

М.Ю. Белый, Е.В. Глотов

**СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ: ИННОВАЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИХ СОЗДАНИЯ**

Научный руководитель: ст. преп., п-к м/с запаса С.М. Лебедев

Кафедра военной эпидемиологии и военной гигиены

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

M.Y. Bely, E.V. Glotov

**PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT: INNOVATIVE
MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR THEIR CREATION**

Tutor: senior lecturer, p-k m/s reserve S.M. Lebedev

Department of Military Epidemiology and Military Hygiene

Belarusian State Medical University, Minsk

Резюме. Проведен анализ передовых подходов к применению перспективных технологий и материалов, используемых для изготовления современных средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ), а также представлены основные тенденции в развитии СИЗ.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, нанотехнологии, биокатализаторы, интеллектуальные системы мониторинга.

Resume. An analysis of advanced approaches to the use of advanced technologies and materials used for the manufacture of modern personal protective equipment (further – PPE) is conducted, and the main trends in the development of PPE are presented.

Keywords: personal protective equipment, nanotechnology, biocatalysts, intelligent monitoring systems.

Актуальность. В современных условиях с учетом нестабильной внешней обстановки в ходе развития военного конфликта не исключается возможность использования оружия массового применения, а также возникновение крупномасштабных зон заражения в результате аварий и катастроф на предприятиях химической и биотехнической промышленности, объектах ядерной энергетики. Сохранить боеспособность и работоспособность военнослужащих в таких ситуациях возможно благодаря использованию СИЗ.

Цель: обобщить передовые подходы к использованию инновационных материалов и технологий для создания современных СИЗ.

Задачи:

1. Изучить наиболее актуальные технологии, применяемые в производстве современных СИЗ.

2. Изучить основные свойства материалов, применяемых в новых СИЗ, их влияние на эргономичность СИЗ и комфортность в использовании.

Материалы и методы. Использованы элементы метода контент-анализа для изучения научных публикаций, содержащих информацию о направлениях развития и наиболее важных конструктивных решениях в создании современных СИЗ.

Результаты и их обсуждение. СИЗ представляют специальные технические средства, применяемые для предотвращения или уменьшения воздействия вредных факторов, для защиты от отравляющих веществ (далее – ОВ), биологических агентов

(далее – БА), токсических промышленных химикатов, образующихся в результате производственных аварий или боевых действий на территории предприятий. СИЗ являются одним из основных компонентов экипировки военнослужащего.

Несмотря на то, что применение химического оружия запрещено международными конвенциями, разработка новых СИЗ остается актуальной задачей в системе медицинской защиты, поскольку не все страны в мире соблюдают законодательство в сфере разработки и хранения химического оружия, потенциально сохраняя его запасы на своей территории.

На основе результатов исследования и путем сравнительного анализа установлены перспективные технологические решения в производстве разрабатываемых общевойсковых СИЗ. Перспективным в разработке современных СИЗ является использование нанотехнологий. Применение нановолокон в составе материалов значительно повысит их сорбционную способность, а комбинация с наночастицами оксида магния, оксида титана, добавления наночастиц серебра, никеля и цинка позволит благодаря их каталитической активности улучшить защиту от ОВ и БА. Наночастицы серебра, кремния, карбоната кальция могут придать материалу свойства гидро- и олеофобности, устойчивость к горению. Однако применение нанотехнологий в изготовлении СИЗ является на данный момент лишь перспективой, поскольку необходимы дополнительные исследования, позволяющие изучить влияние наночастиц, входящих в состав СИЗ, на организм военнослужащего. Известно, что ввиду своих малых размеров наночастицы могут потенциально обладать физиологической активностью. Также требуется решение задачи по надежному закреплению наночастиц на материалах, предназначенных для создания СИЗ [1].

Наиболее эффективными для использования в СИЗ могут быть материалы, обеспечивающие не только эффективную сорбцию и удержание ОВ, но и способствующие их дегазации. В настоящее время известно множество различных материалов, механизм защитного действия которых основан на применении сорбентов, катализирующих разложение сорбированных токсичных веществ до менее токсичных дериватов. Такие материалы содержат химически активные оксиды серебра, магния, цинка, церия (до 65 % от массы сорбента) с добавлением монопероксифталата магния (до 35 % от массы сорбента) или их комплексы, дополнительно придающие материалам антимикробные свойства. Однако использование данных катализаторов ведет к удорожанию материалов, поскольку для высокой гидролитической активности химически активные вещества должны быть сильно измельчены (до 250 мк) или находиться в высоких концентрациях. Используемые катализаторы обеспечивают первичную деструкцию токсичных веществ, незначительно влияя на продукты их деструкции, представляющие опасность. Все используемые материалы для создания СИЗ, независимо от основы (активированный уголь или другие сорбенты) обладают общим существенным недостатком – десорбцией токсикантов и ограниченной сорбционной емкостью, что ограничивает их защитное действие примерно 24 часами. Для создания новых высокоэффективных средств защиты, обладающих специальными свойствами (биокаталитической и антимикробной активностью с самодегазацией) могут быть

использованы наноразмерные ферментные полиэлектролитные комплексы, катализирующие гидролиз высокотоксичных и токсичных соединений, токсинов и продуктов их деструкции, а также наноразмерные металлосодержащие частицы, обладающие антибактериальными свойствами. Указанные ферментные комплексы могут также применяться и для получения средств специальной обработки и индикации.

В ряде исследований было показано, что ферменты, в отличие от химических катализаторов, с высокой специфичностью катализируют гидролиз токсичных веществ, обеспечивая степень разложения за определенный период времени, как и в случае химических катализаторов, но при значительно меньшей концентрации в сорбентах фильтрующе-сорбирующих самодегазирующихся материалов [4]. Ряд исследователей отмечали, что наиболее рациональным является использование ферментов в иммобилизированной форме для более длительного сохранения каталитической активности и простоты их внедрения в структуру защитного материала. Так, например, в США был разработан и запатентован материал на основе полиуретановой губки, в которую включен иммобилизованный фермент органофосфатгидролаза (далее – ОФГ) и частицы активированного угля. Данный материал успешно использовался при детоксикации таких веществ как зоман, зарин, VX. Он также может быть помещен между двумя слоями из полиэстера при использовании в качестве материала для СИЗ. В последнее время разработан фермент, содержащий материал для защиты от фосфорорганических отравляющих веществ (далее – ФОВ) с улучшенными по отношению к исходному ферменту каталитическими характеристиками, позволяющий использовать его в более широком диапазоне рН и температуры, представляющий собой модификацию ОФГ – гекса гистидин-содержащий полипептид, действие которого основано на одновременной абсорбции и гидролизе ФОВ. В качестве носителя для иммобилизации этого фермента служил полиакрилат.

Следует отметить, что ведущее значение в производстве СИЗ используются новые многослойные материалы (4-5 слоев). На основе эластомеров разработан новый многофункциональный композиционный изолирующий материал, обладающий высокими эксплуатационными и защитными свойствами.

Среди новых подходов к разработке СИЗ определенный интерес представляет применение металлоорганических каркасных структур (далее – МКС) для создания СИЗ [2]. В их состав входят ионы металлов (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Fe^{3+} и Zr^{4+}) или кластеры, соединенные между собой органическими молекулами для формирования одно-, двух-, трехмерных структур, которые одновременно должны обладать пористыми свойствами. В США разработан и запатентован сорбционный фильтрующий материал на основе МКС – Zn-BTC, состоящий из ионов цинка (Zn) и 1,3,5-бензолтрикарбоксилата (BTC), который предназначен для изготовления СИЗ для военных и гражданских нужд, в частности, для защиты от оружия массового поражения. Данный материал обладает высокой пористостью, оптимизированной для адсорбции небольших молекул. Следует отметить, что на основе МКС из меди, цинка и циркония разрабатываются фильтры, которые в перспективе могут заменить угольные. Разработка МКС на основе циркония ориентирована на защиту от

отравляющих веществ нервнопаралитического действия типа G, таких как зарин, зоман, табун, циклозарин. МКС также рассматриваются для создания дегазаторов нервнопаралитических ОВ. Разрабатывается негорючий фильтрующий материал (далее – КоЗЗАТ) с использованием МКС на основе кобальта, цинка, циркония, серебра и триэтилендиамина, защищающий от ОВ и токсичных промышленных химикатов. КоЗЗАТ потенциально применим в защитной одежде, дегазаторах и датчиках. В ряде исследований МКС на основе циркония (Zr-MOFs) были показаны их удовлетворительные адсорбционные и каталитические свойства. Быстрый гидролиз как имитаторов ОВ (2-хлорэтилэтилсульфид (ХЭЭС), дизопропилфлуорофосфат (ДИФФ)), так и реальных ОВ (сернистый иприт, зоман) в водных растворах подтверждает их потенциал.

Анализ актуальных научных достижений и реализованных технических решений позволяет подчеркнуть, что современные разработки находят реальное практическое применение. Так, например, в РФ сегодня выпускаются СИЗ, разработанные с применением сорбирующих материалов, обладающих не только детоксикационными и дезинфекционными, но и дегазирующими свойствами. Данные СИЗ предназначены для многоразового использования, с целью защиты как от ФОВ, иприта, люизита и их смесей, так и от БА при повышенных и пониженных температурах окружающей среды (в диапазоне от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ соответственно), влажности от 30 % до 99 %, а также в условиях воздействия ионизирующего излучения.

В результате длительных испытаний и сравнительного анализа защитных материалов различного класса для изготовления СИЗ кожи в ВС США используется «Саратога». Это композиционный фильтрующий материал с применением широко распространенного активированного угля, закрепленного на текстильной основе ткани в виде небольших сферических гранул с очень прочной оболочкой. Из него производят средства индивидуальной защиты в вооруженных силах многих зарубежных стран, в том числе Германии и Японии.

Для защиты органов дыхания и повышения сорбционной емкости фильтрующе-поглощающей системы применяется новый подход, заключающийся в использовании активированного эластичного нетканого материала модифицированного резорцин-формальдегидным аэрогелем. Впервые выявлены закономерности процесса модификации углеродных сорбентов аэрогелем, с повышением удельной поверхности с 1000 до 1500 $\text{м}^2/\text{г}$, а объем микропор – с 0,6 до 0,9 $\text{см}^3/\text{г}$ бронереспиратор (ЗУБР), разработанный с использованием активированных углеродных волокнистых материалов УВИС-АК-Т, предназначен для обеспечения защиты органов дыхания военнослужащего от аэрозолей, газов и паров отравляющих веществ и аварийных химически опасных веществ, В работе использовался новый способ модификации активированных углеродных волокон УВИС-АК-Т углеродными наноструктурами – фуллеренами [3].

Получен модифицированный фильтрующе-сорбирующий материал УВИС-АК-Т с улучшенными сорбционными характеристиками и обеспечивающего время защитного действия не менее 120 мин.

Новые фильтрующепоглощающие элементы обеспечивают эффективную защиту от ОВ общеядовитого, удушающего, кожно-нарывного и нервно-паралитического действия, а также от ряда токсичных химикатов и БА, радиоактивной и токсичной пыли.

Выводы:

1. Для защиты от воздействия поражающих факторов ОМП продолжается создание принципиально новых СИЗ, обладающих лучшими физиолого-гигиеническими характеристиками и эксплуатационными свойствами.

2. Актуальные технологические разработки с использованием инновационных материалов обеспечат производство СИЗ нового поколения. Отмечается стремление к комплексному их улучшению: повышению уровня безопасности, обеспечению большего комфорта для пользователя и увеличению общей эффективности.

Литература

1. Перспективный облик средств индивидуальной защиты военнослужащих Сухопутных войск от поражающих факторов химического и биологического оружия / А.А. Брусенин, В.Н. Пенязь, М.А. Голышев // Вестник войск РХБ защиты. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 462-469.

2. Современные направления создания новых защитных материалов и тканей для средств индивидуальной и коллективной защиты от токсичных химикатов и клеток патогенов / В.В. Завьялов, С.В. Кужелко, Н.В. Завьялова и др. // Вестник войск РХБ защиты. – 2019. – Т. 3, №3. – С. 217-243.

3. Современные подходы к созданию средств индивидуальной защиты органов дыхания и головы военнослужащего / Ю.С. Мигачев, А.А. Камьянов, А.В. Болтыков // Вестник войск РХБ защиты. – 2024. – Т. 8, № 3 – С. 287-300.

4. Борисов В.С. Современные технологические решения в сфере средств индивидуальной защиты. / В. С. Борисов // Инновационная наука. – 2024. – №10-1. – С. 40-45.