

УДК 614.8

# Возможные перспективы создания новых видов химического оружия и меры по снижению опасности от их применения

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2016

**В. П. Малышев,**  
ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России,  
г. Москва

## Аннотация

В настоящей статье на основе открытых литературных данных рассмотрены возможные направления создания новых видов химического оружия и предложены направления деятельности, позволяющие снизить риск от их применения. Для создания новых видов химического оружия могут быть использованы достижения в области биотехнологий, позволяющие в настоящее время с высокой степенью достоверности устанавливать механизмы действия опасных веществ на жизненно важные системы организма и тем самым определять принципиально новые способы поиска высокотоксичных соединений. По мнению автора, одним из реальных направлений создания новых видов химического оружия является использование достижений нанотехнологий, которые в состоянии обеспечить наиболее эффективную доставку опасных веществ к жизненно важным системам организма. Из-за малого размера наночастицы могут изменить физико-химические свойства веществ и обеспечить переход их от твердой фазы к паровой, что позволяет существенно повысить поражающие свойства отравляющих веществ и одновременно существенно расширить круг токсичных веществ, пригодных для создания новых видов химического оружия.

**Ключевые слова:** химическое оружие, отравляющие вещества, биотехнологии, нанотехнологии, международный контроль, средства и способы защиты от химического оружия.

## Содержание

### Введение

1. История создания и применения химического оружия
2. Перспективы создания новых видов химического оружия
3. Меры по парированию угроз создания новых видов химического оружия

### Заключение

### Литература

## Введение

Создание новых видов химического оружия может быть достигнуто на основе использования высоких технологий, таких как биотехнологии и нанотехнологии. Достижения в биотехнологиях связаны в первую очередь с расшифровкой генома человека и ряда других организмов (животных, растений, бактерий, вирусов) и накоплением критического объема знаний в области исследования механизма действия физиологически активных веществ на жизненно важные системы организма. Получены серьезные результаты в исследованиях свойств и характеристики

стик высокотоксичных химических и биологически активных веществ различной природы, методов их получения, механизмов взаимодействия на молекулярном и клеточном уровнях. Как следствие этих достижений появилась реальная возможность открытия особо опасных веществ, искусственных биологических макромолекул и простейших организмов. Методы генной и белковой инженерии позволяют получать и культивировать различные белково-нуклеотидные конструкции с определенными характеристиками, а существующие методы доставки в выбранные участки организма обеспечивают заданное воздействие на молекулярном уровне на жизненно важные системы организма.

Другим направлением может стать использование успехов в развитии нанотехнологий. Достижения нанотехнологий открывают беспрецедентные возможности технологического прогресса и приводят к появлению нового поколения техники или к новым способам производства, технологическим укладам, формированию новых отраслей, способных в том числе решать задачи обеспечения оборононой безопасности. Наночастицы, позволяющие вследствие малого размера придавать твердым веществам свойства парообразных веществ, успешно используются в токсикологии, микробиологии, медицине и сельском хозяйстве. С их помощью найдены подходы к решению многих проблем медицины и здравоохранения и могут быть обеспечены наиболее эффективные способы доставки опасных веществ к жизненно важным системам организма. К сожалению, эта их способность может быть использована для создания новых видов химического оружия.

В настоящей статье проведен анализ различных способов применения химического оружия, рассмотрены возможные направления его дальнейшего развития и предложены меры по парированию угроз создания новых видов химического оружия.

## **1. История создания и применения химического оружия**

Рождение химического оружия (ХО) как средства ведения вооруженной борьбы в современном понимании следует отнести ко времени Первой мировой войны. Предпосылки к широкому применению в войне отравляющих веществ (ОВ) сложились

в результате развития химической промышленности. К середине XIX века, когда химия достигла значительного развития, масштабы и возможности производства уже известных высокотоксичных веществ, например хлора, фосгена, резко возросли. В рамках синтеза и исследований физиологически активных веществ шел активный поиск отравляющих веществ, в качестве которых использовались не только хлор, фосген и дифосген, синильная кислота и иприт, но и большое количество иных соединений раздражающего и смертельного действия.

Отцом химического оружия стал немецкий ученик Фриц Габер, который накануне Первой мировой войны занялся проблемами использования на полях сражений токсичных химических веществ, причем в максимально больших масштабах. Из всех противостоящих стран только Германия обладала промышленным потенциалом, необходимым для крупномасштабного сжижения хлористого газа, и, по мере того как война приобретала затяжной характер, этот потенциал давал ей сравнительное преимущество в качестве одного из возможных способов покончить с окопной войной и с нехваткой боеприпасов.

Именно по предложению Фрица Габера и под его непосредственным техническим руководством 22 апреля 1915 г. на Западном фронте у г. Ипр (Бельгия) была проведена газовая атака. Эта химическая атака имела стратегический успех: 180 т газа, выпущенного из 5730 баллонов под давлением по направлению ветра в сторону противника, привели к поражению 15 тыс. французских, алжирских и канадских солдат, из которых около 5 тыс. погибло на поле боя. После чего все воюющие стороны стали широко применять снаряды и бомбы, начиненные различными отравляющими веществами. В результате применения химического оружия в ходе боевых действий Первой мировой войны число погибших достигло одного миллиона человек, а около 5 миллионов получили поражения различной степени тяжести.

Весь ход боевых действий во время Первой мировой войны продемонстрировал значительное преимущество применения ОВ по сравнению с фугасными средствами того времени. Химическое оружие было применено противоборствующими сторонами многократно и в больших объемах (около

120 тыс. т). Высокая эффективность применения ОВ против незащищенной живой силы и тяжелые последствия поражения стимулировали поиски новых, более эффективных ОВ и способов их применения в странах, проводящих агрессивную политику.

В период между Первой и Второй мировыми войнами ХО продолжало усиленно накапливаться в разных странах, шел поиск все более и более токсичных веществ. Наибольшие успехи в разработке ОВ связаны с исследованиями в области *эфиров фосфорной и алкилфосфиновых кислот*. В 1938 г. в лаборатории инсектицидов Герхард Шрадер получил дизопропиловый эфир фторфосфорной кислоты, оказавшийся весьма токсичным веществом. Независимо от Г. Шрадера этот диэфир был синтезирован Б. Синдерсон (Великобритания). Развивая успех, Г. Шрадер в 1939 г. синтезировал зарин — изопропиловый эфир метилфторфосфиновой кислоты. Зарин примерно в 5 раз превосходит табун по ингаляционной токсичности. С июня 1944 г. зарин начал изготавливаться на опытной технологической установке. К концу войны запасы зарина в Германии составили 1260 т. В конце 1944 г. в Германии был получен структурный аналог зарина, названный зоманом. Зоман примерно в три раза токсичнее зарина. Зоман до конца войны находился на стадии лабораторных и технологических исследований и разработок. Всего было изготовлено около 20 т зомана.

СССР вступил в войну со следующими мощностями: по иприту порядка 50—60 тыс. т в год, по люизиту — 12 тыс. т. В военные годы (1941—1945) в СССР производились и снаряжались в боеприпасы и емкости иприт, люизит и их смеси. Кроме этого, производилось снаряжение боеприпасов синильной кислотой и фосгеном, выпускавшимися химической промышленностью как исходные вещества для органического синтеза. Эти производства существовали до 1 января 1946 г.

В ходе Второй мировой войны применение химического оружия носило ограниченный, в основном экспериментальный характер. В Африке против Эфиопии итальянская армия применила кожно-нарывное отравляющее вещество — иприт.

США и Советский Союз, захватив в качестве трофеев запасы табуна и зарина, снаряженные ими

боеприпасы, а также технологическое оборудование заводов по их изготовлению, предприняли всевозможные меры по организации собственного производства этих ОВ. Советская армия обнаружила в восточной части Германии четыре специализированных завода по выпуску ОВ и снаряжению ими химических боеприпасов. Заводы по изготовлению табуна и технологическая установка по синтезу зарина были демонтированы и перевезены в Сталинград, где и было затем организовано изготовление ХО по немецкой технологии. В Сталинград было перевезено также оборудование химического завода по производству иприта (мощность 10 800 т в год).

Послевоенный промышленный выпуск в Советском Союзе фосфорорганических отравляющих веществ нервно-паралитического действия (ФОВ) связан с деятельностью завода в Сталинграде и вновь построенного в 1970-х гг. химкомбината в г. Новочебоксарске (Чувашия). Все производства располагались на семи предприятиях в пяти городах, главным образом в бассейне Волги (табл. 1) [1].

США на положении военнопленных отправили в Эджвудский арсенал немецких специалистов во главе с Г. Шрадером. При их участии США к 1952 г. закончили подготовительные разработки и приготовления и пустили на полную мощность вновь построенный завод по изготовлению зарина в составе армейского Рокки-Маунтинского арсенала (г. Денвер, штат Колорадо).

Успех немецких химиков, открывших табун, зарин и зоман, породил резкое расширение масштабов работ по поиску новых ОВ, проводимых в США, Советском Союзе и других странах. Результат не заставил себя долго ждать. Уже в 1952 г. в Великобритании сотрудником лаборатории химических средств защиты растений доктором Ренаджи Гошем было синтезировано еще более токсичное вещество из класса фосфорилтиохолинов.

В оборонных химических лабораториях США и Великобритании за короткое время были синтезированы сотни структурных аналогов полученного Р. Гошем фосфорилтиохолина. В США был сделан выбор в пользу О-этилового Б-2 (M, M-дизопропиламино) этилового эфира метилфосфоновой кислоты, получившего шифр Vx. В апреле 1961 г. в США, в г. Нью-Порте (штат Индиана), начал работать на полную мощность завод по производству

*Перечень бывших объектов по производству химического оружия в СССР и их основные характеристики*

Таблица 1

Предприятие и город	Специализация	Год остановки/ликвидации
АО «Корунд», Дзержинск	Снаряжение боеприпасов фосгеном	1945/1949
	Снаряжение боеприпасов синильной кислотой	1946/1949
АО «Оргстекло», Дзержинск	Снаряжение боеприпасов синильной кислотой	1949/1991
АО «Сода», Березники	Иприт	1943/1959
АО «Капролактам», Дзержинск	Иприт	1957/1994
	Люизит	1946/1997
	Снаряжение боеприпасов ипритом/люизитом	1946/1992
АО «Средневолжский завод химикатов», Чапаевск	Иприт	1943/1957
	Люизит	1944/1993
	Снаряжение боеприпасов ипритом/люизитом	1946/1990
АО «Химпром», Волгоград	Иприт/люизит	1957/1957
	Снаряжение боеприпасов ипритом/люизитом	1951/1957
	Опытное производство ФОВ	1975/1975
	Зоман	1987/1993
	Снаряжение боеприпасов ФОВ	1987/1997
	DF	1987/1991
АО «Химпром», Новочебоксарск	Снаряжение боеприпасов Vx	1987/1997
	Снаряжение боеприпасов Vx и зоманом	1987/1997
	Vx	1978/1997

вещества Vx и снаряженных им боеприпасов. Годовая производительность завода в год при его пуске равнялась 5 тыс. т вещества.

В начале 1960-х гг. производство вещества Vx и соответствующих химических боеприпасов было создано и в Советском Союзе, вначале только на химическом комбинате в Волгограде, а затем и на новом заводе в г. Чебоксары на Средней Волге. Вещество Vx токсичнее зарина примерно в 10 раз при внутривенном введении, ингаляции и при накожной аппликации. Однако из-за низкой летучести это вещество может применяться в виде аэрозольной составляющей, что существенно ограничивает его поражающие свойства.

В арсеналы вооружений ведущих государств мира в конце 1960-х и начале 1970-х гг. поступило новое поколение ХО. Артиллерийские и авиацион-

ные химические боеприпасы, так же как и боевые химические части ракет ближнего и среднего радиуса действия, снаряженные нервно-паралитическими газами, позволяли наносить эффективные удары по любым целям в зоне боевых действий при любых погодных условиях и в любые сезоны года.

Высокая эффективность боевого применения химического оружия обусловила необходимость развертывания специальных исследований по поиску особо опасных химических веществ во многих странах мира. В результате развернутых работ были получены опасные химические вещества широкого спектра действия: нервно-паралитические, кожно-нарывные, удушающие, слезоточивые, психотропные. Параллельно совершенствовались средства применения отравляющих веществ с помощью авиационных бомб и артиллерийских снарядов,

а также выливных авиационных приборов. Наряду с гонкой химических вооружений с 30-х гг. прошлого столетия в ряде стран мира (Японии, США и Великобритании) развертываются работы по созданию токсинного оружия. Обнаруживаются наиболее опасные вещества биологической природы — токсины: ботулотоксин, рицин, токсин столбняка и другие. Характеристики токсичности опасных веществ и токсинов приведены на рис. 1 [2].

Из данного рисунка наглядно видно, что наиболее токсичные вещества имеют большой молекулярный вес и представляют собой твердые

вещества. Однако, несмотря на то что токсины на несколько порядков превосходят по токсичности фосфорогенные отравляющие вещества, они существенно уступают им по эффекту боевого применения из-за невозможности создания устойчивого облака порошкообразных токсинов в приземном слое атмосферы. Как свидетельствует опыт применения химического оружия, наибольший эффект достигается в случае создания крупномасштабного облака отравляющих веществ в приземном слое атмосферы на высоте 1—2 м от поверхности земли. Возможность создания крупномасштаб-

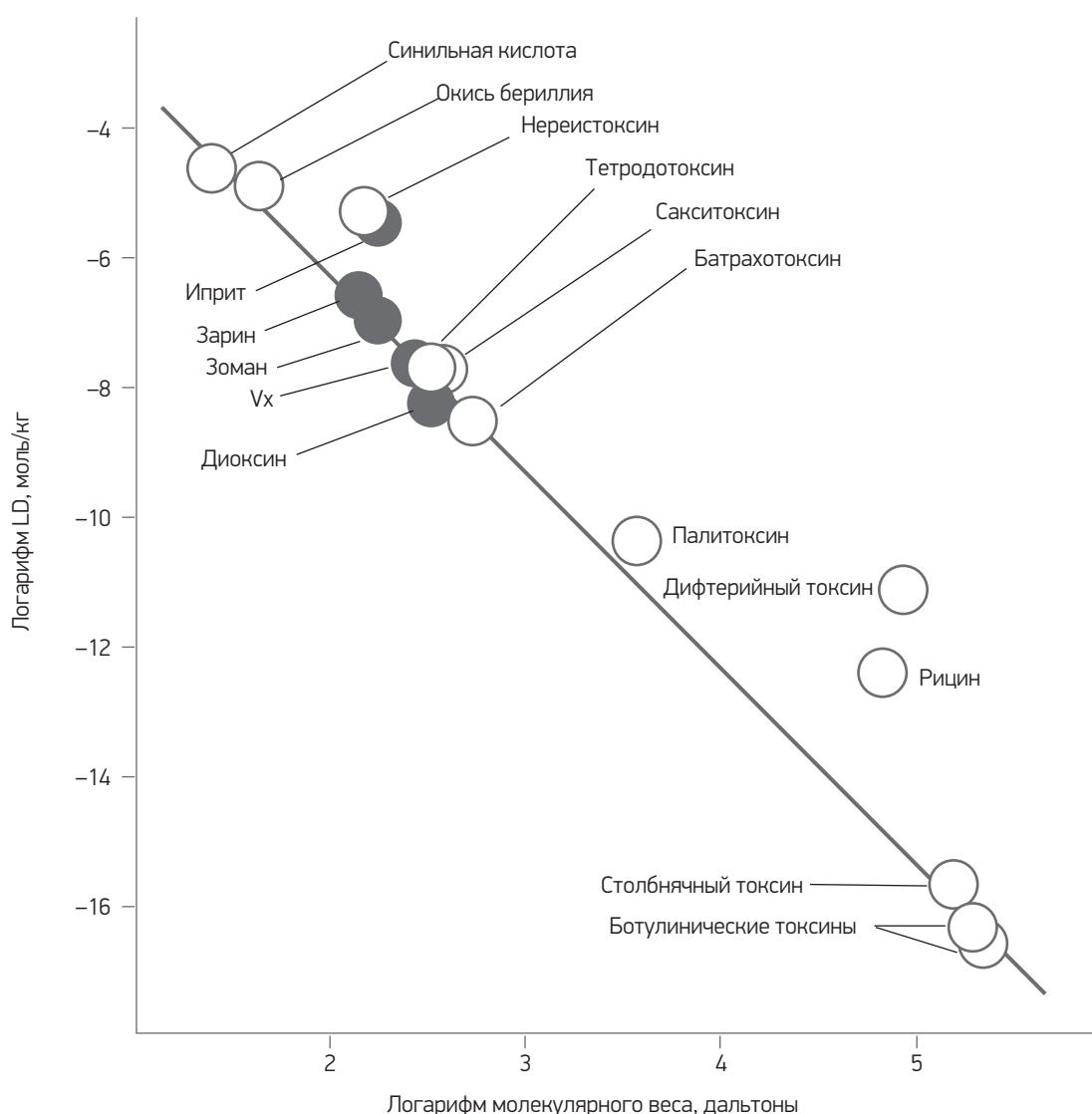


Рис. 1. Уровень токсичности наиболее опасных веществ

ного облака отравляющих веществ в приземном слое атмосферы зависит от их физико-химических свойств (желательно жидкое состояние и необходимая летучесть), метеоусловий (оптимальные условия: инверсия или изотермия, скорость ветра от 1 до 3 м в секунду) и ландшафтных особенностей местности (желательно равнинная местность, без плотной застройки и крупных лесных массивов). Предпринимаемые попытки в период с 1960 по 1990 г. создать более токсичные вещества с оптимальными физико-химическими свойствами не привели к желаемому результату. Таким образом, более токсичные ОВ так и не были получены. В настоящее время по своим физико-химическим свойствам зарин является наиболее эффективным отравляющим веществом, что подтверждается приведенной ниже статистикой его применения для поражения людей.

В то же время увеличилось число стран, располагающих химическим оружием. США в ходе боевых действий во Вьетнаме широко использовали временно выводящие из строя отравляющие вещества и средства борьбы с растительностью — фитотоксиканты. Массированное применение химического оружия, в первую очередь зарина, осуществляли вооруженные силы Ирака в ходе военного конфликта с Ираном [2]. В Сирии как правительственные войска, так и боевики террористической организации «Исламское государство» применяли химическое оружие — зарин и иприт. Благодаря участию Российской Федерации запасы химического оружия Сирийской Арабской Республики в количестве около 1000 т, в основном зарин и иприт, были уничтожены под контролем Организации по запрещению химического оружия.

Отдельные инциденты с применением отравляющих веществ, а также угрозы использования химических отравляющих веществ имели место:

- в начале 70-х гг. прошлого столетия проарабские террористические группировки планировали применить отравляющие вещества в Европе против американского посольства и складов хранения ядерного оружия;

- в 1972 г. в США была пресечена попытка националистической группы «Минитмены» с помощью синильной кислоты заразить систему кондиционирования воздуха в здании ООН в Нью-Йорке;

- в середине 70-х гг. прошлого века антикастрровские группировки в США получали от чилийской спецслужбы DINA зарин для использования против противников хунты;

- в 1978 г. палестинские террористические группировки организовали заражение ртутью партий апельсинов, поставляемых из Израиля в страны Европы. Заражение сельскохозяйственной продукции с целью нанесения экономического ущерба фирмам или государству имело место на Филиппинах и Цейлоне. С угрозами террористов и вымогателей заразить химическими веществами сельскохозяйственную продукцию или источники водоснабжения сталкивались в последние годы правительства Великобритании, Германии, Австралии и Кипра;

- в 1988 г. был отмечен случай заражения цианидами партий винограда, поставленного в Европу из Чили;

- в 1991 г. американские неонацисты пытались применить синильную кислоту в синагоге;

- в качестве одной из причин появления «синдрома войны в Персидском заливе» могло быть поражение военнослужащих США и Великобритании отравляющими веществами, которые могли применить подразделения специального назначения иракской армии. Численность военнослужащих, подвергшихся воздействию ОВ, оценивается в 25 тыс. человек;

- в 1995 г. чилийская правоэкстремистская группировка угрожала применением зарина в метро г. Сантьяго, если не будет выпущен на свободу генерал Контрeras.

Однако наиболее крупномасштабные теракты с применением отравляющих веществ были осуществлены членами религиозной секты «Аум Сенрике» в Японии. В г. Мицумото (префектура Нагано) 27 июня 1994 г. в результате применения отравляющего вещества зарин 7 человек погибли, 144 человека получили поражения различной степени тяжести. К сожалению, японской полиции в то время выявить организаторов акции не удалось. 3 марта 1995 г. неизвестным ядовитым веществом были отравлены несколько пассажиров электропоезда в городе Иокагама, что, по мнению экспертов, было репетицией последующей крупномасштабной акции в токийском метро.

20 марта 1995 г. террористы из секты «Аум Сенрике» практически одновременно, в 8 часов утра, на 5 линиях токийского метро применили отправляющее вещество зарин. В результате хорошо спланированного и исполненного террористического акта было заражено 16 подземных станций метро. Учитывая, что используемое отправляющее вещество было невысокого качества, смертельные поражения получили только 12 человек и около 4 тыс. человек получили отравления разной степени тяжести.

Государства, обладающие большими запасами ХО (к ним относятся прежде всего Россия и США), оказались перед дилеммой: хранить и продолжать его накапливать или приступить к уничтожению, поскольку и то, и другое связано с определенной опасностью.

С начала 70-х гг. прошлого столетия начались многосторонние переговоры в рамках ООН о запрещении биологического, токсинного и химического оружия. Эти переговоры закончились принятием Конвенции о запрещении применения этих видов оружия. В настоящее время в соответствии с Конвенцией о запрещении химического оружия и его уничтожении в США и России осуществляется процесс уничтожения запасов химического оружия.

При этом необходимо отметить, что химические боеприпасы России в силу их конструктивных особенностей обладали большей стойкостью при длительном хранении. В то время как американские боеприпасы из-за конструктивного просчета (использование тонкостенных алюминиевых корпусов) начали подтекать, создавая аварийные ситуации на базах хранения. Именно эти технологические причины заставили Соединенные Штаты создать к концу 80-х гг. прошлого столетия два объекта по уничтожению ХО: пилотную установку в г. Туэль и полномасштабный объект на атолле Джонсон.

Наибольшими запасами ХО в мире обладали Россия и США, объявившие их количество в связи с планами по уничтожению: соответственно 40 и 32 тыс. т. Последовательное выполнение требований «Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении» странами, обладавшими запасами химического оружия, дает определенную уверенность в том, что в ближайшие 10—15 лет химическое оружие в современных войнах и вооруженных конфликтах широкомасштабно по населению применяться

не будет. Эти страны уничтожили имеющиеся запасы химического оружия более чем на 90% и ликвидировали промышленную базу по получению отправляющих веществ и производству средств их применения.

В то же время не исключается возможность использования в ходе военных конфликтов в качестве нелетального оружия отправляющих веществ раздражающего действия, которые не попадают под запрет «Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении». Однако эти варианты применения химического оружия будут носить ограниченный характер и не потребуют создания значительных запасов средств индивидуальной защиты (СИЗ) для населения.

На взгляд многих отечественных и зарубежных специалистов, возможно несанкционированное применение отправляющих веществ и агентов в террористических целях. Особую опасность представляет применение быстродействующих фосфорорганических отправляющих веществ в замкнутом объеме помещений с приточно-вытяжной вентиляцией на станциях метрополитена и в крупных торговых центрах. Большие скорости распространения воздушных потоков с отправляющими веществами в местах скопления больших масс людей могут привести к колossalному числу жертв.

## 2. Перспективы создания новых видов химического оружия

Для создания новых видов химического оружия могут быть использованы достижения в области биотехнологий, позволяющие в настоящее время с высокой степенью достоверности устанавливать механизмы действия опасных веществ на жизненно важные системы организма и тем самым определять принципиально новые способы получения высокотоксичных соединений. В последние годы в области биотехнологий уже удалось разработать методики получения обширного спектра физиологически активных белков, влияющих на болевую чувствительность и психосоматические реакции млекопитающих. Исследования таких биорегуляторов находятся на различных стадиях, вплоть до клинических испытаний на человеке [8].

Согласно имеющимся данным в организме человека используется в настоящее время 417 мишней

(как правило, белков) для современной лекарственной терапии. Эти мишени могут быть использованы для воздействия токсичных веществ. Из всех известных болезней, учитывая тяжесть их течения и широту распространения, пока только около 100 могут считаться достаточно серьезными. Предполагается, что наиболее распространенные болезни — сердечные, астма, остеопороз, рак, диабет и гипертензия — определяются нарушениями процессов, управляемых всего 5—10 генами [5]. Однако исследования генома показывают, что как минимум 1000 генов из предполагаемых 100 тыс. могут быть непосредственно связаны с заболеваниями и при мутациях могут быть как фармацевтическими мишенями, так и уязвимыми точками при действии «генетического» оружия [4].

Достижения в области биотехнологий, обусловленные расшифровкой генома человека и других живых организмов, позволяют в настоящее время с высокой степенью достоверности устанавливать механизмы действия опасных веществ и материалов на жизненно важные системы организма и тем самым определять принципиально новые направления создания средств медико-биологической защиты [3].

Развитие методов генной инженерии позволяет получить белковые и другие вещества, в том числе высокотоксичные соединения с заранее заданными свойствами. Генная инженерия позволяет также создавать копии ДНК — на этом принципе строятся все эксперименты по клонированию, вызывающие наибольшие споры и неприятие со стороны общественности и церкви. Особым видом генного оружия является так называемое этническое оружие — оружие с избирательным генетическим фактором. Оно рассчитано на поражение прежде всего определенных этнических и расовых групп населения. Возможность разработки и последующего применения такого оружия исходит из генетических различий разных рас и этнических групп людей [7].

Анализ деятельности федеральных агентств США по развитию способов и средств биозащиты показывает резкий рост объемов НИОКР, при этом в открытой печати не приводится никаких сведений об этих программах. Огромная программа в США по защите от терроризма, использующего оружие массового поражения (прежде всего биологическое), предусматривает максимально широкое

использование генной инженерии и других достижений биохимической науки как для создания эффективных средств защиты и лечения, так и новых видов токсинного оружия.

Современный уровень развития биотехнологий, характеризующийся доступностью масштабного производства биомассы микроорганизмов и токсических продуктов их жизнедеятельности, определяет возможность несанкционированной наработки токсинов в количествах, достаточных для их использования в военных целях. Ничтожно малые инфицирующие дозы, отсутствие высокочувствительных и специфических методов и средств экспресс-индикации микроорганизмов в пробах из окружающей среды, недостаточная эффективность средств общей и экстренной профилактики и патогенетического лечения определяют потенциальную угрозу использования поражающих агентов в ходе вооруженной борьбы [9].

Поэтому развитие генной инженерии и биотехнологий является обязательным стратегическим приоритетом любой страны, стремящейся обеспечить для себя безопасное и благополучное будущее [10].

Использование достижений нанотехнологий — биочипов и биологических сенсоров — позволит обеспечить доставку опасных веществ и материалов к жизненно важным системам организма. Наночастицы и наноматериалы обладают комплексом физических, химических свойств и биологическим действием (в том числе токсическим), которые часто радикально отличаются от свойств этого же вещества в форме сплошных фаз или макроскопических дисперсий (табл. 2) [12].

В передовых странах Запада деятельность, связанная с определением уровня безопасности нанотехнологий и наноматериалов для животных, человека и окружающей среды, интенсивно развивается. Так, в 2000 г. в США сформирована Национальная нанотехнологическая инициатива, координирующая работу 26 федеральных агентств. Это межведомственная программа для оценки опасных для здоровья людей химических агентов по результатам современных токсикологических тестов. В 2008 г. NNI получила бюджет в размере 1,44 млрд долл., что более чем в 3 раза превосходит расходы стартового (в 2001 г. 464 млн долл.) и на 13% выше бюджета 2007 г.

*Свойства наноматериалов**Таблица 2*

<b>Физико-химические особенности поведения веществ в наноразмерном состоянии</b>	<b>Изменения физико-химических свойств и биологического (в т. ч. токсического) действия</b>
Увеличение химического потенциала веществ на межфазной границе большой кривизны	Изменение топологии связи атомов на поверхности приводит к изменению их химических потенциалов, изменению растворимости, реакционной и каталитической способности наночастиц и их компонентов
Высокая удельная поверхность наноматериалов (в расчете на единицу массы)	Увеличение адсорбционной емкости, химической реакционной способности и каталитических свойств может приводить к увеличению продукции свободных радикалов и активных форм кислорода и далее к повреждению биологических структур (липиды, белки, нуклеиновые кислоты, в частности ДНК)
Небольшие размеры и разнообразие форм наночастиц	Возможно связывание с нуклеиновыми кислотами (вызывая образование аддуктов ДНК), белками, встраивание в мембранны, проникновение в клеточные органеллы и, как результат, изменение функции биоструктур. Процессы переноса наночастиц в окружающей среде с воздушными и водными потоками, их накопления в почве, донных отложениях могут также значительно отличаться от поведения частиц веществ более крупного размера
Высокая способность к аккумуляции	Возможно, что из-за малого размера наночастицы могут не распознаваться защитными системами организма, не подвергаться биотрансформации и не выводиться из организма, что ведет к накоплению наноматериалов в растительных, животных организмах, а также в микроорганизмах, к передаче по пищевой цепи и в результате — к увеличению их поступления в организм человека

В зоне ответственности Управления по контролю за продуктами и лекарствами США лежит обеспечение безопасности, эффективности и надежности лекарств, медицинских приборов, биотехнологических продуктов, тканевых продуктов, вакцин, косметики и лекарственных препаратов, созданных для человека и животных с использованием нанотехнологий. В 2006 г. образована комиссия FDA по нанотехнологиям. Пока FDA не предъявляет дополнительных требований по безопасности нанотехнологических продуктов, поскольку не установлен их статус и отсутствует перечень данных, предоставляемых производителями, то есть оценка новинок происходит аналогично обычным препаратам. FDA заявило, что с учетом скорости развития и огромных потенциальных возможностей нанотехнологий в фармацевтической сфере законодательная база их регулирования должна быть создана в максимально сжатые сроки. Нанотехнологии в фармацевтике используются для следующих целей [6]:

- биологический скрининг, то есть поиск активных молекул (1—10 нм), взаимодействующих с биомишеньем (белок или система белков размером до 100 нм);
- изучение механизма действия (поиск биомишени и выявление механизма взаимодействия с ней активной молекулы);

- компьютерный дизайн потенциально активных соединений путем расчета энергий взаимодействия молекул-кандидатов и биомишени (белка) на расстоянии нескольких нанометров;

- целенаправленный контроль и модификация формы, размера, взаимодействия и интеграции составляющих наномасштабных элементов (лиганд-биомишен, около 1—100 нм), что приводит к улучшению либо появлению дополнительных эксплуатационных и/или потребительских характеристик и свойств получаемых продуктов (повышение эффективности, биодоступности, уменьшение токсичности и побочных эффектов получаемых инновационных лекарственных препаратов);

- производство наноразмерных готовых лекарственных форм (липосомальные формы, биодеградируемые полимеры, наночастицы для направленного транспорта и т. д.).

В качестве переносчиков лекарственных веществ используются наночастицы, приведенные на рис. 2 [10].

Уже давно известны различные однокомпонентные и многокомпонентные липосомы, образующиеся в растворах липидов. Интерес для практических целей могут представлять липосомы размером не более 20—50 нм, которые и используются как средства доставки лекарственного средства к био-

логической мишени. Кроме того, сама природа заранее подготовила большой набор нанопереносчиков, например вирусов. Обработанные определенным образом адено-вирусы могут быть эффективно использованы для вакцинации через кожу. К искусственным биогенным наночастицам, способным к направленной доставке, помимо липосом относят также липидные нанотрубки, наночастицы и наноэмульсии липидного происхождения, некоторые циклические пептиды, хитозаны, наночастицы из нуклеиновых кислот.

Наносфера и нанокапсулы относятся к семейству полимерных наноструктур. Если наносфера являются цельными матрицами, на полимерной поверхности которых распределяется активное вещество, то в нанокапсулах полимерная оболочка образует полость, наполненную жидкостью. Вследствие этого активное вещество выделяется в организм по различным механизмам — из наносфер высвобождение носит экспоненциальный характер, а из нанокапсул происходит с постоянной скоростью в течение длительного времени. Полимерные наночастицы можно получить из естественных либо синтетических полимеров, каковыми являются полисахариды, полимолочная и полигликолевая кислоты, полилактиды, полиакрилаты, акрилполимеры, полиэтиленгликоль (ПЭГ) и его аналоги и др. Полимерные материалы характеризуются набором ценных свойств для лекарственного транспорта, такими как биосовместимость, способность к биодеградации, функциональная совместимость.

Особый интерес вызывают дендримеры. Они представляют собой новый тип полимеров, имеющих не привычное линейное, а ветвящееся строение. Первый образец был получен еще в 50-е годы, а основные методы их синтеза разработаны в 80-е годы прошлого столетия. Термин «дендримеры» появился раньше, чем термин «нанотехнология», и первое время между собой они не ассоциировались. Однако в последнее время дендримеры все чаще упоминаются именно в контексте их нанотехнологических и наномедицинских применений. Дендримеры являются уникальным классом полимеров, поскольку их размер и форма могут быть очень точно заданы при химическом синтезе, что крайне важно для нанопереносчиков. Дендримеры получают из мономеров, проводя последовательные

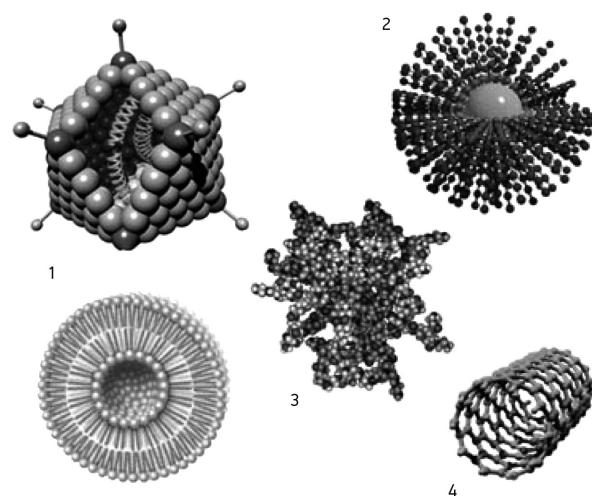


Рис. 2. Наночастицы, используемые для доставки лекарств:

1 — липосома и адено-вирус; 2 — полимерная наноструктура; 3 — дендример; 4 — углеродная нанотрубка

конвергентную и дивергентную полимеризации (в том числе используя методы пептидного синтеза), задавая таким способом характер ветвления. Типичными мономерами, используемыми в синтезе, служат полиамидаамин и аминокислота лизин. Целевые молекулы связываются с дендримерами либо путем образования комплексов с их поверхностью, либо встраиваясь глубоко между их отдельными цепями. Кроме того, на поверхности дендримеров можно стереоспецифически расположить необходимые функциональные группы, которые с максимальным эффектом будут взаимодействовать с вирусами и клетками. Примером создания активного вещества на основе дендримера является препарат Vivigel — гель, способный защитить от ВИЧ-инфекции.

Среди углеродных наночастиц, образованных только атомами углерода, наиболее широко распространены фуллерены и нанотрубки, которые можно получить с помощью разнообразных химических или физико-химических методов. Например, в промышленных масштабах фуллерены получают термическим распылением углеродсодержащей сажи в атмосфере инертного газа, при пониженном давлении, в присутствии катализатора. Фуллерены, по мнению

экспертов, могут стать основой не только для систем доставки, но и для нового класса лекарственных средств. Главная особенность — их каркасная форма: молекулы выглядят как замкнутые, полые внутри оболочки. Самая знаменитая из углеродных каркасных структур — это фуллерен  $C_{60}$ , абсолютно неожиданное открытие которого в 1985 г. вызвало целый бум исследований в этой области (Нобелевская премия по химии за 1996 г. была присуждена именно первооткрывателям фуллеренов). После разработки методики получения фуллеренов в макрочислах было обнаружено множество других, более легких либо более тяжелых фуллеренов: начиная от  $C_{20}$  и до  $C_{70}, C_{82}, C_{96}$  и выше. На основе фуллеренов разрабатываются средства доставки препаратов для лечения ВИЧ-инфицированных пациентов и онкологических больных.

В 1991 г. были обнаружены длинные, цилиндрические углеродные образования, получившие названия **нанотрубок** [11]. Они характеризуются разнообразием форм: большие и маленькие, однослойные и многослойные, прямые и спиральные; уникальной прочностью; демонстрируют целый спектр самых неожиданных электрических, магнитных, оптических свойств. Вообще-то нанотрубки можно использовать как микроскопические контейнеры для транспорта многих химически или биологически активных веществ: белков, ядовитых веществ, компонентов топлива и даже расплавленных металлов. Для нужд медицины нанотрубки обладают важным повышенным сродством к липидным структурам, они способны образовывать стабильные комплексы с пептидами и ДНК-олигонуклеотидами и даже инкапсулировать эти молекулы. Совокупность указанных свойств обуславливает их применение в виде эффективных систем доставки вакцин и генетического материала.

К **неорганическим наночастицам**, одному из важнейших классов нанопереносчиков, относятся соединения оксида кремния, а также различных металлов (золото, серебро, платина). Часто такая наночастица имеет кремниевое ядро и внешнюю оболочку, сформированную атомами металла. Использование металлов позволяет создавать переносчики, обладающие рядом уникальных свойств. Так, их активность (и в частности высвобождение терапевтического агента) может быть модулиро-

вана термическим воздействием (инфракрасное излучение), а также изменением магнитного поля. В случае гетерогенных твердофазных композитов, например наночастиц металла на поверхности полистого носителя, вследствие их взаимодействия появляются новые свойства.

Наномедицина поднимает целый пласт социальных вопросов. По мнению экспертов группы по этике в науке и новых технологиях Европейской комиссии, при использовании наномедицины вопрос согласия пациента (врача) на основе полной информации очень сложен. Реально дать информацию о последствиях и оценке рисков в быстроразвивающейся области исследований на фоне многих неизвестных факторов чрезвычайно сложно.

Несмотря на огромный потенциал наномедицины и значительное финансирование, исследования этических, юридических и социальных значений применения наномедицины невелики. Как и с нанотехнологией вообще, есть опасность использования достижений наномедицины для преступных целей, если исследование этических, юридических и социальных аспектов критически отстанет от научного развития. Нехватка знаний о том, как наночастицы будут использоваться для регулирования жизненно важных процессов в человеческом организме, доставляет особое беспокойство. В недавней статье в *Medical Journal of Australia* говорится, что правила безопасности для нанопрепаратов могут потребовать уникальные оценки риска, учитывая новизну и разнообразие продуктов, высокую подвижность и реакционную способность проектируемых наночастиц. Обнаружено, что наночастицы полиамидоаминдендримеров (PAMAMs), используемые как агенты доставки лекарств, вызывают клеточные повреждения в тканях легких, результаты опубликованы в журнале *Journal of Molecular Cell Biology*. В серии экспериментов, проведенных в Китайской академии медицинских наук над мышами, обнаружено, что наночастицы PAMAMs запускают программу «клеточной смерти», известную как аутофагия. Руководители проекта сразу же призвали научное сообщество обратить особое внимание на безопасность использования нанотехнологий в медицине [12].

Наиболее широко используемым как в чистом виде, так и в составе наноматериалов является оксид титана ( $TiO_2$ ). Токсикологические исследова-

ния ультратонких (20 нм) частиц  $TiO_2$  при ингаляционном введении крысам показали, что частицы способны накапливаться в лимфоидных тканях, обладают повреждающим действием по отношению к ДНК лимфоцитов и клеток мозга. Основным механизмом токсического действия наночастиц  $TiO_2$  оказалась индукция активных форм кислорода. Сильными токсическими свойствами обладают наночастицы алюминия, которые способны подавлять синтез м-РНК, вызывать пролиферацию клеток, индуцировать проатерогенное воспаление, нарушение функций митохондрий.

Эксперты указывают, что **область нанотехнологий могут стать рискованной, опасной и сомнительной для инвестиций**, если при проведении исследований не будут учтены важные проблемы безопасности и здоровья людей. Наноматериалы, как правило, легче вступают в химические превращения, чем более крупные объекты того же состава, поэтому они способны образовывать комплексные соединения с не известными ранее свойствами. Наночастицы благодаря своим малым размерам легко проникают в организм человека и животных через защитные барьеры (эпителий, слизистые и т. д.), респираторную систему и желудочно-кишечный тракт. Абсорбирующие свойства наноэлементов значительно выше, чем у других молекул.

Один из ведущих экспертов в области здоровья и окружающей среды профессор Э. Ситон (Эдинбургский университет, Великобритания) считает, что наночастицы фармпродуктов могут вызвать у человека проблемы с органами дыхания, сердцем, иммунной системой и пр. Профессор Г. Обердерстер (Рочестерский университет, США) показал, что наночастицы углерода диаметром 35 нм способны проникать в мозг непосредственно по чувствительным нервным волокнам. Специалисты Национального аэрокосмического агентства США сообщают, что нанотрубки при вдыхании в большом количестве приводят к воспалению легких. Выявлено, что нанотрубка, представляющая собой соединение сверхтонких игл, имеет структуру, схожую с асбестом, а этот материал при вдыхании вызывает повреждение легких. Вдыхание наночастиц полистиrola также вызывает воспаление легочной ткани и к тому же провоцирует тромбоз кровеносных сосудов. Есть сведения о том, что углеродные нано-

частицы могут вызывать расстройства сердечной деятельности и подавлять активность иммунной системы.

Кроме того, ученые обращают внимание на очень важный факт возможного изменения свойств наночастиц после их проникновения в организм, например покрытие белками при попадании в физиологические жидкости (кровь, плазма). В зависимости от свойств и концентрации использованных наночастиц при их проникновении в организм мы можем получить широкий спектр внутриклеточных изменений.

В заключение заметим, что подробнейшее изучение всех аспектов действия нанолекарств на жизненно важные системы человеческого организма представляет огромный интерес для специалистов в области военной химии. Напомним, что в ходе становления фармацевтической индустрии и получения классических лекарств были синтезированы многие отравляющие вещества и этот путь стоил человечеству немалых потерь. И если эти направления исследований смогут обеспечить создание новых видов химического оружия, то вряд ли существующие международные запреты смогут их остановить. Как неоднократно отмечалось во многих западных источниках, «еще не было в истории человечества государства, которое отказалось бы от возможности получить решающее преимущество под противником с помощью новых технологических достижений».

### **3. Меры по парированию угроз создания новых видов химического оружия**

Принятие в 1993 г. Конвенции по запрещению химического оружия позволило сформировать более эффективную систему международного контроля за счет создания международного органа — Организации по запрещению химического оружия (ОЗХО), которая была создана в 1997 г.

За прошедшие годы членский состав ОЗХО расширился почти до 200 государств. Организация успешно выполняет задачи обеспечения контроля за соблюдением запрета химического оружия, ликвидации его запасов, уничтожения или конверсии бывших мощностей по его производству. В соответствии с Конвенцией в задачи ОЗХО входит

также содействие развитию международного сотрудничества в области мирной химии, помочь государствам в обеспечении защиты от химического оружия в случае его применения против них. Важнейшее направление деятельности ОЗХО — обеспечение нераспространения химического оружия. Для решения этой задачи ключевое значение имеет достижение универсальности Конвенции и осуществление контроля в химической промышленности, призванного исключить ее использование в целях, запрещенных по Конвенции. За успешное осуществление уничтожения химического оружия, накопленного в Сирийской Арабской Республике, ОЗХО присуждена Нобелевская премия мира.

В соответствии с Конвенцией Организация по запрещению химического оружия имеет три основных органа. Это Конференция — Главный орган ОЗХО государств-участников, Исполнительный совет и Технический секретариат.

В Конференцию государств-участников входят все члены Организации, она собирается один раз в год, а при необходимости и чаще. Конференция рассматривает любые вопросы в рамках сферы охвата Конвенции. Соответственно, она может давать рекомендации и принимать решения по любым вопросам, касающимся Конвенции. Конференция осуществляет надзор за осуществлением Конвенции, принимает меры для содействия реализации ее предмета и целей, а также рассматривает ее соблюдение. Конференция также осуществляет надзор за деятельностью Исполнительного совета и Технического секретариата. Один раз в пять лет Конференция собирается на специальную сессию для рассмотрения действия Конвенции.

Исполнительный совет ОЗХО является исполнительным органом Организации. Он подотчетен Конференции. Исполнительный совет действует в соответствии с решениями Конференции и обеспечивает их надлежащее выполнение. В задачу Исполнительного совета входят содействие эффективному осуществлению и соблюдению Конвенции, а также надзор за деятельностью Технического секретариата [13].

Технический секретариат является постоянно действующим органом. Он помогает Конференции и Исполнительному совету в выполнении их функций. Технический секретариат путем проведения

инспекций осуществляет предусмотренные Конвенцией меры проверки ее соблюдения, получает и систематизирует первоначальные и ежегодные объявления государств-участников (информация о запасах химического оружия, о бывших объектах по его производству, их уничтожении и конверсии, о деятельности химической промышленности, о передачах химикатов и т.д.). Технический секретариат поддерживает постоянную связь с национальными органами государств-участников по выполнению Конвенции, оказывает им помощь в разработке национального законодательства, регулирующего выполнение Конвенции на национальном уровне.

Инспекторат является подразделением Технического секретариата. Он действует под надзором Генерального директора. В задачи инспектората входит проведение международных инспекций в государствах — участниках Конвенции с целью проверки ее соблюдения.

Технический секретариат ОЗХО осуществляет инспекционную деятельность в государствах-участниках. За подготовку, планирование и анализ результатов инспекций отвечает отдел проверки Технического секретариата. Непосредственно осуществляют инспекции отдел инспектората, укомплектованный квалифицированными инспекторами, проходящими регулярную специальную подготовку.

Большая часть инспекционной деятельности (около 60% инспекций) осуществляется на объектах, которые могут иметь отношение к химическому оружию. На объектах по уничтожению химического оружия (ОУХО) в период их функционирования обеспечивается постоянное присутствие инспекторов (на ротационной основе).

Одной из важнейших целей Конвенции является противодействие распространению химического оружия. В рамках деятельности на этом направлении, а также для обеспечения того, чтобы предприятия химической промышленности не использовались для целей, запрещенных по Конвенции, проводится инспектирование промышленных химических объектов.

Конвенция о запрещении химического оружия предусматривает возможность проведения инспекций по запросу. Инспекция по запросу может проводиться в любом государстве-участнике по запросу другого государства-участника без права от-

каза с целью прояснения или разрешения любого вопроса, касающегося возможного несоблюдения Конвенции. Запрашивающее инспекцию государство обязано ограничивать запрос на инспекцию рамками Конвенции и представлять в запросе всю соответствующую информацию, на основе которой возникла озабоченность.

Опыт, накопленный ОЗХО за эти годы, является залогом дальнейшего поступательного совершенствования ее деятельности с целью обеспечения эффективного контроля за соблюдением Конвенции и содействия развитию принципиально новых методов мониторинга за использованием высоких технологий в целях создания химического оружия.

Для преодоления трудностей, связанных с организацией контроля за использованием высоких технологий в целях создания химического оружия, представляется целесообразным российской делегации на очередной Конференции государств-участников в соответствии с п. 21<sup>h</sup> ст. VIII Конвенции включить вопрос о рассмотрении научно-технических достижений высоких технологий, которые могли бы оказаться на действии настоящей Конвенции. Одновременно представляется целесообразным рекомендовать Генеральному директору ОЗХО учредить Научно-консультативный совет, состоящий из независимых экспертов, который бы мог подготовить квалифицированные предложения по созданию международной системы контроля за использованием высоких технологий в целях создания химического оружия. Эти предложения должны быть направлены на решение трех основных проблем:

- формирование достоверного режима контроля и учета всех имеющихся в мире лабораторий, в которых могут вестись работы по созданию особо опасных химических веществ нового поколения;
- обеспечение необходимого уровня физической защиты объектов, на которых производятся работы по созданию средств защиты от особо опасных химических веществ нового поколения;
- создание условий для эффективного экспортного контроля за перемещением продукции высоких технологий, пригодных для производства опасных химических веществ.

Необходимо также оценить защитные характеристики существующих СИЗ от нового поколения отправляющих веществ, включая наночастицы раз-

личного характера. Исследования по определению защитных свойств современных СИЗ целесообразно провести от всех возможных видов новых отправляющих веществ.

Необходимо отметить, что в условиях террористических актов реально обеспечить защиту человека в момент внезапно возникшей опасности может только средство защиты, которое находится в пределах его досягаемости. Любое защитное устройство, недоступное пользователю в момент ЧС, является практически бесполезным. Таким образом, важным требованием, предъявляемым к данному типу СИЗ, является **требование портативности**.

Создание высокоэффективных СИЗ, отвечающих современным требованиям, невозможно без использования современных материалов и оборудования, а также инновационных технологий. Имеющиеся отечественные серийные сорбенты и катализаторы для средств защиты по своим поглотительным способностям уступают лучшим импортным образцам. В результате существенное снижение массогабаритных характеристик СИЗ весьма затруднительно. На ряде предприятий России имеются перспективные научные разработки по высокоэффективным фильтрующим материалам, адсорбентам, катализаторам и поглотителям, принципиально новым конструктивным и технологическим решениям [14].

Наряду с этим необходимо также предусмотреть выполнение научно-исследовательских работ, направленных на создание:

- эффективных средств защиты от нетрадиционных отправляющих веществ;
- достоверных средств химико-аналитического контроля, обеспечивающих экспресс-обнаружение химических агентов нового поколения;
- высокопроизводительных технологий дегазации объектов, подвергшихся атаке с помощью новых видов химического оружия.

## **Заключение**

Приведенные в настоящей статье материалы позволяют сделать вывод о том, что многие современные технологии могут быть использованы для создания новых видов химического оружия. Полученные знания от развития таких высоких технологий, как

биотехнологии и нанотехнологии, могут предложить принципиально новые направления поиска высокотоксичных отравляющих веществ, характеристики которых очень трудно предсказать. Это необходимо учитывать при планировании деятельности по дальнейшему совершенствованию форм и способов защиты населения от новых видов угроз химического характера.

Во-первых, необходимо на уровне Организации по запрещению химического оружия инициировать предложение по созданию международной системы контроля за использованием высоких технологий в целях получения высокотоксичных веществ.

Во-вторых, необходимо продолжить работы по созданию более совершенных и универсальных средств индивидуальной защиты от всех возможных видов химического оружия. На ряде предприятий России имеются перспективные научные разработки по созданию высокоэффективных средств защиты по принципиально новым конструктивным и технологическим решениям. Однако эти работы не доходят до стадии промышленного производства. Основная причина — отсутствие эффективной научно-технической политики при распределении финансовых средств на наиболее перспективные разработки. При осуществлении заказов на разработку перспективных средств защиты необходимо обеспечить тесное межведомственное взаимодействие федеральных органов исполнительной власти и привлечение к формированию заказов экспертного сообщества, включая ученых РАН. Целесообразно также направить усилия на создание интегрированных научно-производственных структур, объединяющих разработчиков и производителей средств защиты населения от воздействия опасных химических веществ любого характера с целью концентрации финансовых, материальных и интеллектуальных ресурсов для решения задач по созданию наиболее эффективных образцов.

## Литература

1. Шкодич П.Е., Желтобрюхов В.Ф., Клаучек В.В. Эколого-гигиенические аспекты проблемы уничтожения оружия. Волгоград: ВолГУ, 2004.
2. Антонов Н.С. Химическое оружие на рубеже двух столетий. М.: Прогресс, 1994.
3. Малышев В.П. Трансгенные продукты: возможные риски и пути их снижения // Проблемы анализа риска. 2006, Т. 3, № 3.
4. Clive James. Global Status of Commerzialisized Biotech/GM Crops, 2004, Report JSAAA. 2004.
5. Lang D.G., Hollman U.K. Rish Analysis, N 25 No 4, 2005.
6. Материалы Воронежской конференции по нанотехнологиям. 2014.
7. Тутельян В.А. и др. Отчет Института питания РАМН. М., 1998.
8. Кузнецов В.В., Куликов А.М. Российский химический журнал. 2005, Т. XLIX, № 4.
9. Global Treaty Adopted on Genetically Modified Organisms. UNEP, Nairobi. 2000.
10. Артиюхов И.В., Кеменов В.Н., Нестеров С.Б. Биомедицинские технологии. Обзор состояния и направления работы. Материалы 9-й научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». М.: МИЭМ, 2012.
11. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия: концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998.
12. Нестеров С.Б. Нанотехнология. Современное состояние и перспективы. Новые информационные технологии. Тезисы докладов XII Международной студенческой школы-семинара. М.: МГИЭМ, 2014.
13. Конвенция о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении. 1994.
14. Батырев В.В. Химическая защита населения в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени. Основные проблемы и пути их решения. Материалы VIII Научно-практической конференции по совершенствованию гражданской обороны Российской Федерации. М.: МЧС России, 2011.

## Сведения об авторе

**Малышев Владлен Платонович:** доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель Российской Федерации, главный научный сотрудник ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России

Число публикаций: 350

Область научных интересов: радиационная, химическая и биологическая безопасность

Контактная информация:

Адрес: 121352, г. Москва ул. Давыдовская, д. 7

Тел.: +7 (495) 400-99-52

E-mail: csi430@mail.ru