

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕКТОВ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИИ

Д. В. Гуляев ✉

Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека Федерального медико-биологического агентства, Ленинградская область, Россия

После уничтожения химического оружия необходимо проводить работы по ликвидации последствий деятельности объектов по уничтожению химического оружия (ОУХО). Целью работы было провести гигиеническую оценку результатов ликвидационных мероприятий для возможности вовлечения части производственной инфраструктуры ОУХО в хозяйственный оборот. На четырех ОУХО выявляли места загрязнения оборудования и элементов производственной инфраструктуры продуктами деструкции фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ) и отравляющих веществ кожно-нарывного действия (ОВ КНД). Пробы анализировали методами высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-селективным детектированием, газовой хроматомасс-спектрометрией, газовой хроматографии с тандемным масс-селективным детектированием и атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. Выявлено загрязнение строительных конструкций, оборудования, коммуникаций, гидроизоляционных, теплоизоляционных и других материалов, находящихся внутри производственных зданий ОУХО, вне зависимости от их предназначения, продуктами деструкции ФОВ и ОВ КНД, оценить степень опасности которых в отсутствие гигиенических нормативов и информации о токсичности не представлялось возможным. Во всех отобранных пробах остаточное содержание отравляющих веществ находилось ниже предела обнаружения методик выполнения измерений (не обнаружено). Представлена методика поэтапного гигиенического обследования необходимой к передаче инфраструктуры ОУХО с разработкой рекомендаций для последующего безопасного использования. Сделан вывод о целесообразности обоснования гигиенических нормативов продуктов деструкции ФОВ и ОВ КНД, разработки и аттестации методик выполнения измерений.

Ключевые слова: химическое оружие, ликвидация, отравляющие вещества, продукты деструкции, гигиенический норматив, перепрофилирование

Вклад авторов: Д. В. Гуляев — дизайн исследования, сбор информации, обработка и анализ результатов; редактирование.

✉ **Для корреспонденции:** Дмитрий Владимирович Гуляев
г.п. Кузьмолловский, корп. 93, 188663, Всеволожский район, Ленинградская область; gulya.spb@mail.ru

Статья получена: 28.05.2021 **Статья принята к печати:** 13.06.2021 **Опубликована онлайн:** 25.06.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.016

HYGIENIC ASSESSMENT OF THE CHEMICAL WEAPONS DESTRUCTION FACILITIES IN THE CONTEXT OF RELIEVING THE CONSEQUENCES OF THEIR OPERATION AND SUBSEQUENT CONVERSION THEREOF

Gulyaev DV ✉

Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology FMBA, Leningrad region, Russia

After elimination of the chemical weapons, it is necessary to relieve the consequences of operation of the chemical weapons destruction facilities (CWDF). This study aimed to assess the results of such relieve activities from the hygienic point of view. The assessment allows considering partial conversion of the CWDFs' infrastructure for civil purposes. At four CWDFs, the sites of contamination of equipment and infrastructural components with degradation products of organophosphorous agents (OPA) and blister agents (BA) were identified. The technologies that enabled analysis of the samples taken were high performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry, gas chromatography–mass spectrometry, gas chromatography–tandem mass spectrometry, and atomic absorption spectroscopy with electrothermal atomization. The analysis revealed contamination of building structures, equipment, utility lines, waterproofing, heat-insulating, and other materials inside the CWDF process buildings, regardless of their purpose, with OPA and BA degradation products. In the absence of hygienic standards and information on their toxicity, it was impossible to assess the hazard thereof. In all the samples taken, the residual content of toxic substances was below the limit of detection of the measurement methods applied, i.e., none was found. The article presents a methodology for a stepwise hygienic assessment of the CWDF infrastructure to be converted and develops recommendations for its subsequent safe use. The conclusions state expediency of development of hygienic standards for the OPA and BA degradation products and development and certification of the relevant measurement procedures.

Keywords: chemical weapons, elimination, toxic substances, degradation products, hygiene standards, conversion

Author contribution: Gulyaev DV — study design, information collection, processing and analysis of the results, editing.

✉ **Correspondence should be addressed:** Dmitry V. Gulyaev
Kapitolovo, str. 93, r.p. Kuzmolovsky, Vsevolozhsky r., 188663, Leningradskaya obl.; gulya.spb@mail.ru

Received: 28.05.2021 **Accepted:** 13.06.2021 **Published online:** 25.06.2021

DOI: 10.47183/mes.2021.016

Российская Федерация (РФ) в 1992 г. взяла на себя международные обязательства по уничтожению запасов химического оружия [1]. Их выполнение было предусмотрено на законодательном уровне [2, 3].

На территории РФ размещались объекты по хранению химических боеприпасов, снаряженных фосфорорганическими отравляющими веществами (ФОВ) (вещество типа Vx, зарин, зоман) и отравляющими веществами кожно-нарывного действия (ОВ КНД) (иприт, люизит и смеси иприта с люизитом). Уничтожение химического оружия проводили на семи вновь построенных и введенных в эксплуатацию в различные сроки объектах по уничтожению химического оружия (ОУХО). Решен целый

ряд задач, направленных на обеспечение безопасности функционирования ОУХО, создана система мониторинга, которая отвечала высоким требованиям. Разработаны нормативно-методические документы по организации санитарно-эпидемиологического надзора и контроля, охране производственной и окружающей среды, здоровья персонала и населения.

В сентябре 2017 г. уничтожен последний химический боеприпас и тем самым завершен процесс уничтожения запасов химического оружия в РФ.

Одной из проблем, которые должны быть решены в рамках Федеральной целевой программы [2], является ликвидация последствий деятельности объектов по

Таблица 1. Количество отобранных проб на ОУХО

ОУХО	Всего отобрано проб	Образцы смывов	Твердые образцы фрагментов строительных конструкций и инженерной инфраструктуры
1	218	62	156
2	238	62	176
3	219	98	121
4	321	161	160
Всего	996	383	613

хранению и объектов по уничтожению химического оружия.

По мере завершения процесса уничтожения химического оружия на ОУХО проводят мероприятия, направленные на их обезвреживание и приведение в безопасное состояние, с целью создания условий для последующего вовлечения высвобождающегося имущественного комплекса в хозяйственный оборот: дегазация внутренних и наружных поверхностей, демонтаж и разделка на мерные элементы части оборудования и строительных конструкций, дегазация фрагментов, термическое обезвреживание и захоронение отходов.

Потенциальную опасность при проведении вышеуказанных работ представляет возможное загрязнение строительных конструкций, оборудования, коммуникаций, гидроизоляционных, теплоизоляционных и других материалов, находящихся внутри зданий объектов, не только уничтожаемыми отравляющими веществами (ОВ), но и токсичными продуктами их распада.

При ликвидации последствий деятельности ОУХО действует существующая на момент процесса уничтожения химического оружия система мониторинга, направленная на обеспечение безопасности людей и защиту окружающей среды от воздействия отравляющих веществ.

Работы по перепрофилированию ОУХО сопряжены с риском загрязнения производственной и окружающей среды токсичными веществами, сорбированными в строительных конструкциях и оборудовании.

В настоящее время для ОВ разработаны гигиенические регламенты безопасности (предельно допустимая концентрация, ПДК; предельно допустимый уровень, ПДУ; ориентировочно безопасный уровень воздействия, ОБУВ; ориентировочно допустимая концентрация, ОДК) и соответствующие методики измерений их содержания в производственной и окружающей среде, на промплощадке, на кожных покровах и изолирующих средствах индивидуальной защиты персонала, в отходах.

Разработана проектная документация на проведение работ по ликвидации последствий деятельности ОУХО, прошедшая санитарно-эпидемиологическую экспертизу. Однако для сохранения государственных средств, в интересах отраслей, связанных с обеспечением обороноспособности и безопасности государства (включая создание производства порохов и взрывчатых веществ, активных фармацевтических субстанций и лекарственных средств, объектов обезвреживания отходов I и II классов опасности), было принято решение о частичном сохранении технологического оборудования и элементов производственной инфраструктуры, предполагаемых к ликвидации, для вовлечения в хозяйственный оборот.

Целью работы было провести гигиеническую оценку результатов выполненных ликвидационных мероприятий для возможности вовлечения части производственной инфраструктуры ОУХО в хозяйственный оборот, разработать и опробовать методику поэтапного гигиенического обследования, необходимую для передачи инфраструктуры ОУХО, дать рекомендации для последующего безопасного использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На первом этапе проводили отбор проб смывов с поверхностей технологического оборудования и элементов производственной инфраструктуры, твердых проб фрагментов строительных конструкций и элементов производственной инфраструктуры (полы, стены, системы приточной вентиляции, энергообеспечения, освещения, отопления, пожаротушения) с целью выявления мест наибольшего загрязнения продуктами деструкции ФОВ и ОВ КНД (табл. 1; рисунок).

Для анализа остаточного содержания продуктов деструкции ФОВ и ОВ КНД использовали методы высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-селективным детектированием (ВЭЖХ-



Рис. Отбор проб на объектах по уничтожению химического оружия

Таблица 2. Количество отобранных контрольных проб на ОУХО

ОУХО	Определяемое ОБ				
	Вещество типа Vx	Зарин	Зоман	Иприт	Люизит
1	118	107	118	39	39
2	113	95	139	–	–
3	265	161	265	–	–
4	427	316	454	–	–

МС/МС), газовой хроматомасс-спектрометрией (ГХ-МС), газовой хроматографии с tandemным масс-селективным детектированием (ГХ-МС/МС) и атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (ААС–ЭТА) [4, 5].

На втором этапе отбирали контрольные пробы смывов с поверхностей технологического оборудования и элементов производственной инфраструктуры для анализа на остаточное содержание ФОВ и ОБ КНД ферментативными методами и методами газовой хроматографии.

Обработку полученных данных осуществляли с использованием программного обеспечения STATISTICA 13.3 (StatSoft Inc.; США).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенные исследования позволили выявить места наибольшего загрязнения технологического оборудования и элементов производственной инфраструктуры четырех ОУХО продуктами деструкции ФОВ и ОБ КНД.

Все обследованные помещения были загрязнены органическими соединениями, характерными для предприятий, связанных с уничтожением ФОВ: S-2-(диэтиламиноэтил)метилфосфонотиоат, метилфосфоновая кислота (МФК), изопропил-, изобутил- и пинаколилметилфосфоновой кислоты (МФК), диизобутиловый, дипинаколиловый и изобутил-пинаколиловый эфиры МФК, 2,2'-бис(диэтиламиноэтил) дисульфид.

Кроме того, на объекте № 1 в большинстве проб из помещений, в которых проводили уничтожение ОБ КНД, идентифицированы продукты их деструкции: тиодигликоль, тиодигликоль оксид, хлорвиниларсоновая кислота. В ряде проб идентифицирован сернистый иприт. Во всех исследуемых пробах обнаружен мышьяк, в том числе в концентрациях, превышающих ПДК и ПДУ.

Оценить степень опасности обнаруженных химических соединений в отсутствие гигиенических нормативов и информации о токсичности не представлялось возможным.

В местах наибольшего загрязнения технологического оборудования и элементов производственной инфраструктуры продуктами деструкции ФОВ и ОБ КНД проведен отбор и анализ контрольных проб смывов на остаточное содержание ФОВ и ОБ КНД (табл. 2).

Во всех отобранных пробах остаточное содержание ФОВ (вещество типа Vx, зарин, зоман) и ОБ КНД (иприт, люизит и смеси иприта с люизитом) находилось ниже предела обнаружения методик выполнения измерений (не обнаружено).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наличие загрязнения технологического оборудования и элементов производственной инфраструктуры четырех ОУХО продуктами деструкции ФОВ и ОБ КНД указывало на то, что в прошлом имело место загрязнение этих объектов ОБ либо реакционными массами от их переработки. Источником обнаруженных соединений в пробах смывов с поверхностей и в твердых образцах фрагментов строительных конструкций и инженерной инфраструктуры (проводка, кабель каналы, светильники) с наибольшей вероятностью были исходные ОБ, которые подверглись деструкции под действием проведения дегазационных мероприятий и различных факторов окружающей среды (влажность, температура и др.) [4].

По результатам проведенных исследований даны рекомендации о необходимости проведения дегазации с подтверждением качества ее проведения (ФОВ, ОБ КНД и продукты их деструкции) после окончания ликвидационных работ. При невозможности достижения гигиенических нормативов необходимо провести работы в полном объеме в соответствии с проектной документацией.

Для последующего безопасного использования ОУХО рекомендовано в течение трех лет проводить мониторинг динамики уровней содержания продуктов деструкции ФОВ и ОБ КНД.

Важным аспектом для выполнения рекомендаций после окончания ликвидационных работ на ОУХО и их последующего использования является разработка гигиенических нормативов и методик выполнения измерений продуктов деструкции отравляющих веществ в объектах производственной и окружающей сред, на поверхности средств индивидуальной защиты и отходах.

ВЫВОДЫ

Выявлено загрязнение строительных конструкций, оборудования, коммуникаций, гидроизоляционных, теплоизоляционных и других материалов, находящихся внутри зданий ОУХО, вне зависимости от их предназначения, продуктами деструкции ФОВ и ОБ КНД. ФОВ и ОБ КНД в смывах с технологического оборудования и элементов производственной инфраструктуры ОУХО не обнаружены. Целесообразно разработать гигиенические нормативы продуктов деструкции ФОВ и ОБ КНД: ОБУВ/ПДК в воздухе рабочей зоны, ОДУ/ПДУ на поверхностях технологического оборудования и СИЗ, ОДК/ПДК в отходах строительных конструкций, разработку и аттестацию методик выполнения измерений.

Литература

1. Конвенция о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении. Международная конференция по подписанию Конвенции. GE.92-61926. Париж, 1993; 133 с.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 марта 1996 г. № 305 «Об утверждении федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации». Собрание законодательства Российской Федерации. 1996; 14: 1448.
3. Федеральный закон от 2 мая 1997 г. № 76-ФЗ «Об уничтожении химического оружия». Собрание законодательства Российской Федерации. 2006; 52: 5498.
4. Гуляев Д. В., Комбарова М. Ю., Радилов А. С., Рембовский В. Р.,

- Савельева Е. И., Корягина Н. Л., и др. Обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности инфраструктуры объекта по уничтожению химического оружия «Почеп», планируемого к вовлечению в хозяйственный оборот. Медицина экстремальных ситуаций. 2019; 21 (4): 556–62.
5. Шмурак В. И., Кессених Е. Д., Шачнева М. Д., Густылева Л. К., Алюшина Т. И., Корягина Н. Л., и др. Определение продуктов деструкции фосфорорганических соединений методом ВЭЖХ-МС/МС. В сборнике: А. С. Радилов, В. Р. Рембовский, редакторы. Медико-биологические аспекты химической безопасности: сборник трудов III Всероссийской научной конференции молодых ученых. СПб., 2018; с. 51–52.

References

1. Konvencija o zapreshhenii razrabotki, proizvodstva, nakoplenija i primenenija himicheskogo oruzhija i o ego unichtozhenii. Mezhdunarodnaja konferencija po podpisaniyu Konvencii. GE.92-61926. Parizh, 1993; 133 s. Russian.
2. Postanovlenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 21 marta 1996 g. # 305 «Ob utverzhdenii federal'noj celevoj programmy «Unichtozhenie zasposov himicheskogo oruzhija v Rossijskoj Federacii». Sobraie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii. 1996; 14: 1448. Russian.
3. Federal'nyj zakon ot 2 maja 1997 g. # 76-FZ «Ob unichtozhenii himicheskogo oruzhija». Sobraie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii. 2006; 52: 5498. Russian.
4. Gulyaev DV, Kombarova MYu, Radilov AS, Rembovskij VR,

- Saveleva EI, Koryagina NL, i dr. Obespechenie sanitarno-epidemiologicheskoi bezopasnosti infrastruktury ob"ekta po unichtozheniju himicheskogo oruzhija «Pochep», planiruemogo k vovlecheniju v hozjajstvennyj oborot. Medicina jekstremal'nyh situacij. 2019; 21 (4): 556–62. Russian.
5. Shmurak VI, Kessenih ED, Shachneva MD, Gustyleva LK, Aljushina TI, Korjagina NL, i dr. Opredelenie produktov destrukcii fosfororganicheskikh soedinenij metodom VJeZhH-MS/MS. V sbornike: AS Radilov, VR Rembovskij, redaktory. Mediko-biologicheskie aspekty himicheskoi bezopasnosti: sbornik trudov III Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh. SPb., 2018; s. 51–52. Russian.