

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

Чепур С.В., Никифоров А.С., Юдин М.А., Цой Д.В., Мясников В.А., Тюнин М.А.

Спектр аналитических находок при химико-токсикологической экспертизе отравлений в зоне специальной военной операции

ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. Условия боевых действий определили вероятность применения в зоне специальной военной операции спектра токсикантов с учетом конвенционных ограничений и ситуативной доступности материалов и реагентов для снаряжения средств диспергирования. Важность аналитической индикации продуктов химического происхождения в биосредах пораженных обуславливает, с одной стороны, точность диагностики и, как следствие, адекватность назначаемой терапии, а с другой стороны, диктует необходимость получения неопровержимой информации о новой тактике применения токсичных химикатов в альтернативу химическому оружию.

Материал и методы. Проведены аналитические исследования проб, в том числе полученных методом «сухая капля», отобранных медицинскими специалистами в очагах при организации эвакуации отравленных и в лечебных учреждениях первого уровня, для характеристики спектра угроз химической безопасности.

Результаты. Спектр поражающих факторов химической природы сопряжен с возможностями реализации посредством действий криминального характера, а также применением беспилотных средств газопуска и генерации аэрозолей. Угроза применения нейротропных средств иллюстрирована использованием каннабиноидов из состава спайсов, субстанций физиологически активных кардиотропных средств, растворимых солей металлов, в том числе урана, фосфорно-термитных смесей нештатно сработавших боеприпасов. Наибольший риск применения в качестве средств поражения реализован полицейскими средствами борьбы с беспорядками и ирритантами из числа соединений промышленного синтеза и растворителей. Установлены особенности формирования отсроченных поражений трахеобронхиального дерева и ткани лёгких веществами разъедающего действия, сопряженные с их аэродинамическими свойствами в составе сухих аэрозолей, формируемых взрывной или вышибной генерацией с дронов. Риски реализации угроз, сопряженных с ядами природного происхождения, выявлены на примере ботулотоксинов типа А и В, однако не исключают применения экстрактов опасных растений, произрастающих на территории воюющих сторон.

Ограничения исследования. Аналитические исследования проб не распространяются на объекты окружающей среды, а методические возможности их интерпретации ограничены химической природой аналита.

Заключение. Спектр токсикантов, применённых в течение нескольких лет военного противостояния в зоне специальной военной операции, отражает возможности их ситуативного получения и применения для снаряжения устройств генерации аэрозоля или газопуска. Он определяет особенности оказания медицинской помощи пораженным в токсикогенную фазу интоксикации.

Ключевые слова: каннабиноиды; растворимые соли металлов; ирританты; вещества разъедающего действия; детергенты; токсины

Соблюдение этических стандартов. Исследование выполнено с соблюдением этических принципов проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы

проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными приказом Минздрава России № 266 от 19.06.2003 г. Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

Для цитирования: Чепур С.В., Никифоров А.С., Юдин М.А., Цой Д.В., Мясников В.А., Тюнин М.А. Спектр аналитических находок при химико-токсикологической экспертизе отравлений в зоне специальной военной операции. *Токсикологический вестник*. 2025; 33(2): 71–85. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2025-33-2-71-85>

Для корреспонденции: Никифоров Александр Сергеевич, e-mail: gniiivm_2@mil.ru

Участие авторов: Чепур С.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Никифоров А.С., Цой Д.В. – аналитические исследования биосред и предметов одежды; Юдин М.А., Мясников В.А., Тюнин М.А. – систематизация и статистическая обработка клинического материала. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила в редакцию: 09 сентября 2024 / Принята в печать: 25 февраля 2025 / Опубликовано: 30 апреля 2025

Введение

Риски военного противоборства повышают вероятность использования химических средств поражения, которые по образному сравнению Д.И. Менделеева относят к «оружию бедных» [1]. Введение конвенционных ограничений и их строгое соблюдение под угрозой международного порицания вместе с тем не ограничивают возможности использования веществ вне конвенционных списков, средств двойного применения, которые в случае придания надлежащей формы позволяют достичь значимой эффективности по поражению живой силы [2]. К числу подобных средств относят прежде всего производные природного сырья, лекарственные, в том числе наркотические и сильнодействующие средства, реактивы промышленных производств, моющие средства и удобрения, родентициды и др. Примеры использования в качестве средств поражения прослежены для полицейских средств борьбы с беспорядками различного состава и курительных смесей (спайсов), преимущественно каннабиноидной структуры [3, 4].

Все эти соединения находят свою роль и место в современном военном противостоянии, расширяя задачи врача по диагностике всего спектра многообразных поражений, формированию лечебной тактики для их купирования. Вместе с тем оценка химических рисков применительно к поражению живой силы имеет тенденции к аггравации. Далеко не все вещества, даже несмотря на очевидные токсические свойства могут быть применены в качестве средств поражения [5]. В этой связи опыт военного противостояния требует анализа химических рисков, детального изучения механизмов их реализации, ранжирования и формирования ограничений для выработки универсальных синдромных подходов к терапии и действиям врачей при возникновении отравлений [6].

Цель настоящей работы – описать выявленные варианты токсической патологии, этиология которой доказана с применением аналитических методов исследования кожных покровов, придатков кожи и биосред организма.

Материал и методы

Материалом исследования стали случаи отравления различными веществами в зоне специальной военной операции. Состояние части пострадавших изучено в условиях лечебных учреждений первого уровня с возможностями проведения терапевтических и реанимационных мероприятий, а также в условиях клинического центра института. Кроме того, от пострадавших, в том числе и не попавших под наблюдение, проведён отбор проб с применением сорбирующих картриджей «сухой капли», доставляемых в лаборатории Института из стационаров и лечебных учреждений медицинской службы. Применяемые технологии сорбции обеспечивали транспортировку проб биосред и окружающей среды для исследования на различные аналиты, в том числе белки, без необходимости соблюдения холодной цепи. Картриджи были изготовлены и переданы в передовые медицинские учреждения для формирования системы контроля химической безопасности. Часть проб была доставлена традиционным порядком в пробирках. При получении картриджей пятна сорбента с биопробами вырезали и погружали в органические растворители специального состава для десорбции, для обогащения проб применяли различные физико-химические методы концентрирования. После жидкость-жидкостной экстракции биопробы концентрировали методом вакуумного высушивания и подвергали аналитическому исследованию с применением стандартных алгоритмов на газовом (Agilent, США)

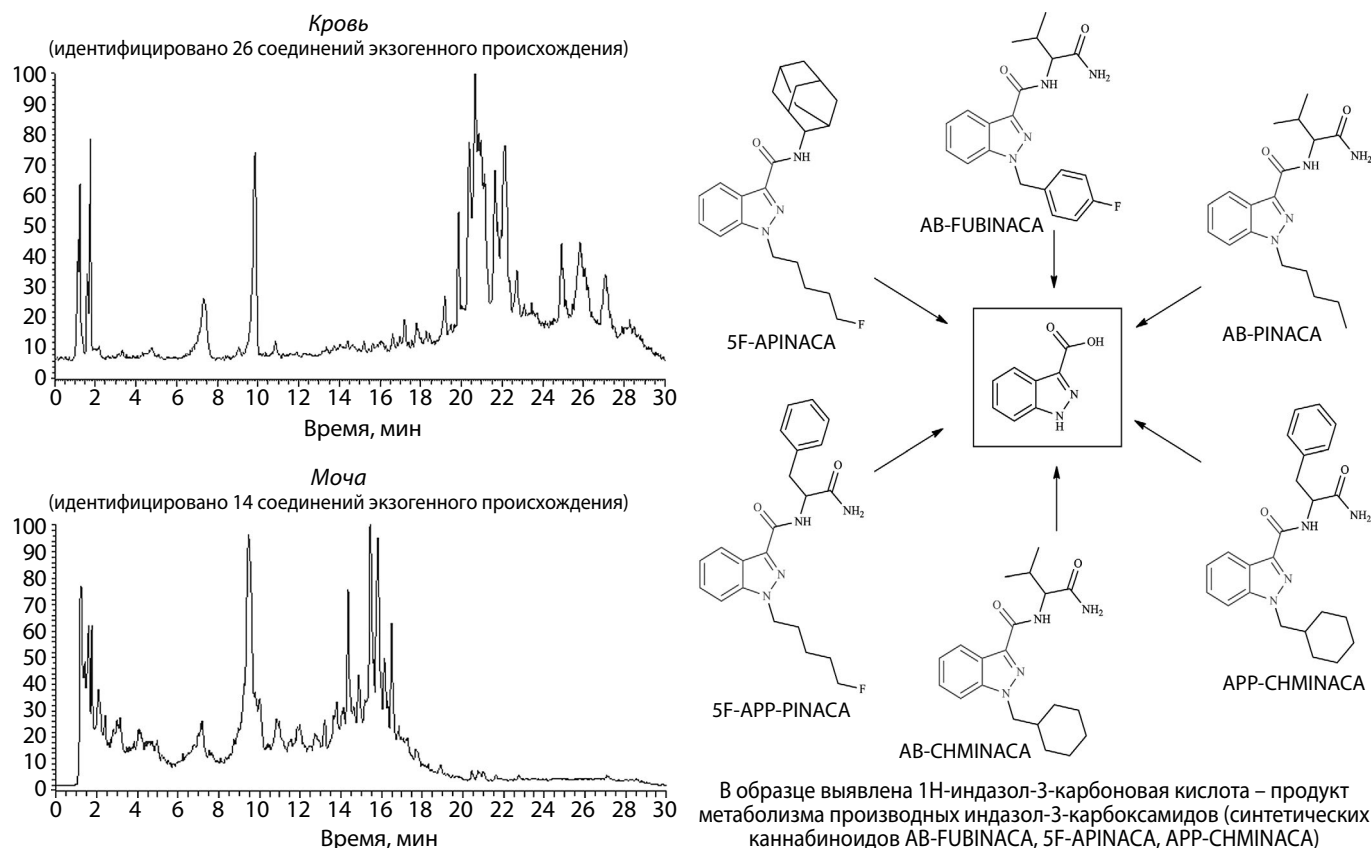


Рис. 1. Выявление продуктов метаболизма каннабиноидов в крови и моче пострадавших.
Ось OY – относительное содержание, %.

и жидкостных (Thermo Fisher Scientific, США) хроматомасс-спектрометрах, а также квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (Helicon 7000, Китай). Ряд проб исследован методом сканирующей электронной микроскопии с использованием микроскопа EM8000 (KYKY, Китай) в условиях высокого вакуума. Для оценки элементного состава образцов использовали систему энергодисперсионного микроанализа (AZtecOne, Oxford Instruments). Перед проведением исследования подложку с образцами обрабатывали частицами золота (10 нм) с помощью установки вакуумного напыления образцов (DCR, Nano-Structured Coating).

При выявлении белковых токсинов образец плазмы крови в пробирке с активатором свертывания подготавливали для анализа методом ВЭЖХ-МС/ВР с помощью аффинных спин-колонок ProteoMiner (BioRad, США) и с применением специфических антител к ботулотоксину А и Б. Все образцы подвергали ферментативному расщеплению трипсином на центрифужных фильтрах с отсечкой по массам 50 кДа. Анализ проводили с использованием стандартных образцов ботулотоксинов А и Б, которые использовали в качестве стандарта.

Результаты

Применительно к лекарственным, наркотическим и психотропным средствам были прослежены попытки аэрозольного применения субстанций сильнодействующих кардиотоников (в том числе сердечных гликозидов) и противоаритмических средств на нано- и микроразмерных носителях с характерными проявлениями поражения. В составе закладок на новых территориях Российской Федерации наиболее часто выявляли метадон и стимуляторы мефедрон и α -пировалерон. Среди нейротропных средств привлекли внимание отравления *каннабиноидами*, которые были прослежены в нескольких клинических случаях, сопровождавшихся временной потерей сознания. В каждом из них на 3–5-е сутки после отравления в моче пострадавших выявлена 1H-индазол-3-карбоновая кислота (рис. 1) как продукт метаболизма производных индазол-3-карбоксамидов (синтетических каннабиноидов типа AB-FUBINACA, 5F-APINACA, APP-CHMINACA). Обстоятельства отравления и тип метаболизма свидетельствует об ингаляционном поступлении каннабиноидов вследствие криминального применения.

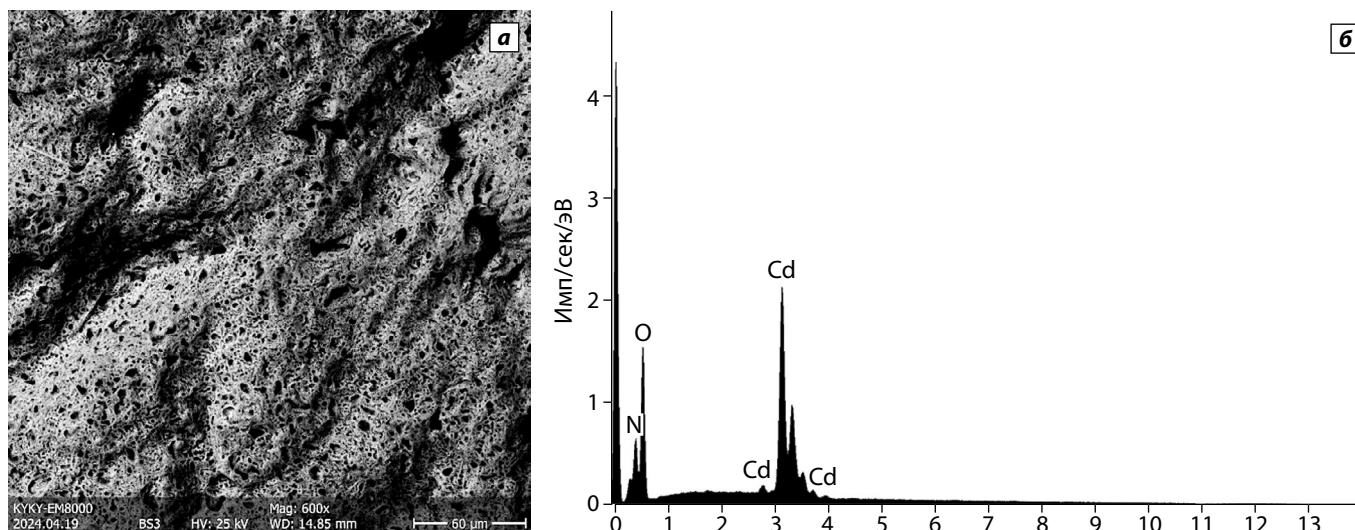


Рис. 2. Нитрат кадмия, обнаруженный в продуктах питания: *a* – микрофотография морфологии поверхности нитрата кадмия, увеличение $\times 1000$ (напряжение на игле 25 кВ); *б* – результат рентгеноспектрального анализа элементного состава исследуемого образца (представлены Н.Г. Венгеровичем).

Выявлены случаи употребления загрязнённых растворимыми солями *металлов* продуктов питания (рис. 2). Присутствие бария, кадмия и ртути прослежено в пробах крови отравленных.

Важной диагностической находкой стало обнаружение *урана* в следовых количествах в волосах лиц в субклинической стадии отравления (рис. 3).

Подобные находки свидетельствуют о рисках поступления в организм продуктов разрушения урановых сердечников артиллерийских боеприпасов [7]. Примерами поражения неорганическими токсикантами стали также отравления *фосфорно-термитными смесями* не штатно работавших артиллерийских боеприпасов. Такие поражённые со светящимся обмундированием,

характерной клиникой отравления, изменениями крови и гепатопатиями прослежены в условиях терапевтического стационара.

Существенным для понимания механизма отсроченных поражений лёгких с формированием пульмонитов, часть из которых имело смертельный исход, стало выявление отравлений органическими сильно *щелочными* моющими *средствами* (в том числе содержащими моно- и триэтаноламин и их производными) и *детергентами*, компоненты которых проникают в кровь [8] и которые выявлены в ходе аналитического исследования (рис. 4). После распыления с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в виде сухого аэрозоля эти раздражающие вещества смывают с рук и лица (у поражённых после промыва-

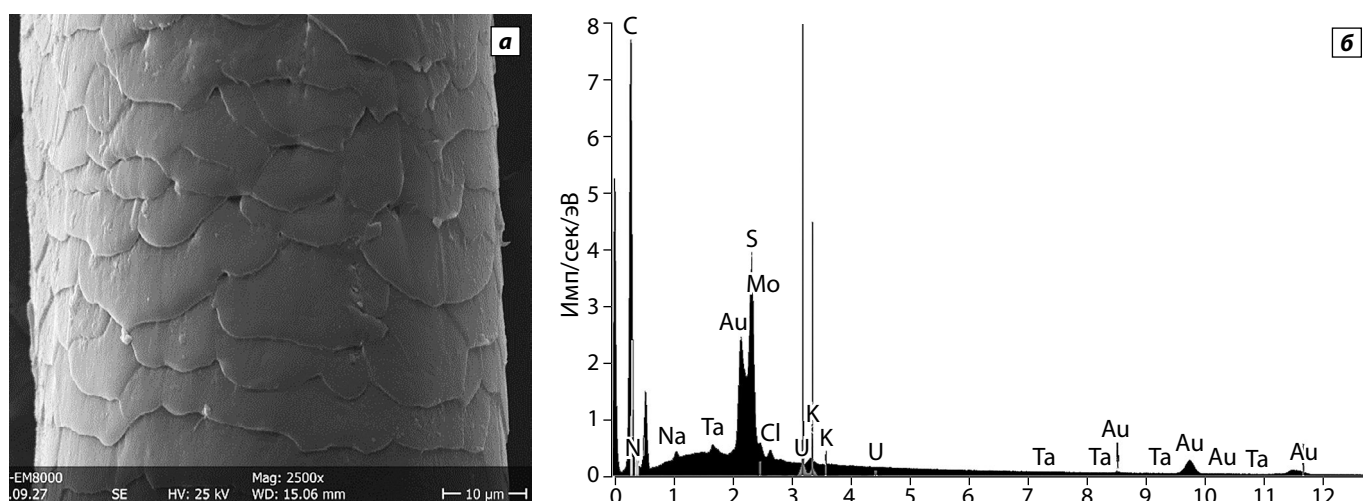


Рис. 3. Волос человека, обнаруженный в продуктах питания: *a* – микрофотография морфологии поверхности волоса, увеличение $\times 2500$ (напряжение на игле 25 кВ); *б* – результаты рентгеноспектрального анализа элементного состава исследуемого образца (представлены Н.Г. Венгеровичем).

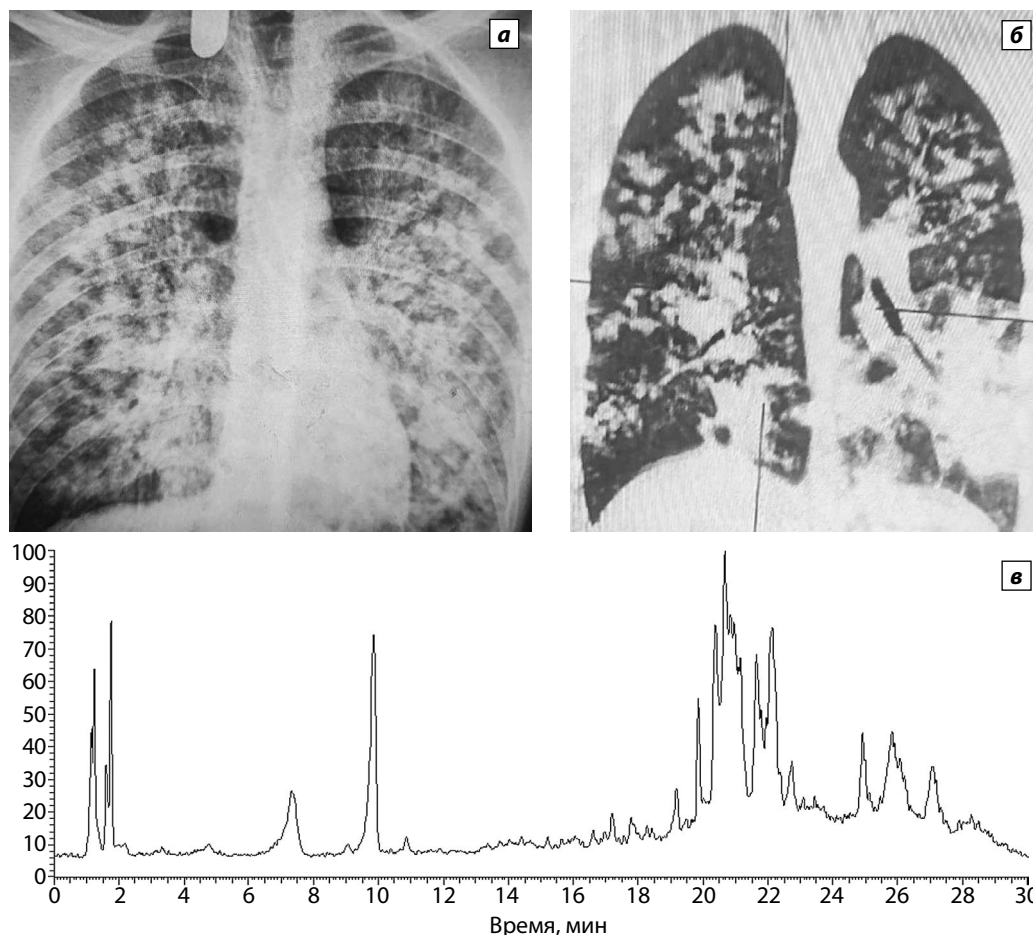


Рис. 4. Отсроченные пульмониты: рентгенологические проявления при крупнопольном флюорографическом (а) и компьютернотомографическом (б) исследовании (представлены Е.В. Рагузиным) и спектр вызвавших их, резорбированных в кровь, компонентов сухих аэрозолей щелочей и детергентов (в). Ось ОУ – относительное содержание, %.

ния подручными средствами практически не выявляли поражений глаз), однако токсичный агент продолжал оказывать разъедающее действие на слизистую трахеи и бронхов в течение нескольких дней, формируя глубокие некротические изменения как стенок воздухоносных путей, так и прилежащей лёгочной ткани.

Аналогично органическим щелочам и мылам для снаряжения диспергирующих устройств установлено применение *тозилхлорида* (4-толуолсульфонилхлорида) и других *органических кислот* и *окислителей*. Поражения ими были сходны с отравлениями щелочами, однако манифестировали значительно быстрее и затрагивали в большей степени гортаноглотку и трахею. К этой же группе алкилирующих ядов целесообразно отнести и сладковатый по вкусу сжиженный фумигант *этиленоксид*, широко применяемый в различных технологических процессах. Предположение о наличии вещества высказано после анализа жалоб поражённых на сладковатый вкус во рту и присутствие 2-хлорэтанола [9] как продукта его взаимодействия с органически-

ми молекулами. Прослеживали проявление местных и резорбтивных эффектов с раздражением и ожогами кожи, а также головными болями, рвотой и судорожными подёргиваниями мышц.

Широкое применение в качестве средств химического поражения нашли *полицейские средства борьбы с беспорядками* (CS, морфолид пелларгоновой кислоты, хлорацетофенон в снаряжении штатных средств) и другие *ирританты* – продукты химических производств (хлорацетон, хлор- и бромцианы, акролеин и другие алифатические альдегиды, сернистый ангидрид, хлорпикрин и др.). В качестве раздражающих средств противником применялись *дымообразователи*. Так, для генерации дымов БПЛА оснащают штатными боевыми (дымовая граната М-18) или модифицированными страйкбольными дымовыми шашками, включающими в разных составах, кроме раздражающих азакрасителей, трёхокись мышьяка, гексахлорэтан и гексахлорбензол, нафталины, антрацены (в частности 1-(метиламино)антрацен-9,10-дион), соединения фосфора и др. соединения, возгонка или горение которых

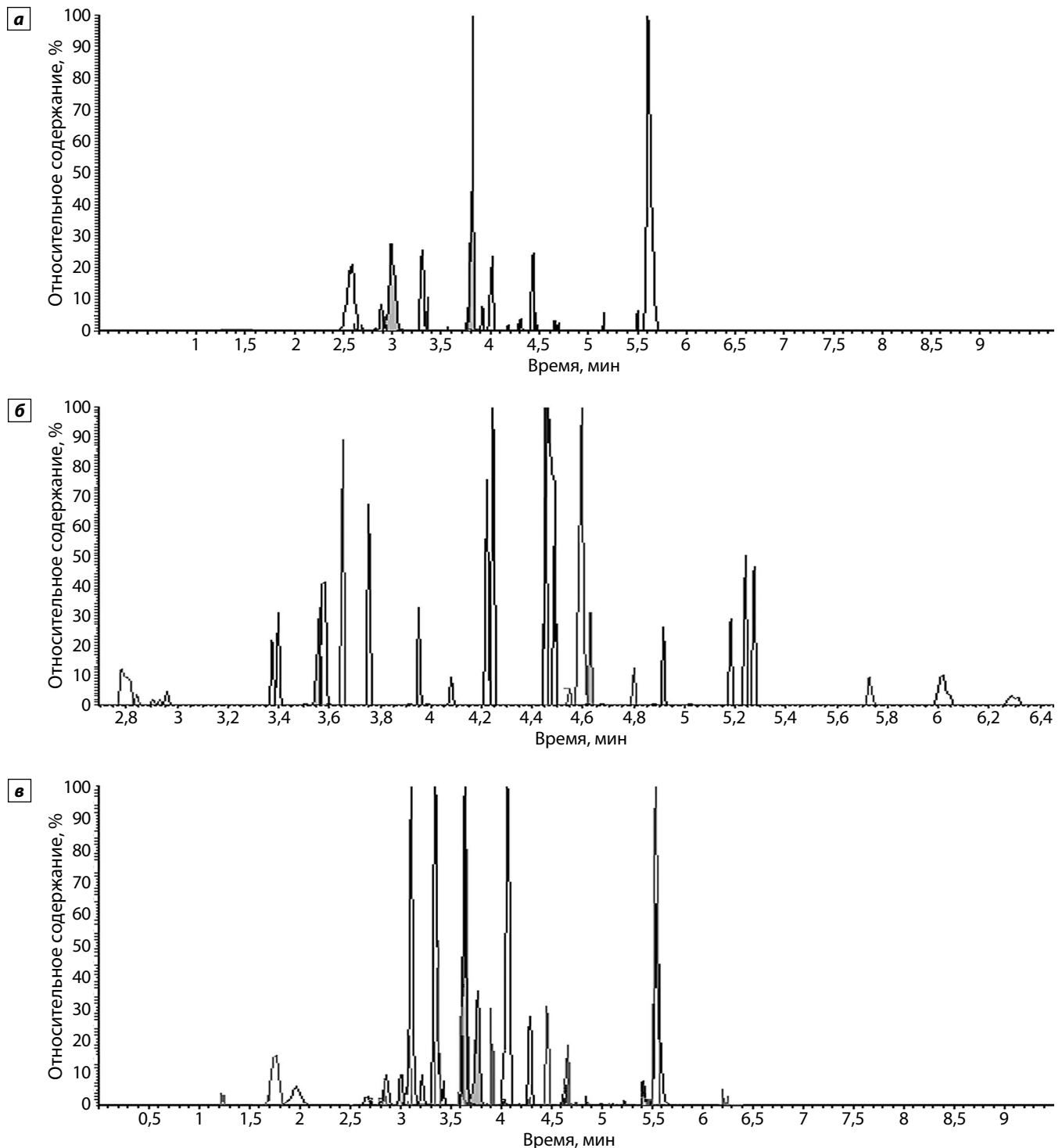


Рис. 5. Масс-хроматограммы образцов плазмы крови, очищенных с применением специфических антител к ботулотоксину А (а), ботулотоксину Б (б) и с помощью аффинных спин-колонок С (в), с пиками характеристичных пептидов, идентичных контрольным пробам с внесёнными образцами токсинов (анализ выполнен Н.С. Юдиной).

может формировать токсичный аэрозоль. Только 16% отравленных, поступивших в стационары первого уровня, были способны детально описать цвет дыма: 59% из них охарактеризовали его как белый, 19% – как жёлтый, 13% – как зелёный, 6% – как серый и 3% – как фиолетово-чёрный. 39% пострадавших не смогли отчётливо

охарактеризовать цвет аэрозоля, в котором пребывали, а не менее 30% описывали воздействие бесцветного газа без образования аэрозоля.

В числе средств химического поражения использованы и вещества природного происхождения. Несмотря на доступность получения рицина из плодов, растущей в регионе *Ricinus communis*,

отравлений им на территории зоны ведения боевых действий не выявлено. Вместе с тем прослежено применение продуктов, загрязнённых *ботулотоксином*. Исследуемые белки имеют области с повторяющимися аминокислотными последовательностями. По этой причине очистка целевого белка проведена с применением антител к различным типам токсина (рис. 5).

По результатам анализа методом ВЭЖХ-МСВР установлено, что в образцах плазмы крови присутствует ботулотоксин А, характеристичные пептиды которого имеют высокую интенсивность сигнала и прослежены в образцах при всех использованных методах подготовки проб.

Следует отметить, что в числе кустарных средств поражения в силу региона произрастания могли быть применены экстракты борщевика (*Heracleum* sp.), борца (*Aconitum* sp.), болиголова (*Conium* sp.), чемерицы (*Veratrum* sp.), наперстянки (*Digitalis* sp.), ландыша (*Convallaria* sp.), ядовитых грибов и др., однако получение действующих веществ требует большой трудоёмкости и затратности технологий извлечения, очистки и сепарации, что минимизирует риски их широкого криминального применения в составе аэрозолей.

Обсуждение

Спектр токсикантов, применённых в течение нескольких лет военного противостояния в зоне специальной военной операции, с одной стороны отражает возможности их ситуативного получения, а с другой стороны, преднамеренного применения для снаряжения устройств генерации аэрозоля или газопуска. Частое выявление в составе закладок на новых территориях Российской Федерации стимуляторов амфетаминового ряда, а также участвовавшие случаи отравлений каннабиноидами свидетельствуют об активизации криминальных и диверсионных действий. Обстоятельства отравления и тип обнаруженных метаболитов свидетельствует о росте случаев ингаляционного поступления каннабиноидов, сильнодействующих кардиотоников (в том числе сердечных гликозидов) и противоаритмических средств на нано- и микроуровне носителях. Выявленные случаи употребления загрязнённых растворимыми солями металлов продуктов питания указывали на присутствие бария, кадмия и ртути, что прослежено в пробах крови, а также урана в волосах лиц отравленных. Примерами последних могут быть отравления фосфорно-термитными смесями нештатно сработавших артиллерийских боеприпасов.

Существенной находкой послужили данные по выявлению сильнодействующих щелочных моющих средств (в том числе содержащих моно- и триэтаноламин и их производные) и детергентов, которые могли быть применены с помощью БПЛА в виде сухого аэрозоля и требовали проведения санитарной обработки. Предположение о поражении сжиженным фумигантом этиленоксидом подтверждалось органолептическим сладковатым вкусом во рту и присутствием 2-хлорэтанола [9] как продукта его взаимодействия с органическими молекулами. Для этих поражений были характерны местные и резорбтивные эффекты с раздражением и ожогами кожи, а также головными болями, рвотой и судорожными подёргиваниями мышц.

В качестве раздражающих средств, помимо «классических» полицейских средств борьбы с беспорядками, противником применялись дымообразователи, а также азакрасители, гексахлорэтан, нафталины, антрацены, соединения фосфора и др.

В числе средств химического поражения могли использоваться вещества природного происхождения, прослежено применение продуктов, загрязнённых ботулотоксином. Очистка целевого белка с применением антител к различным типам токсина позволила определить характеристичные пептиды ботулотоксина А. Произрастание на территории борщевика, борца, болиголова, ядовитых грибов и др. также не исключает вероятности их использования в террористических целях.

Ограничения исследования. Аналитические исследования проб не распространяются на объекты окружающей среды, а методические возможности их интерпретации ограничены химической природой аналита.

Заключение

Таким образом, в зоне специальной военной операции прослежено целенаправленное применение неконвенционных средств химического поражения, форма применения которых, в том числе масс-медианные характеристики частиц аэрозоля, определяют возможности достижения целевого эффекта [10], трудности диагностики и лечения. Нет сомнения в том, что работа по выбору и использованию химических средств двойного назначения координирована и предполагает бескомпроматное с точки зрения международного права поражение личного состава войск и населения освобождённых территорий Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобец П.Н. Криминологические риски использования компонентов химического оружия и опасных химических веществ в террористических целях. *Военно-юридический журнал*. 2023; (5): 18–21.
2. Шанешкин В.А. Методический подход к оценке эффективности системы защиты личного состава от воздействия поражающих факторов химического оружия. *Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал*. 2009; 2(24): 18–26.
3. Винникова М.А., Шахова С.М. Клинические проявления и общие подходы к терапии при синдроме зависимости от синтетических каннабиноидов («Спайс»). *Наркология*. 2016; 15(4): 34–43.
4. Левченко О.Е., Курдиль Н.В., Луценко А.Г. Феномен спайс: смеси для курения или новое химическое оружие. *Медицина неотложных состояний*. 2016; 2(73): 94–99.
5. Кузнецова С.А. Управление профессиональными рисками при работе с химическими веществами. *Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях*. 2020; (8): 10–24.
6. Колодкин В.М., Мурин А.В., Петров А.К., Горский В.Г. *Количественная оценка риска химических аварий*. Ижевск: Удмуртский гос. ун-т, 2001.
7. Касперович Е.Г., Пашинин В.А., Пашкова А.А., Янзин Е.И. Экспресс-обнаружение урансодержащих соединений на поверхностях объектов и в водной среде при исследовании последствий применения снарядов с обедненным ураном. *Технологии гражданской безопасности*. 2023; 20(2): 20–5.
8. Бидевкина М.В., Голубева М.И., Лиманцев А.В., Разумная И.Н., Потапова Т.Н., Федорова Э.А. Изучение токсичности и опасности натрия лаурилсульфата при различных путях воздействия. *Токсикологический вестник*. 2020; (4): 56–9.
9. Лукашкин Н.А., Арасланов И.Н. Этиленоксид: методические подходы к определению остаточных количеств в пищевой продукции (обзор литературы). *Токсикологический вестник*. 2023; 31(6): 418–26. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2023-31-6-418-426>
10. Рудаков Д.П. Анализ способов применения отравляющих веществ по опыту специальной военной операции. *Научно-методический бюллетень Военного университета Министерства обороны Российской Федерации*. 2024; 1(21): 72–9.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чепур Сергей Викторович, доктор мед. наук, профессор, начальник ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gniiivm_2@mil.ru

Никифоров Александр Сергеевич, доктор биол. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского испытательного центра (медико-биологической защиты) Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: nikiforov2004@mail.ru

Юдин Михаил Анатольевич, доктор мед. наук, профессор, начальник научно-исследовательского испытательного центра (медико-биологической защиты) Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gniiivm_2@mil.ru

Цой Дмитрий Васильевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского испытательного центра (медико-биологической защиты) Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gniiivm_2@mil.ru

Мясников Вадим Александрович, кандидат мед. наук, начальник научно-исследовательского испытательного центра (прикладных исследований и полигонных испытаний) Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gniiivm_2@mil.ru

Тюнин Михаил Александрович, кандидат мед. наук, заместитель начальника научно-исследовательского испытательного центра (прикладных исследований и полигонных испытаний) Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gniiivm_2@mil.ru