЕЦ» — за выдающиеся заслуги по сохранению мира на планете, 2006 год;

ОРДЕНОМ РУССКОЙ ПРАВОСЛАВНОЙ ЦЕРКВИ «СВЯТОГО БЛАГОВЕРНОГО КНЯЗЯ ДМИТРИЯ ДОНСКОГО» III СТЕПЕНИ — во внимание к помощи по развитию духовно-нравственных основ военного служения Русской Православной Церкви, 2010 год;

ЗОЛОТЫМ ОРДЕНОМ «ЗА ЖЕРТВЕННОЕ СЛУЖЕНИЕ» ВО ИМЯ СВЯТЫХ БЛАГОВЕРНЫХ КНЯЗЕЙ БОРИСА И ГЛЕБА — в честь общественной благодарности, за верность Отечеству, веру в Великую Россию и неустанные труды на благо народа, 2010 год;

ЗВЕЗДОЙ И ЗНАКОМ лауреата международной премии Всехвального апостола Андрея Первозванного «За Веру и Верность», 2009 год;

Почётной грамотой Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, 2006 год; Почётной грамотой Правительства Российской Федерации, 2010 год;

Почётной грамотой Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации, 2005 год;

Почётной грамотой Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, 2010 год;

Дипломом лауреата и серебряным крестом национальной премии «Человек года», 2010 год;

Памятной медалью Героя энциклопедии «Лучшие люди России», 2012 год;

Отмечен Благодарностью Председателя Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, 2010 год;

более сорока медалями министерств, ведомств и общественных организаций Российской Федерации.

Региональными нагрудными знаками:

«Заслуженный строитель Удмуртской Республики», 2004 год;

«Почетный строитель Удмуртии», 2014 год;

«Заслуженный строитель Пензенской области», 2010 год;  
 Почетным знаком «Во славу земли Пензенской», 2009 год;  
 Почетным знаком «За заслуги перед Кировской областью», 2010 год;  
 Медалью ордена «За заслуги перед Пензенской областью», 2013 год.

За заслуги в обеспечении военной безопасности России и полезные труды по укреплению ее могущества ВОЗВЕДЕН В ДОСТОИНСТВО КАВАЛЕРА императорского и царского ордена Святой Анны II степени и военного ордена Святителя Николая Чудотворца I и II степени.

Профессор, доктор технических наук Валерий Петрович Капашин многие годы творчески сотрудничает с редакцией журнала «Теоретическая и прикладная экология», он активный автор высокопрофессиональных научных публикаций журнала. 19 сентября Валерию Петровичу исполнилось 65 лет. Редколлегия журнала выражает Валерию Петровичу искреннюю признательность и благодарность за многолетнюю дружбу, творческое сотрудничество и поздравляет его с юбилеем, желает ещё более достойных успехов в реализации новой федеральной целевой программы, личного счастья и богатырского здоровья.

**От редколлегии журнала – Главный редактор,  
 доктор технических наук, профессор  
 Т.Я. Ашихмина**

## Правила для авторов

К публикации принимаются статьи в соответствии с тематикой журнала, объемом (включая подписи к рисункам, таблицы, аннотацию и список литературы) до 16 машинописных страниц.

В предлагаемых для публикации научных статьях должно содержаться: обоснование актуальности, четкая постановка целей и задач исследования, методика, результаты и их обсуждение, заключение или выводы.

Заглавие должно быть кратким (8–10 значащих слов), информативным и по возможности точно отражать содержание статьи.

Статья должна иметь индекс УДК.

К статье прилагается **аннотация** на русском и английском языках (объемом 100–250 слов). К статье прилагаются на русском и английском языках **ключевые слова (до 6 слов и словосочетаний)**. В английском переводе перед текстом аннотации помещается английское название статьи: инициалы и фамилия автора в английской транскрипции, название учреждения и почтовый адрес на английском языке.

Все материалы должны быть набраны в текстовом редакторе Word книжным шрифтом (14 кегль) с одной стороны листа бумаги стандартного формата (A4). На странице рукописи должно быть не более 30 строк, отпечатанных через 1,5 интервала, в каждой строке не более 65 знаков, включая пробелы между словами. Все поля рукописи должны быть не менее 20 мм. Размер абзацного отступа – 5 знаков.

Ссылки на литературу даются цифрами в квадратных скобках по порядку упоминания в тексте. Список литературы прилагается в конце статьи. Приводятся фамилии всех авторов и полное название цитируемой работы. Следует строго соблюдать следующий порядок библиографического описания.

Для журнальных статей:

1. Кабилов Р. Р., Сагитова А. Р., Суханова Н. В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408–411.

2. Gautret P., De Wit R., Camoin G., Golibic S. Are environmental conditions recorded by the organic matrices associated with precipitated calcium carbonate in cyanobacterial microbialites? // Geobiology. 2006. V. 4. № 2. P. 93–107.

Для сборников научных трудов, материалов конференций и тезисов докладов:

1. Левин С. В., Гузев В. С., Асеева И. В., Бабьева И. П., Марфенина О. Е., Умаров М. М. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 5–46.

2. Мишарин С. И., Колесниченко А. В., Антипина А. И., Войников В. К. Влияние низких температур на синтез белков озимой ржи и пшеницы // 2-й Съезд Всерос. о-ва физиологов раст.: Тез. докл. Ч. 2. М. 1992. С. 139.

Для авторефератов диссертаций:

1. Ступникова И. В. Термостабильные белки злаков в период низкотемпературной адаптации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: СИФИБР СО РАН. 2001. 20 с.

Для монографий:

1. Гублер Е. В., Генкин А. А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л.: Медицина, 1973. 141 с.

Таблицы не должны быть громоздкими. Каждая таблица должна иметь порядковый номер и название. Табличный материал приводится в тексте. Нумерация таблиц сквозная. Не следует повторять и пересказывать в тексте статьи цифры и данные, приведенные в таблицах.

Рисунки предоставляют с приложением подрисуночных подписей для всех рисунков на отдельной странице. Рисунки снабжаются всеми необходимыми цифровыми или буквенными обозначениями, пояснениями в подписях к ним. На обороте каждого рисунка карандашом указывается его номер и фамилия авторов.

Иллюстративные материалы выполняются в программах Corel DRAW, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator. Электронный вариант каждой таблицы и рисунка записывается в отдельный файл в формате программы, в которой они были созданы. Подписи к иллюстрациям следует давать отдельным списком.

Фотоснимки (размером не менее 9x12 см) представляются с четким контрастным изображением и хорошо проработанными деталями. На обороте иллюстрации необходимо указать фамилию автора, название статьи и номер рисунка. Ксерокопии не принимаются.

Направляемая в редакцию статья должна быть подписана всеми авторами с указанием фамилии, имени и отчества (полностью) и содержать следующие данные: наименование организации, в которой выполнена работа, должность, ученая степень и звание, почтовый адрес, телефоны (рабочий и домашний) факс, адрес электронной почты автора (соавторов), отпечатанные на отдельном листе. В названиях учреждений не следует использовать сокращения.

Для публикации представляется электронный вариант (на магнитном носителе или пересылкой по электронной почте) и распечатка статьи в двух экземплярах. К статье прилагается экспертное заключение о возможности публикации материалов в открытой печати.

При несоблюдении этих требований статья не рассматривается редакцией и возвращается авторам на доработку.

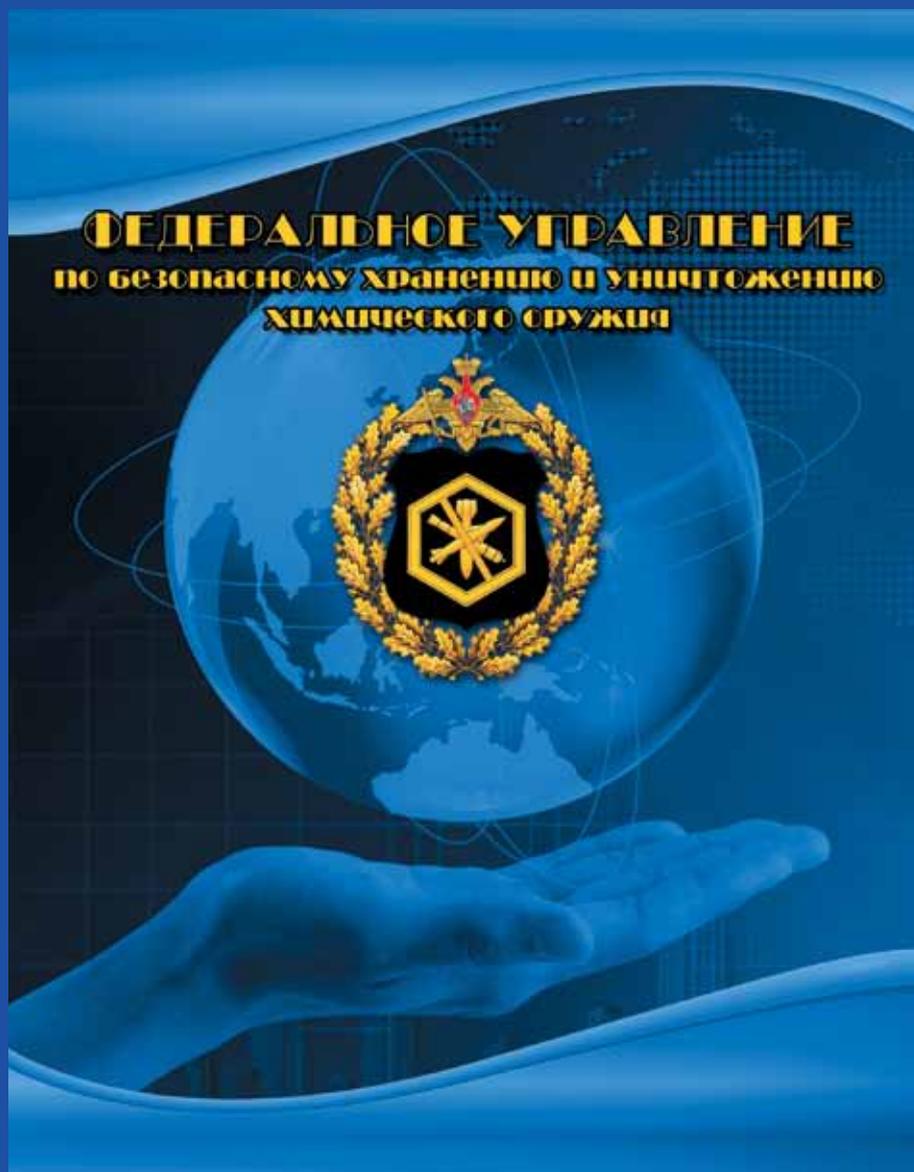
Статьи проходят обязательное рецензирование. Рецензия авторам предоставляется. Решение о принятии их для публикации в журнале принимается на заседании редколлегии.

Экземпляр журнала с опубликованной статьёй авторам не высылается и распространяется только по подписке. Гонорар не выплачивается. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается. Электронный вариант и бумажная копия статьи автору не возвращаются.

**ИЗ БИОГРАФИИ В. П. КАПАШИНА**



Индекс 82027, 48482



ISSN 1995-4301



9 771995 430004