



Алгоритм действий на месте химического инцидента для сохранения вещественных доказательств

В.В. Завьялов¹, А.А. Завьялова², Н.В. Завьялова¹, В.А. Ковтун¹, М.П. Шаройко¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр имени академика Н.Д. Зелинского» Министерства обороны Российской Федерации
111024, Российская Федерация, г. Москва, проезд Энтузиастов, д. 19
✉ e-mail: 27_nc_1@mil.ru

²Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя»
117997, г. Москва, ул. Академика Волгина, д. 12
✉ e-mail: support_mosu@mvd.ru

Основные моменты

- Установление вины в нарушении Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении (КЗХО) требует доказательства причастности конкретных лиц, чью ДНК необходимо идентифицировать по биологическим следам на месте инцидента.

- Дегазирующие рецептуры, применяемые при обработке места инцидента, могут разрушать ДНК, что делает невозможным генотипирование.

- Разработан алгоритм действий на месте химического инцидента, обеспечивающий сохранность биологических следов для последующего криминалистического анализа.

Актуальность. Обусловлена необходимостью объективного доказывания причастности лиц к химическим инцидентам через анализ ДНК-содержащих следов, что требует их защиты от разрушения.

Цель работы – научное обоснование алгоритма действий на месте химического инцидента для сохранения вещественных доказательств.

Источниковая база исследования. Публикации в рецензируемых научных журналах, в том числе доступные через глобальную сеть Интернет.

Метод исследования. Аналитический.

Результаты исследования. Определена криминалистическая значимость биологических следов с ДНК на месте химического инцидента. Нами оценены риски утраты ДНК-информации под воздействием дегазирующих рецептур. Установлено, что хлорсодержащие реагенты разрушают ДНК, тогда как составы на основе оксидов магния, титана, 2-аминоэтанола и гипохлорита кальция – нет. Разработан алгоритм, предусматривающий приоритетный сбор биоматериала до дегазации или применение рецептур, не разрушающих ДНК.

Заключение. Для сохранения доказательств до проведения криминалистического анализа необходимо исключить использование разрушающих ДНК дегазаторов или применять нейтральные составы.

Ключевые слова: биологические следы; дегазирующие рецептуры; дезинтаминанты; индекс деградации; КЗХО; криминалистические исследования; ликвидация последствий химического инцидента; расследование химического инцидента; сохранность доказательственной базы; STR профилирование; токсичные химикаты

Для цитирования: Завьялов В.В., Завьялова А.А., Завьялова Н.В., Ковтун В.А., Шаройко М.П. Алгоритм действий на месте химического инцидента для сохранения вещественных доказательств. Вестник войск РХБ защиты. 2025;9(4):322–344. EDN:unatfa.
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2025-9-4-322-344>

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов: Н.В. Завьялова является членом редколлегии журнала (с 2017 г.). В.А. Ковтун является членом редсовета журнала (с 2017 г.). Это не повлияло на процесс рецензирования и его результаты.

© В.В. Завьялов, А.А. Завьялова, Н.В. Завьялова, В.А. Ковтун, М.П. Шаройко, 2025

Journal of NBC Protection Corps. 2025. V. 9. No 4

Использование искусственного интеллекта: авторы не использовали.

Финансирование: федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр имени Н.Д. Зелинского» Министерства обороны Российской Федерации (27 НЦ МО РФ); федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя» (Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя).

Поступила 25.06.2025 г. После доработки 16.08.2025 г. Принята к публикации 27.12.2025 г.

Standard procedure at chemical accident site to ensure protection of evidence

Vasily V. Zavyalov¹✉, Anna A. Zavyalova²✉, Natalya V. Zavyalova, Victor A. Kovtun, Maxim P. Sharoyko

¹27 Scientific Centre Named after Academician N.D. Zelinsky
of the Ministry of Defence of Russian Federation
Entuziastov Proezd, 19, Moscow 111024, Russian Federation
✉ e-mail: 27nc_1@mil.ru

²Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Named after V.Ya. Kikot
Akademika Volgina Str., 12, Moscow 117997, Russian Federation
✉ e-mail: support_mosu@mvd.ru

Highlights

- If we want to find someone guilty of violating the Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction (Chemical Weapons Convention or CWC), we should prove the involvement of specific persons, whose DNA can be identified using biological traces left at the chemical accident site.

- Decontaminant mixtures, used at the chemical accident site can destroy the DNA and that makes genotyping impossible.

- The authors have elaborated special procedure that permits to preserve biological traces at the chemical accident site for further forensic analysis.

Relevance. It is crucial to provide objective evidence against persons who are involved in chemical accidents. The only way is to make a DNA assay of biological traces left at chemical accident site. That is why we should keep these traces intact and preserve their integrity.

Purpose of the study is to provide a scientific justification for the standard procedure that ensures protection of evidence at chemical accident site.

Study base sources. The authors have studied scientific publications including those, available on the Internet.

Method. Analytical method has been employed.

Results. The authors of this paper have outlined the forensic significance of biological traces with DNA at the chemical accident site. They have evaluated the risks of the DNA data loss, when the site is exposed to decontaminant agents. It has been proved that chlorine containing reagents destroy the DNA, whereas mixtures that contain magnesium oxide, titanium oxide, 2-aminoethanol and calcium hypochlorite are safe for the DNA. The authors of this paper have developed a procedure that permits either to collect biomaterial before decontamination or to use mixtures that are harmless to the DNA.

Conclusion. To preserve evidence for further forensic analysis it is vital to avoid using decontaminants that may destroy the DNA. In this case the neutral mixtures should be used.

Keywords: biological traces; chemical accident investigation; chemical accident remediation; Chemical Weapons Convention; decontaminants; decontaminant mixtures; degradation rate; evidence safety and integrity; forensic processing; STR profiling; toxic chemicals

Завьялов В.В., Завьялова А.А., Завьялова Н.В., Ковтун В.А., Шаройко М.П.
Zavyalov V.V., Zavyalova A.A., Zavyalova N.V., Kovtun V.A., Sharoyko M.P.

For citation: Zavyalov V.V., Zavyalova A.A., Zavyalova N.V., Kovtun V.A., Sharoyko M.P. Standard procedure at chemical accident site to ensure protection of evidence. *Journal of NBC Protection Corps.* 2025;9(4):322–344. EDN: unatfa.
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2025-9-4-322-344>

Financial disclosure: The authors have no financial interests in the submitted materials or methods.

Conflict of interest statement: N.V. Zavyalova has been a member of the Journal Editorial Board (since 2017). V.A. Kovtun has been a member of the Journal Editorial Council (since 2017). These facts have not affected review process and final decision.

AI use: The authors did not use artificial intelligence.

Funding: 27 Scientific Centre Named after Academician N.D. Zelinsky of the Ministry of Defence of the Russian Federation (27 SC MD RF);
Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Named after V.Ya. Kikot.

Received June 25, 2025. Revised August 16, 2025. Accepted December 27, 2025.

Расследование нарушений Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении (КЗХО)¹ требует доказывания вины конкретных лиц, поскольку международная ответственность государства наступает лишь после установления причастности его представителей. Уголовное преследование возможно только при наличии неопровержимых доказательств, соответствующих стандартам современного правосудия (презумпция невиновности, бремя доказывания на обвинении).

Наиболее достоверными доказательствами являются биологические следы с ДНК (кровь, слюна), которые могут сохраниться на боеприпасах, средствах доставки, одежде пострадавших или поверхностях в зоне инцидента. Однако их исследование осложнено необходимостью срочной дегазации – первичной обработки для нейтрализации токсичных веществ.

Проблема заключается в том, что дегазирующие составы могут разрушать ДНК в биологических следах, делая невозможной генетическую идентификацию преступника. Это ставит под угрозу:

- установление личности преступников,
- привлечение к ответственности государств (если исполнители действовали по приказу),
- легитимность обвинений (риск обвинения в провокации при недостатке доказательств).

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки алгоритмов сохранения ДНК-материала при проведении дегазации, что критически важно для об-

ективного расследования химических инцидентов.

Цель работы – научное обоснование алгоритма действий на месте химического инцидента для сохранения вещественных доказательств.

Метод исследования. Аналитический.

Источниковая база исследований. Публикации в научных журналах, в том числе доступные через глобальную сеть Интернет.

Поставленная цель достигалась:

- определением рисков потери криминалистической значимой ДНК-информации;
- разработкой алгоритма работы на месте химического инцидента, связанного с нарушением КЗХО.

Возможные риски потери криминалистически значимой ДНК-информации в биологических следах на месте химического инцидента. Процесс проведения криминалистических исследований в рамках расследования событий, связанных с применением токсичных химикатов в нарушение КЗХО, сопряжен со значительными препятствиями и сложностями. Одним из таких препятствий является определение общей стратегии криминалистического исследования следов, оставленных на месте инцидента, в том числе лицами, виновными в его совершении. Следует ли обследовать объекты в безопасных условиях, т.е. в специализированной лаборатории с подходящими помещениями и оборудованием, или перед криминалистической экспертизой их следует обеззаразить? Первый сценарий предполагает внедрение адаптированных подходов и методов, которые могут быть применены в условиях ограничений, накладываемых на инфраструктуру. Второй

¹ КЗХО принята Генеральной Ассамблеей ООН 30 ноября 1992 г. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/chemweapons.shtml (дата обращения: 10.05.2025).

сценарий позволяет идеально применять методы, однако он сопряжен с риском того, что следы могут быть нарушены в результате процедуры обеззараживания [1–3]. Следовательно, важно изучить влияние дегазирующих рецептур и процедур на следы, что, в свою очередь, позволит принимать решения о том, какие объекты и следы следует собирать.

Среди множества следов, которые являются предметом исследования в ходе криминалистической экспертизы, ДНК стала ценным и незаменимым вещественным доказательством в различных типах дел [4, 5]. Однако ДНК может быть легко удалена или повреждена различными факторами [6–10], и лишь немногие клетки могут обеспечить достаточное количество ДНК для профилирования [11, 12]. ДНК подвержена деградации под воздействием факторов окружающей среды, таких как свет, тепло и влажность [9]. Воздействие ультрафиолетового излучения может повредить ДНК, повышенные температуры могут привести к денатурации и фрагментации, а высокий уровень влажности может способствовать деградации в результате реакций гидролиза, что приводит к потере нуклеотидных оснований, дезаминированию и расщеплению нити ДНК [8, 13]. Общими механизмами деградации являются гидролиз и окисление, в частности, активные формы кислорода и свободные радикалы, в частности гидроксильные радикалы, которые, как хорошо известно, вызывают деградацию ДНК [8, 14, 15]. Дополнительные факторы, такие как экстремальные уровни pH и микробная активность, могут способствовать фрагментации и модификации профилей ДНК [6, 8, 16]. Несмотря на эти проблемы, в ряде работ зарубежных криминалистов была показана возможность восстановления профилей ДНК с мест преступлений и предметов, подвергшихся воздействию экстремальных температур (например, поджог или самодельное взрывное устройство) [17–20] или повышенной влажности [21–24].

В ряде фундаментальных исследований изучалась способность восстанавливать профили ДНК после воздействия различных чистящих [5, 25–31], дезинфицирующих [32–34] средств или боевых биологических и химических агентов [33, 35–37]. Влияние чистящих средств на восстановление ДНК показывает изменчивую картину. Методы работы с субстратом, носителем ДНК, и формирования

выборки, наряду с аналитическими подходами, вносят значительные различия как в количестве ДНК, так и в способность восстанавливать профили [25–29]. Обычно исследуемыми чистящими средствами являются мыло и отбеливатель [30, 31]. Было показано, что пористые субстраты в целом обеспечивают более высокие показатели успешности восстановления профиля ДНК. Хлорированные чистящие средства, такие как отбеливатель, демонстрируют высокую тенденцию к разложению ДНК, что приводит к более низким показателям восстановления профиля [5].

В своем исследовании 2020 года Wilkinson с соавт. изучили влияние различных методов дегазации жидких и газообразных веществ на восстановление профиля ДНК. Примечательно, что формальдегид и озон существенно влияли на количество ДНК, препятствуя полному восстановлению профиля. Рецептуры MODEC MDF-500 и Bioxy-S были определены как наименее разрушительные средства для обеззараживания. Кроме того, в этом исследовании было подчеркнуто, что испаренная перекись водорода и гамма-облучение являются наименее разрушительными методами профилирования ДНК в присутствии биологических агентов [33].

Ионизирующие излучения обычно используются для нейтрализации биологических агентов [38]. Воздействие различных излучений на профилирование ДНК, таких как альфа-, бета- и гамма-облучение, а также ультрафиолетовое облучение, привело к различным результатам [34, 39–40]. Такие факторы, как применяемая доза, специфический протокол анализа ДНК, а также субстрат и носитель ДНК, вносят свой вклад в вариabельные результаты².

Что касается биологических поражающих агентов или боевых отравляющих веществ, то Timbers с соавт. [36] исследовали, как бактерии, эндоспores, токсины и вирусы, сохраняются в процессе экстракции ДНК для генетического профилирования. Их результаты показали, что количество бактерий, вирусов и токсинов было снижено до неопределяемого уровня во время экстракции под действием буфера для лизиса. Тем не менее, жизнеспособные эндоспores сохранялись и после экстракции. Реализация этапа фильтрации после выделения ДНК успешно устранила жизнеспособные споры без ущерба для ДНК человека. В исследовании отмечается,

² National Research Council / Strategies to Protect the Health of Deployed U.S. Forces: Force Protection and Decontamination, Washington, DC: The National Academies. Press; 1999. URL: <https://doi.org/10.17226/9717> (дата обращения: 09.05.2025).

что длительное загрязнение образцов определенными биологическими агентами препятствует возможности завершить генетическое профилирование, что подчеркивает важность быстрых и эффективных мер по обеззараживанию [36].

Боевые отравляющие вещества представляют собой сложное полотно интерференции, когда речь идет о ДНК. Wilkinson с соавт. [35] продемонстрировали, что некоторые агенты, такие как цианистый водород, зарин, фтороацетат натрия и диазинон, не ингибируют профилирование ДНК. Тем не менее, алкилирующая природа других веществ, таких как сернистый иприт и диметилсульфат, и окислительная природа других, таких как хлор и фосген, могут не только разрушать ДНК, но даже привести к полной потере генетического материала [35].

Детальное понимание того, как следы ДНК сохраняются на месте химического инцидента, призвано помочь сформулировать наиболее приемлемый алгоритм работы, направленный на формирование доказательственной базы расследования данного инцидента [4, 41, 42].

Экспериментальное исследование по криминалистическому генотипированию в условиях воздействия дегазирующих рецептур на объекты-носители ДНК. В недавно проведенном швейцарскими учеными (из Школы криминалистики Лозаннского университета и Федерального управления гражданской обороны Швейцарии) исследовании были использованы 16 различных средств дегазации образцов крови и слюны. Образцы крови и слюны были нанесены на марлю, а затем подвергнуты воздействию дегазирующих рецептур. Впоследствии были проведены экстракция, количественное определение и профилирование ДНК, что позволило получить представление о влиянии процедуры обеззараживания на профили ДНК таких биологических следов. Обеззараживающие средства включали в себя общедоступные чистящие средства, такие как мыло, вода и отбеливатель, а также специальные обеззараживающие средства, специально разработанные для служб быстрого реагирования и групп по ликвидации последствий РХБ-инцидентов для борьбы с химическими и биологическими боевыми агентами [3]. В качестве носителей ДНК были выбраны две жидкости организма: цельная человеческая кровь и человеческая слюна. Они были выбраны, поскольку обычно содержат большое количество ДНК [43] и в целом обеспечивают большую воспроизводимость, чем сенсорная ДНК для исследовательских целей [44]. Ис-

следование проводилось с использованием как чистой, так и двукратно разбавленной крови, а также чистой и двукратно разбавленной слюны.

В исследовании использовалась неразбавленная человеческая кровь, обработанная ЭДТА, полученная от одного донора через банк крови. Кровь хранилась в холодильнике при температуре 4 °С. Двукратное разведение крови готовили с половиной объема крови и половиной объема стерильной воды. Разбавленную кровь также хранили в холодильнике при температуре 4 °С между использованием. Для слюны был проведен однократный отбор слюны от человека-донора. Донору было поручено заполнить стерильную пробирку объемом 15 мл между 8 и 9 часами утра перед завтраком [45]. Слюну хранили в морозильной камере при температуре минус 80 °С, чтобы избежать бактериальной деградации ДНК и улучшить сохранность ДНК [46]. Для приготовления разбавленных образцов слюны перед каждым использованием готовили двукратное разбавление слюны половиной объема слюны и половиной объема стерильной воды. После отбора проб кровь и слюна помещались на хранение в холодильник или морозильную камеру. Далее пробы – 10 мкл неразбавленной и разбавленной крови и 40 мкл неразбавленной и разбавленной слюны, содержащих ДНК, наносили на расчетный центр квадратов трехслойной стерильной марли (Toppers 12, Systagenix) размером 1,5 см×1,5 см. Марлевые квадраты высушивали при комнатной температуре в течение ночи. Для каждого образца марлевые квадраты помещались отдельно в предварительно очищенные стеклянные чашки Петри. Марлевые квадраты и чашки Петри предварительно подвергались воздействию ультрафиолетового света (254 нм) в течение 30 минут для предотвращения загрязнения ДНК, остающегося на марле или чашках Петри. Дегазирующие рецептуры были выбраны таким образом, чтобы был представлен широкий спектр таких средств (таблица 1).

Марли подвергали воздействию дегазирующих рецептур различной продолжительности в соответствии с инструкциями производителя. Для погружения, на марлю в каждую чашку Петри, наливали по 15 мл дегазирующего вещества. Для распыляемых обеззараживающих средств, на марлю распыляли рецептуры до полного покрытия и впитывания. Порошки и средство RSDL высыпали на марли до полного их покрытия. Дегазацию проводили при комнатной температуре. После нанесения дегазирующих

рецептур марли были удалены и помещены в чистые чашки Петри с помощью стерилизованного пинцета, при этом никаких действий по удалению излишков дегазирующих рецептов с марли не предпринималось. Марлевые квадраты, содержащие ДНК, высушивали при комнатной температуре в течение ночи в закрытых чашках Петри, чтобы предотвратить контаминацию. Процедура была проведена в трех повторностях для каждого обеззараживающего средства и каждой комбинации жидкостей организма. Три образца крови и слюны были также равномерно нанесены на марлю для каждой концентрации без какой-либо обработки, для установления эталонных результатов (контроля) для каждой концентрации. Один чистый образец (т.е. марля без какой-либо ДНК) был проде-

газирован каждой рецептурой для чистоты эксперимента в качестве контроля [3].
Анализ ДНК проводили через ряд этапов: экстракция, количественная оценка, амплификация и секвенирование. Тем не менее, два конкретных этапа были особенно значимыми в данном исследовании. Во-первых, были собраны данные количественной оценки для изучения влияния обеззараживающих веществ на количество ДНК, которое может быть извлечено из этих образцов. Эти данные затем послужили основой для дальнейшей подготовки образца, определяя необходимое количество экстракта для амплификации. Впоследствии ампликоны подвергали анализу с помощью капиллярного электрофореза, при этом оценка восстановления профиля короткого tandemного повторения (STR) проводи-

Таблица 1 – Описание дегазирующих рецептов и их применение на основе инструкций производителей
Table 1. Description of decontaminating mixtures and their use according to manuals provided by manufacturers

№ п/п / No	Основной механизм дегазации / Basic decontamination mode	Дегазирующие рецепты (производитель/поставщик) / Decontaminating mixtures (manufacturer/supplier)	Действующие активные вещества / Active ingredients	Способ дегазации / Decontamination method	Экспозиция, мин / Exposure time, min
1	Физическое удаление / Physical removal	Вода* (водопроводная) / Tap water*	-	Погружение / Submersion	5
		Мыльная вода* ~0,1 % (по объему) (водопроводная вода с моющим средством «Handy») / Soapy water* ~0,1% (per volume) (tap water with «Handy» ^a detergent)	-	Погружение / Submersion	5
		Изопропанол* (Sigma-Aldrich >99,8 %) / Isopropyl alcohol* (Sigma-Aldrich >99,8%)	-	Погружение / Submersion	5
		SkinNeutrAll®* (Ilma Biochem) / SkinNeutrAll* (Ilma Biochem)	Аскорбиновая кислота / Ascorbic acid	Спрей / Spraying	5
2	Адсорбция+ Окисление / Adsorption+ Oxydation	CHpowder (Служба поддержки командования вооруженных сил Швейцарии) / CHpowder (Swiss Armed Forces officership support service)	Хлорированная известь (гипохлорит кальция), оксид магния / Chlorinated lime (calcium hypochlorite), magnesium oxide	Порошок / Powdering	1,5
		FastAct® (Enware)	Оксид магния, оксид титана / Magnesium oxide, titanium oxide	Порошок / Powdering	1,5
3	Нуклеофильное замещение / Nucleophilic substitution	GDS2000 (Karcher)	2-Аминоэтанол, диэтилентриамин / 2-aminoethanol diethylene triamine	Спрей / Spraying	10
		GD6 (OWR)	Аминоэтанол / Aminoethanol	Спрей / Spraying	10
		RSDL® (Emergent Bio)	2,3-бутандионмоноксим / 2,3-Butanedione monoxime	Восстановление ^b / Reduction ^b	2

Продолжение таблицы 1

№ п/п / No	Основной механизм дегазации/ Basic decontamination mode	Дегазирующие рецептуры (производитель/поставщик)/ Decontaminating mixtures (manufacturer/supplier)	Действующие активные вещества / Active ingredients	Способ дегазации / Decontamination method	Экспозиция, мин / Exposure time, min
4	Окисление / Oxidation	Alldecont (OWR)	Гипохлорит натрия / Sodium hypochlorite	Погружение / Submersion	2
		BX24 ~10 % (по массе на объем) (Cristianini) / BX24 ~10% (volume per mass) (Cristianini)	Дихлоризоцианурат / Dichloroisocyanurate	Погружение / Submersion	15
		Bleach (Potz)	Гипохлорит натрия / Sodium hypochlorite	Погружение / Submersion	5
		Wasa®-Soft & Clarina® ~2,5 % (по объему и по массе на объем) (Lysoform) / Wasa®-Soft & Clarina® ~2.5% (volume per volume and volume per mass) (Lysoform)	Тозилхлорамид натрия / Tosylchloramide sodium	Погружение / Submersion	2
		Virkon®S ~1 % (по массе) (Lanxess) / Virkon®S ~1% (in mass) (Lanxess)	Пентакалий бис(перокси- моносulfат) бис(суль- фат), бензолсульфоновая кислота / Pentapotasium bis(peroxymonosulfate) bis(sulfate), benzenesulfonic acid	Погружение / Submersion	10
		Vaprox разбавленный ~10 % (по объему) (Steris) / Vaprox diluted~10% (in volume) (Steris)	Перекись водорода / Hydrogen peroxide	Погружение / Submersion	15
		Вофастерил ~2 % (в/в) (Kesla) / Wofasteril~2% (i/v) (Kesla)	Надуксусная кислота / Peracetic acid	Спрей / Spraying	60
Примечание. *Исследован как метод удаления, но с возможностью гидролиза. ^a Швейцарский производитель моющих средств для мытья посуды Migros. ^b Изъято вместе с веществом. Таблица адаптирована авторами из работы I. Radgen-Morvant с соавт. [3]. Notes. *Studied as method of removal but with a possibility of hydrolysis. ^a Swiss manufacturer of dish wash detergents Migros. ^b Withdrawn along with the substance. The table is adapted by the authors of this paper from I. Radgen-Morvant et al. [3].					

лась путем комбинированного анализа каж-
дого дубликата [3].

ДНК швейцарские ученые извлекали из
каждой марли с помощью комбинированного
использования набора Investigator Lyse&Spin
Basket Kit (Qiagen AG) и QIAamp DNA Mini
Kit (Qiagen AG) в соответствии с процедурой,
установленной судебно-генетической лабо-
раторией, аккредитованной по стандарту
ISO 17025. Марли были помещены в трубки
с вращающимися корзинами. В каждую
пробирку добавляли 180 мкл ATL-буфера и

20 мкл протеиназы К. Затем пробирки под-
вергали интенсивному перемешиванию на
качалке и инкубировали в течение 1 ч при
56 °C при 500 об/мин на термокачалке (BioSan,
TS-100). Пробирки со спиновой корзиной
были подвергнуты окончательному центри-
фугированию через 5 мин при 12000 об/мин.
Затем спиновую корзину и марлю удаляли,
а ДНК очищали в соответствии с проце-
дурой, предусмотренной мини-набором
QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen AG) [48]. По-
ложительный контроль (мазок с 50 мкл

1/250 разбавленной крови от известного донора) и отрицательный контроль (пустая спиновая корзина) сопровождали каждую экстракцию.

Количественную оценку ДНК проводили с помощью набора Quantifiler Trio DNA Quantification Kit (Applied Biosystems от Thermofisher Scientific) в соответствии с инструкциями производителя. Количественное определение проводилось с помощью системы ПЦР в реальном времени QuantStudio 5 (Applied Biosystems – Thermofisher) и соответствующего программного обеспечения для анализа ПЦР в реальном времени HID. Каждый образец экстракции был количественно определен дважды, как показано на рисунке 1.

Для амплификации ДНК на 3×32-луночной ПЦР-системе ProFlex 3 (Applied Biosystems by LifeTechnologies – Thermofisher Scientific) использовался набор для амплификации ПЦР AmpFLSTR NGM SElect (Applied Biosystems by LifeTechnologies – Thermofisher Scientific). Выбранный набор нацелен на 16 локусов STR (короткий tandemный повтор) и амелогенин с использованием 5 мкл экстракта ДНК в общем объеме ПЦР 25 мкл, когда его концентрация составляла менее 0,1 нг/мкл. Если концентрация была выше, объем экстракта ДНК, добавляемого к объему ПЦР, уменьшали. При концентрации выше 0,75 нг/мкл образцы разбавляли для

получения концентрированного экстракта с концентрацией 0,5 нг/мкл. ДНК из каждой экстракции амплифицировали дважды с использованием одних и тех же условий (две репликации на образец, рисунок 1). Исследования сопровождалось положительным и отрицательным контролями

Программа термоциклирования включала в себя начальную денатурацию при температуре 95 °C в течение 11 мин, за которой следовали 30 циклов денатурации при температуре 94 °C в течение 20 с и отжиг при температуре 59 °C в течение 3 мин. Процесс завершался удлинением локусов при температуре 60 °C на 10 мин. После завершения реакции флаконы временно хранили в термическом амплификаторе, поддерживая температуру 4 °C в течение неопределенного времени, прежде чем они были помещены в морозильную камеру при температуре минус 20 °C.

Образцы готовили для анализа капиллярного электрофореза путем дозирования в каждую лунку 9,5 мкл Hi-Di formamide (Applied Biosystems) и 0,5 мкл GeneScan-600 LIZ (Applied Biosystems by LifeTechnologies – Thermofisher Scientific) и добавляли по 1 мкл каждого амплифицированного образца. Для 96-луночного планшета в нижней части каждой колонны было добавлено двенадцать стандартов аллельных лестниц. После переноса образцов планшеты были покрыты подушечками для перегородок и непосредственно загружены в генетический анализатор 3500 для секвенирования. Амплифицированная ДНК была проанализирована с помощью генетического анализатора 3500 (Applied Biosystems by LifeTechnologies – Thermofisher Scientific) в соответствии со стандартными процедурами.

Данные количественного анализа исследовались с помощью интегрированных инструментов, предоставляемых настольным программным обеспечением QuantStudio Design and Analysis, оценивая правильное усиление путем визуализации графика усиления и стандартной кривой на основе эталонных значений. Количественные значения и индекс деградации (DI) были получены в Excel. Количественные результаты сначала были изучены сами по себе, а затем сопоставлены с индексом деградации, предоставленным набором для количественного определения ДНК Quantifiler Trio. Этот DI оценивает деградацию ДНК путем фрагментации на основе соотношения между концентрацией малых и больших аутомомных ампликонов (т.е. в случае набора для количественного определения Trio, соответ-

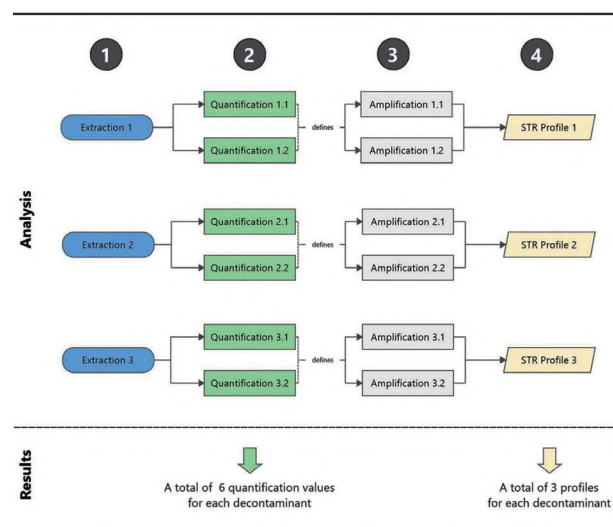


Рисунок 1 – Процесс сбора данных ДНК для каждого дегазирующего вещества и каждого разведения образца (рисунок адаптирован авторами из работы I. Radgen-Morvant с соавт. [3])

Figure 1: DNA data collection for each decontaminant agent and diluted sample (the figure is adapted by the authors of this paper from I. Radgen-Morvant et al. [3])

ственно аутосомная мишень 80.о. и «мишень деградации» 214.о.) [49]. Значения DI ниже порогового значения производителя 1,5–2 указывали на отсутствие деградации ДНК, а значения DI выше 10 указывали на сильную деградацию ДНК [49].

Следуя руководству пользователя QuantStudio³ и опираясь на предыдущие исследования S. Vernarecci с соавт. [50], было продемонстрировано, что сочетание количественного значения с DI может обеспечить надежное прогнозирование шансов на восстановление профиля. В случаях химических инцидентов с большим количеством образцов, комбинация количественных значений с DI может предоставить централизованную информацию для сортировки и помочь определить образец, который следует анализировать в первую очередь. Учитывая ожидаемую деградацию и чувствительность ко времени, которые могут быть важны в таких случаях, изучение этого подхода казалось привлекательным с учетом изучаемого контекста. На основе процесса прогнозирования S. Vernarecci с соавт. (рисунок 2), в сочетании с критериями оценки, установленными в таблице 2, проводилась оценка возможности предвидеть вероятность полного восстановления профиля с учетом количества ДНК и DI [50].

Для обработки данных профиля ДНК швейцарскими учеными использовалось программное обеспечение GeneMapper ID-X (v1.4, Life Technologies). Аналитические пороговые значения для интерпретации профильных данных были установлены на ос-

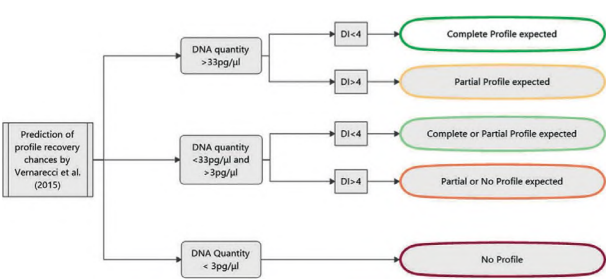


Рисунок 2 – Дерево прогнозирования восстановления профиля на основе опубликованных данных S. Vernarecci с соавт. [50]
Figure 2: DNA profile recovery forecast tree (constructed based on the data from S. Vernarecci et al. [50])

нове протоколов, применяемых швейцарской лабораторией, аккредитованной в области судебной генетики, для выявления следов в реальных делах. Аналитические пороги в GeneMapper были установлены на уровне 70 RFU (относительных единиц флуоресценции) для синего, желтого и зеленого флуорофора и 100 RFU для красного флуорофора.

После назначения программного обеспечения аллеля идентификация и исправление любых артефактов, включая подтягивание, впадение и выпадение, были проведены в соответствии с предоставленными протоколами. Для каждой экстракции определяется профиль ДНК на наличие аллеля, если в обоих анализах аллель правильно обнаружен и атрибутирован. Для окончательной оценки были определены три категории: полный профиль, частичный профиль и отсутствие

Таблица 2 – Категории оценки профилей ДНК
Table 2. Evaluation types for DNA profiles

Категория / Type	Описание / Description
Полный профиль / Full profile	Если все 16 локусов и маркер амелогенина имели каждый аллель рассматриваемого индивидуума, результат рассматривался как полный профиль / If all 16 locuses and amelogenin marker had each allele of the subject in question, the profile was considered a full one
Частичный профиль / Partial profile	Если по крайней мере 6 локусов имели все аллели рассматриваемого индивидуума, результат считался частичным профилем / If at least 6 locuses had all the alleles of the subject in question, the profile was considered a partial one
Нет профиля / No profile	Если менее 6 локусов имели все аллели рассматриваемого индивидуума, результат рассматривался как непрофильный / If less than 6 locuses had all the alleles of the subject in question, there was no profile
Примечание. Таблица составлена авторами на основе данных S. Vernarecci с соавт. [50]. Note. The table is compiled by the authors of this article based on the data from S. Vernarecci et al. [50].	

³ Thermo Fisher, Quantifiler™ HP and Trio DNA Quantification Kits - User Guide; 2018. URL: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/4485354.pdf> (дата обращения: 10.05.2025).

профиля в соответствии с критериями, представленными в *таблице 2*. Критерии были определены на основе рекомендаций по интерпретации, предоставленных швейцарской аккредитованной судебно-генетической лабораторией, и аналогично подходу, выбранному Helmus с соавт. [21]. Как полный, так и частичный профиль соответствуют требованиям, предъявляемым к отправке одного профиля в швейцарскую базу данных CODIS. Кроме того, наблюдалась форма профиля и отмечались элементы деградации ДНК. В частности, профили были изучены для выявления наличия «эффекта горнолыжного склона». Этот эффект может быть визуализирован на электроферограмме с помощью больших пиков в коротких ампликонах и малых пиков в длинных ампликонах и указывает на фрагментацию цепи ДНК и общую деградацию ДНК [13, 20, 51].

Все положительные и отрицательные контроли экстракции, а также все положительные и отрицательные контроли амплификации дали ожидаемые результаты (отсутствие аллелей в отрицательном контроле, полные и согласующиеся профили для положительного контроля экстракции и амплификации), что свидетельствует об успешном завершении всех этапов и позволяет констатировать успешный анализ экстракции, амплификации и капиллярного электрофореза [3]. Для количественной оценки стандарты

для калибровочной кривой соответствовали ожидаемым значениям, предоставленным производителем [51]. Эталонные образцы позволили получить полные профили и были использованы для оценки восстановления профиля для каждого обеззараживающего вещества. В пустом образце, обработанном исключительно обеззараживающими средствами, не было обнаружено присутствия ДНК, и, следовательно, из него не удалось извлечь профиль, что указывает на отсутствие загрязнения ДНК. Красный цвет крови стал первым визуальным признаком последствий воздействия дегазирующих средств (*таблица 3*). Однако, хотя эти наблюдения указывают на реакцию, они не обязательно указывают на их влияние на ДНК, присутствующую в крови [3].

В случае водопроводной и мыльной воды наблюдение за разжижением и растворением крови из марли позволяет предположить эффект смывания. Изменение цвета с красного на коричневый в случае применения Bleach, Aldecont, BX24 и WasaSoft & Clorina может проиллюстрировать предпочтительное окислительное действие на железосодержащие молекулы [52], и может указывать на ускоренное окислительное действие на гемоглобин и его превращение в метгемоглобин, который имеет темно-красно-коричневую окраску [53]. Присутствующая в крови ДНК также может быть повреждена [54, 55].

Таблица 3 – Визуальное наблюдение за марлей и реакцией крови с обеззараживающим веществом
Table 3. Visual inspection of gauze and change of blood after decontaminating agent exposure

Обеззараживающие средства / Decontaminating agent	Модификация проявления крови на марле / Changes of blood on the gauze
Вода / Water	Кровь частично растворена/вымыта / The blood is partially diluted/outwashed
Мыльная вода / Soapy water	Кровь частично растворена/вымыта / The blood is partially diluted/outwashed
Изопропанол / Isopropyl alcohol	Никаких изменений не замечено / There is no change detected
SkinNeutrAll	Никаких изменений не замечено / There is no change detected
CHpowder	Белый налет на крови из-за остатков порошка / The blood has a white bloom because of the powder debris
FastAct	Белый налет на крови из-за остатков порошка / The blood has a white bloom because of the powder debris
GDS2000	Никаких изменений не замечено / There is no change detected
GD6	Кровь приобретает розовую окраску и сворачивается / The blood discolours to pink and coagulates
RSDL	Кровь приобретает более темный цвет / The blood color becomes darker
Aldecont	Цвет крови меняется на коричневый / The blood color changes to brown
BX24	Цвет крови меняется на коричневый / The blood color changes to brown
Bleach	Цвет крови меняется на коричневый/зеленый / The blood color changes to brown/green
Wasa-Soft & Clarina	Кровь частично растворяется и цвет крови меняется на коричневый / The blood is partially diluted and the blood color changes to brown

Продолжение таблицы 3

Обеззараживающие средства / Decontaminating agent	Модификация проявления крови на марле / Changes of blood on the gauze
Virkon	Цвет крови меняется на желтый / The blood colour changes to yellow
Vaprox	Образовалась пена, и никаких видимых пятен крови не осталось / Foam appears and there are no visible signs of blood at all
Vofasteril	Цвет крови меняется на желтый / The blood colour changes to yellow
Примечание. Таблица адаптирована авторами из работы I. Radgen-Morvant с соавт. [3]. Note. The table is adapted by the authors of this article from I. Radgen-Morvant et al. [3].	

Vaprox, содержащий перекись водорода, привел к реакции пенообразования, в основном задокументированной как реакция с ферментом каталазой крови, которая приводит к высвобождению кислорода [56, 57]. После воздействия Vaprox на марле не осталось видимой крови, что указывает на возможную потерю ДНК [58]. Перекиси обычно реагируют через так называемую реакцию Фентона с формами железа, присутствующими в крови [59]. Этот путь реакции может способствовать окислительному процессу и изменению окраски крови к желтоватому оттенку. Кроме того, перекись водорода может привести к механизму реакции Габера-Вейса с ионами железа, в результате которой образуются гидроксильные радикалы. Эти радикалы обладают высокой реакционной способностью и способностью разрушать ДНК [60].

Для Vofasteril и Virkon наблюдалось изменение желтоватого цвета/исчезновение, что свидетельствует об их окислительном действии на кровь, хотя подробные механизмы не могут быть доказаны. Как и в случае с Vaprox, можно было бы ожидать потери ДНК с этими обеззараживающими веществами. GD6 индуцировал розовую окраску кровавых пятен, основной химический состав которых остается неясным, но можно ожидать эффекта связывания железа. Порошки (FastAct и CNpowder), изопропанол, GDS2000 и SkinNeutrAll визуально не воздействовали на пятна крови. Эти визуальные наблюдения за изменениями цвета указывают на реакции между кровью и обеззараживающими веществами. Тем не менее, сложная смесь крови исключает экстраполяцию воздействия этих обеззараживающих веществ на ДНК, содержащуюся в крови. Очевидно, что механизмы реакции могут быть разнообразными, что подчеркивает необходимость изучения того, как эти различные методы обеззараживания

влияют на судебно-медицинское профилирование ДНК [3].

Общее количество ДНК, выделенной швейцарскими учеными из неразбавленной и разбавленной крови, сильно варьировало от 0 до 8000 пг/мкл, в зависимости от используемого обеззараживающего средства (рисунок 3).

Для неразбавленной и разбавленной слюны было обнаружено, что количество восстановленной ДНК в целом ниже. Самая высокая концентрация была чуть ниже 3000 пг/мкл, а в некоторых образцах ДНК не обнаруживалась. По сравнению с образцами крови, образцы слюны демонстрировали меньшую вариабельность количественной оценки и, как правило, имели более низкие концентрации ДНК. Тем не менее, различия между тремя различными видами экстракции все же были заметны. Количественные реплики в рамках одной и той же экстракции, как правило, показали меньшие вариации для слюны, чем для крови, где наблюдалось до 85 % относительного стандартного отклонения (РСД) между репликами одной и той же экстракции [3].

В образцах неразбавленной крови только четыре деконтаминанта (RSDL, SkinNeutrAll, BX24 и Virkon) дали более двух репликантов с количественными результатами ниже 30 пг/мкл, что указывает на хорошее восстановление количества ДНК после обработки почти всеми деконтаминантами. В образцах разбавленной крови ДНК не была обнаружена ни в одном из репликатов BX24, Bleach и Virkon. В неразбавленных образцах слюны не была обнаружена ДНК ни в одном из шести репликатов отбеливателя и Virkon, а для BX24 и Vaprox наблюдались только очень низкие концентрации ДНК (от 0 до 14 пг/мкл). Для разбавленных образцов слюны, в дополнение к отбеливателю и Virkon, BX24 не давал восстанавливаемой ДНК, в то время

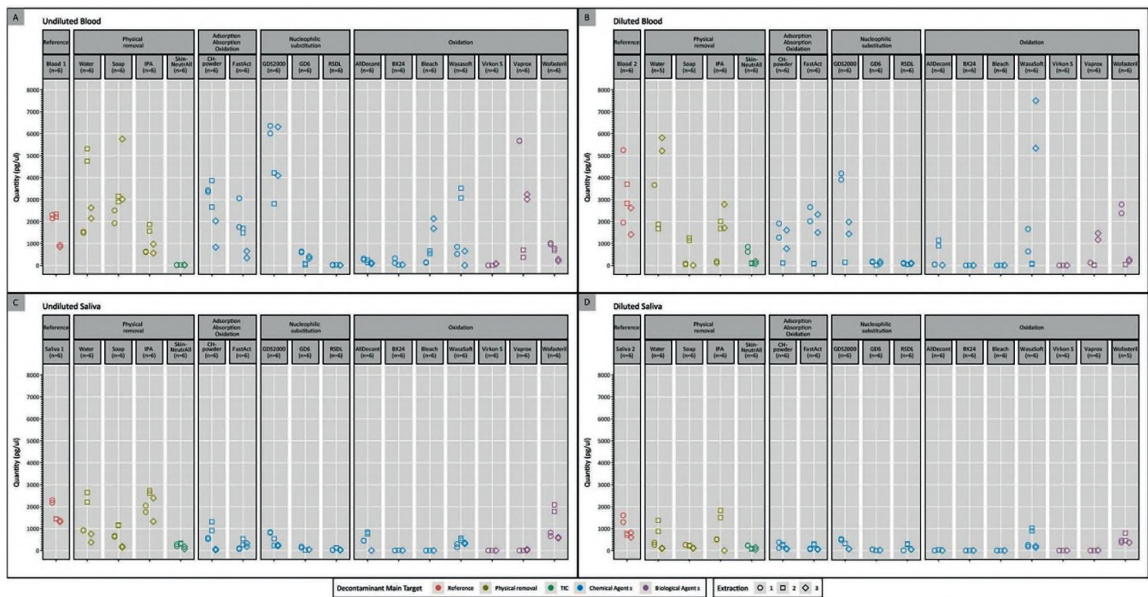


Рисунок 3 – Диаграмма рассеяния концентрации ДНК адаптирована авторами из работы I. Radgen-Morvant с соавт. [3]
Figure 3: DNA concentration scatter graph (the figure is adapted by the authors of this paper from I. Radgen-Morvant et al. [3])

как AlIdecont и Vaproх имели концентрации ДНК ниже 30 пг/мкл [3].

Кровь и слюна являются сложными жидкостями, и хотя кровь в целом содержит большое количество ДНК, ее состав также включает в себя различные белки и элементы, которые могут мешать в процессе экстракции и количественного определения, способствуя более высокой вариабельности количественных результатов ДНК. Предварительные тесты (результаты не показаны) также показали, что процесс экстракции может вызывать высокую вариабельность [11], как и субстрат, из которого извлекается ДНК. Первые тесты проводились с кровью, нанесенной на 100 % хлопчатобумажную ткань, как было протестировано Wilkinson с соавт. [33]. Тем не менее, эффективность экстракции была признана низкой, и поэтому в качестве альтернативы была использована марля. Это еще раз подчеркивает решающее влияние субстрата на успех в реальных случаях, как упоминают Sewell с соавт. [61].

Таким образом, наблюдаемая внутривариабельность может быть прослежена до первоначальных различий в количестве ДНК из образца на марле, процедуры экстракции и самого процесса количественного определения. Об этом свидетельствует внутривариабельность, наблюдаемая в эталонных образцах, которые не подвергались процессу обеззараживания, но все же демонстрируют значительную изменчивость. Тем не менее,

большое количество рекомбинантной ДНК было восстановлено. Продвижение по этой изменчивости имеет важное значение для того, чтобы определить, какие аспекты не могут быть отнесены к типичной изменчивости этих процессов.

Использовавшиеся швейцарскими учеными дегазирующие рецептуры, которые дали небольшое количество ДНК, особенно ценны для четкой интерпретации, поскольку они свидетельствуют о вредном воздействии дегазатора на восстановление ДНК, которое не может быть объяснено внутривыборочной вариацией или методом экстракции и количественной оценки ДНК. По количественным результатам всех четырех типов протестированных образцов Virkon оказал наиболее значительное негативное влияние, поскольку практически не была восстановлена ДНК ни для крови, ни для слюны. BX24 и Bleach проявили аналогичные свойства, поскольку из неразбавленной крови и слюны было восстановлено лишь минимальное количество ДНК, и не было восстановлен вообще генотип из разбавленных образцов. Для Vaproх относительно большое количество ДНК было восстановлено из неразбавленной крови, но количество было значительно ниже для разбавленной крови и образцов слюны. Изопропанол и WasaSoft/Chlorina и Vofasteril имели в целом высокие результаты количественного определения, но также имели высокую вариабельность в рамках различных

экстракций, что свидетельствует о влиянии на ДНК, хотя и менее выраженным и менее повторяемым образом.

Среди других обеззараживающих средств (т.е. мыла, GD6, RSDL, SkinNeutrAll и Alldecont) вариации и более низкие количественные значения ДНК позволяют предположить, что некоторые из них действительно разрушают или удаляют ДНК, хотя и не обязательно достаточно, чтобы установить четкую тенденцию. Вода, GDS2000, а также CNPowder и FastAct, по-видимому, не оказывали прямого влияния на количество доступного материала ДНК при нанесении на кровь.

Швейцарские ученые для дальнейшего изучения полученных результатов использовали значения DI, которые для образцов слюны в основном варьировались от 1 до 3, по сравнению с образцами крови, для которых большинство DI были ниже 1 (рисунок 4). Учитывая состав слюны с многочисленными ферментами, которые, как известно, разрушают ДНК, такой исход не является неожиданным [62].

Анализ результатов, полученных швейцарскими учеными-криминалистами. Образцы, которые показали высокие значения DI (>4), были образцами, продегазированными GD6, SkinNeutrAll, RSDL, Vaprox, Virkon и Vofasteril. Vaprox, Virkon и Vofasteril – это обеззараживающие средства, разработанные, в первую очередь, для эффективной борьбы с биологическими агентами и обычно используемые для борьбы с патогенами и дезинфекции поверхностей, но также находят применение и для деконтаминации токсичных химикатов, особенно – высокомолекулярных токсинов типа рицина⁴. Неудивительно, что они в отношении клеток человека воспроизводят такой же механизм дегазации, как и на микроорганизмы, что приводит к деградации ДНК. Использование дерева решений (рисунок 2) и пороговое значение DI, равное 4 (чтобы учесть возрастающую деградацию образцов слюны), только 49 из 384 количественных образцов имели значение DI выше 4. Большинство этих образцов были обеззаражены вофастерилом (рисунок 4).

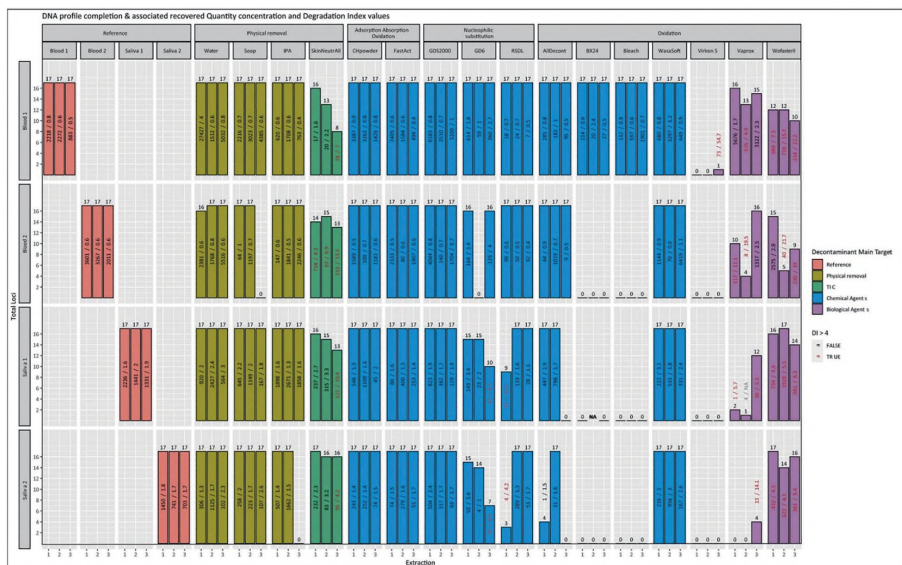


Рисунок 4 – Полное восстановление локусов и профиля. Среднее количественное определение и значения DI для каждого извлечения записаны в центре столбца. Извлечения, которые дали среднее значение DI выше 4, записываются красным цветом (рисунок адаптирован авторами из работы I. Radgen-Morvant с соавт. [3])

Figure 4: Full recovery for locuses and profile. Mean measurements and DI values for each extraction are written in the middle of the column. Extractions with mean DI > 4 are marked red (the figure is adapted by the authors of this paper from I. Radgen-Morvant et al. [3])

⁴ Arovet, Virkon S. 2022. URL: <https://www.arovet.ch/fr/produkte/virkon-s/> (дата обращения: 04.05.2025).
Kesla, Konzentrierte Peroxyessigsäure für die Desinfektion in Krankenhaus und Praxis – Wofasteril; 2016. URL: <https://www.kesla.de/produkte/wofasteril/> (дата обращения: 04.05.2025).
Steris / Vaprox Hydrogen Peroxide Sterilant | STERIS Life Sciences; 2022. URL: <https://www.sterislifesciences.com/products/equipment/vhp-sterilization-and-biodecontamination/vaprox-hydrogen-peroxide-sterilant> (дата обращения: 10.05.2025).

RSDL, GD6 и SKinNeutrAll примечательны тем, что, хотя различное количество ДНК могло быть восстановлено в образцах, продегазированных этими веществами, их DI предполагает, что произошла некоторая деградация ДНК, и в результате можно было ожидать частичных профилей. Применяя вышеупомянутые критерии решения S. Vernarecci с соавт. [50], профилирование STR после этих обеззараживающих веществ должно предусматривать только частичное восстановление профиля, что и было сделано. Объединив количество и индекс деградации ДНК и применив подход S. Vernarecci с соавт. [52], прогноз для полного, частичного или отсутствующего профиля совпал в 93 % случаев с полученными результатами профиля.

Для неразбавленной крови один де-контаминант (Virkon) не дал профиля, три (SkinNeutrAll, Vaprox и Vofasteril) дали частичные профили, в то время как 12 других дали полные профили ДНК (рисунок 4). Для разбавленных образцов крови наблюдались аналогичные тенденции, с двумя дополнительными дегазирующими веществами, BX24 и Bleach, что привело к отсутствию профиля ДНК. Второе извлечение неразбавленного образца слюны для BX24 привело к получению профиля с несколькими аллелями, которые не могли быть отнесены к донору. Интерпретация этого профиля была затруднена, и, чтобы избежать ложной интерпретации, он не рассматривался далее (помечен как NA на рисунке 4). Образцы, подвергшиеся воздействию GD6, привели к получению двух частичных профилей, хотя отсутствовал только один локус, а при одном извлечении профиль ДНК не был восстановлен. Для одного образца разбавленной крови, подвергшейся воздействию мыла, профиль не был восстановлен.

Для неразбавленной слюны 7 обеззараживающих веществ дали полные профили для всех трех удалений. CHPowder, FastAct, GDS2000, WasaSoft/Clorina и вода обеспечили полное восстановление профиля как для неразбавленных, так и для разбавленных образцов слюны и в целом не показали никаких признаков деградации ДНК. BX24, Bleach и Virkon не дали никаких характеристик ни для неразбавленной, ни для разбавленной слюны. В то время как одна экстракция мылом не дала четкий профиль ДНК для неразбавленной крови, аналогичная ситуация имела место при одной экстракции разбавленной слюны под воздействием изопропанола, где не было восстановлено ДНК или профиль ДНК.

Аналогичные тенденции наблюдались между неразбавленными и разбавленными

образцами слюны. GD6, SkinNeutrAll и Vofasteril получили по три частичных профиля. RSDL позволил восстановить два полных профиля и один частичный профиль для обеих концентраций слюны. Alldecont получил два полных профиля, хотя одна экстракция не привела к профилю для неразбавленной слюны и только один полный профиль для разбавленной слюны. Использование Vaprox не приводило к восстановлению профиля для разбавленной слюны и позволяло только одно частичное восстановление профиля для неразбавленной слюны.

Исследование пораженных маркеров на предмет частичных профилей выявило симптоматический «эффект горнолыжного склона» на них. Что касается неразбавленной крови, то все три обеззараживающих вещества с частичными профилями (т.е. Vaprox, Vofasteril и SkinNeutrAll) продемонстрировали этот эффект, подчеркивая повреждение ДНК. Не препятствуя восстановлению полных профилей, «эффект горнолыжного склона» также наблюдался на электрофореграммах неразбавленных образцов крови, обеззараженных GD6.

Для разбавленной крови и образцов слюны указанный эффект снова был замечен для Vofasteril, Vaprox, GD6 и SkinNeutrAll в соответствии со значениями $DI \geq 4$, что привело к частичному восстановлению профиля, как и ожидалось при использовании подхода S. Vernarecci с соавт. [50].

В образцах слюны, подвергшихся воздействию RSDL, наблюдались дополнительные признаки «эффекта горнолыжного склона». При одном экстрагировании неразбавленной и разбавленной слюны, подвергшейся воздействию RSDL, наблюдалась сильная деградация, приводящая к частичному профилю для неразбавленного образца и отсутствию профиля для разбавленного.

Образцы, подвергшиеся воздействию Vaprox, продемонстрировали снижение восстановления профиля при уменьшении количества ДНК. В то время как из неразбавленных образцов крови были выделены три частичных профиля с разумным количеством локусов, из разбавленных образцов слюны не удалось получить никаких профилей. Alldecont и GD6 показали схожие с Vaprox тенденции к деградации. Все три экстракции дали полные профили неразбавленных образцов крови на оба обеззараживающих вещества. Однако для разбавленной слюны Alldecont допускал только одно полное восстановление профиля и два без профилей, в то время как GD6 приводил к частичным

профилям для всех трех экстракций. По мере того, как доступность генетического материала уменьшалась, шансы на восстановление профиля для этих трех обеззараживающих веществ уменьшались. Кроме того, доступная ДНК была более деградированной, о чем свидетельствуют более высокие случаи выпадения аллелей в более длинных ампликонах для этих деконтаминантов.

SkinNeutrAll и Wofasteril⁵, с другой стороны, имели схожие тенденции с достаточно высоким количеством ДНК, восстанавливаемой как в крови, так и в слюне, но с высокими значениями DI. Это привело к частичным профилям и визуальному уменьшению реакции на размер аллеля для маркеров более длинных ампликонов.

Итак, в контексте сценариев химических инцидентов, связанных с применением токсичных химикатов в нарушение КЗХО, эффективная сортировка доказательств имеет решающее значение для определения приоритетов ресурсов и оптимизации процесса криминалистических исследований для обеспечения расследования указанных инцидентов надежной доказательственной базой. Использование дегазирующих средств играет важную роль в этом процессе, направленном на быстрое и эффективное удаление отравляющих веществ для обеспечения безопасности людей, иногда не уделяя приоритетного внимания предметам, имеющим отношение к криминалистике. В нескольких исследованиях изучалось влияние деградированных или сложных образцов на способность выполнять последующее профилирование ДНК [6, 19, 22–24, 63–69]. Тенденции, наблюдаемые в ходе описанных в настоящей работе экспериментов, проведенных швейцарскими учеными, согласуются с существующими исследованиями [25–28, 33, 35], подчеркивая эффективность специфических дегазирующих средств в удалении ДНК. В частности, хлор и перекись водорода отрицательно влияют на профилирование ДНК, что согласуется с результатами исследования М. Nilsson с соавт. [28], который установил, что Virkon является наиболее эффективным средством уничтожения ДНК в следах на месте преступления. Различие между газообразной и жидкой формами в окислительных реакциях, особенно в отношении перекиси водорода, было описано М. Finnegan с соавт. [69].

Физические методы удаления, такие как вода, мыльная вода и изопропанол, в целом не препятствовали профилированию ДНК. Тем не менее, одна экстракция после воздействия мыла и одна экстракция после воздействия изопропанола не дали никакой ДНК. В реальных сценариях важно учитывать, что физическое действие средств по очистке часто включает в себя поток, который может привести к механическому удалению. Это потенциально может осложнить восстановление ДНК, хотя в анализируемом исследовании влияние оказалось минимальным. Время контакта этих обеззараживающих веществ также может играть ключевую роль, поскольку вода может вызывать реакции гидролиза на ДНК при длительном контакте.

SkinNeutrAll – это обеззараживающее средство, предназначенное для воздействия на различные токсичные промышленные химикаты (TIC) и может быть особенно актуально при тайном лабораторном обнаружении химических аварий⁶. Результаты показали вредное влияние на последующую типизацию STR с восстановлением в основном частичных профилей. Тем не менее, большинство из этих частичных профилей содержали достаточную информацию, чтобы их можно было использовать для целей сравнения. Хотя значения DI для GD6 и RSDL указывали на деградацию ДНК, в целом хорошие профили (полный или частичный профиль с высоким числом маркеров) могли быть восстановлены, и деградация все больше влияла на профилирование с уменьшением количества ДНК. Кроме того, GDS2000 никак не влиял на профилирование ДНК, независимо от количества. Точно так же порошки показали незначительное влияние на возможность профилирования ДНК.

Ограничением исследования может быть период времени, используемый для контакта с дегазирующими веществами. Прямое их воздействие на образцы крови и слюны было кратким в соответствии с указанным производителем временем эффективности (таблица 1). Тем не менее, после дегазации образцы высушивали в течение 24 часов, при этом остаточные дегазирующие вещества в это время все еще могли оказывать свое воздействие на образцы. Несмотря на то, что эти временные рамки относительно короткие,

⁵ Simplyforensic. The Impact of Water Exposure on Touch DNA Persistence. Simplyforensic; 2023.

⁶ European Commission. Final report summary - GIFT CBRN (generic integrated forensic toolbox for CBRN incidents) / FP7 / CORDIS Eur. Comm.; 2018. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/608100/reporting> (дата обращения: 04.05.2025).

EST biochem, Notfallsprays, EST Biochem GmbH (n.d.). URL: <https://www.est-biochem.com/shop> (дата обращения: 10.05.2025).

они являются вероятными в контексте химического инцидента, когда образцы ДНК считаются высокоприоритетными и быстро анализируются после сбора.

Проведенное швейцарскими учеными исследование позволило переоценить и показать что результаты количественной оценки сами по себе не являются надежным предиктором для полного восстановления профиля. В некоторых случаях было восстановлено небольшое количество ДНК, но были получены полные профили, и, наоборот, в других случаях было восстановлено большое количество ДНК, но получен только частичный профиль (рисунки 4). Таким образом, важно учитывать взаимосвязь между количеством ДНК и деградацией генома, чтобы оценить влияние конкретных ситуаций, в нашем случае процедур обезвреживания.

Сочетание значений количественного определения и индекса деградации, полученных с помощью наборов для количественного определения, проведения количественной оценки и количественного анализа ПЦР, может обеспечить стабильную оценку для реальных случаев, что позволяет проводить качественную сортировку в ситуациях с большим объемом образцов. Эта информация помогает в выборе оптимальных критериев для анализа STR-локусов, тем самым повышая вероятность успешного профилирования. В случаях деградации или малого количества ДНК можно предусмотреть индивидуализацию мишеней с помощью специализированной амплификации коротких STR или использования методов, альтернативных типированию STR ядерной ДНК. Кроме того, представленные швейцарскими криминалистами результаты свидетельствуют о том, что подход, предложенный S. Vernarecci с соавт. [50], использование порогового значения индекса деградации, равного 4, для набора количественной оценки Quantifiler Trio, является актуальным. Такой подход обеспечивает гибкость, позволяя использовать образцы, которые могут быть более деградированными, например, слюну.

Таким образом, из приведенного исследования, выполненного швейцарскими криминалистами, можно заключить, что дегазация с помощью окисления перекисью водорода, надуксусной кислотой или пероксимоносульфатом, как и использование хлорированных дегазирующих средств, обычно затрудняет последующее профилирование ДНК. С другой стороны, дегазирующие средства на органической основе или химические порошковые дегазирующие рецептуры вряд

ли будут препятствовать профилированию ДНК, и в случае их применения на месте химического инцидента есть хорошие шансы получить пригодные для использования профили для идентификации виновных в нем лиц.

Рекомендуемый алгоритм работы на месте химического инцидента, связанного с нарушением КЗХО. Исходя из приведенного анализа представленной зарубежными учеными-криминалистами информации, а также с учетом целей и задач расследования химического инцидента, связанного с применением токсичных химикатов в нарушение КЗХО, для одновременного обеспечения сохранности и возможности проведения полноценного экспертного исследования имеющейся на месте инцидента криминалистически значимой информации, локализации и эффективной ликвидации последствий инцидента, а также устранения угрозы для жизни и здоровья людей, животных и предотвращения дальнейшего загрязнения окружающей среды представляется целесообразным выполнять работы на месте инцидента в следующем порядке.

В первую очередь необходимо провести химическую разведку места инцидента, установить вид токсичного химиката, его концентрацию, степень химической зараженности местности, зданий, сооружений, предметов, а также степень угрозы для окружающей местности в случае, если мероприятия по дегазации не будут начаты незамедлительно. Если такая опасность будет оценена как значительная, в частности в случае применения свертотоксичных отравляющих веществ, обладающих одновременно достаточной и стойкостью, и летучестью, например, зомана, ви-икс или им подобных токсичных химикатов, то проведение дегазации необходимо начать немедленно, но с использованием только тех дегазирующих рецептур, которые не разрушают химическую структуру ДНК в следах биологического происхождения, которые могут быть оставленными на месте инцидента причастными к нему лицами. Опыт, полученный зарубежными учеными химиками-криминалистами, показал, что такие рецептуры существуют, например, в Швейцарии, а анализ их химической основы свидетельствует, что подобного рода свойствами могут обладать и рецептуры, которые уже имеются и на снабжении Вооруженных Сил Российской Федерации. Впрочем разработка таких рецептур может стать предметом отдельных научных исследований в системе Минобороны России с принятием по результатам на снабжение новых дегазирующих рецептур

с рассматриваемыми заданными целевыми свойствами.

Следующим этапом должно быть проведено тщательное обследование места инцидента на предмет выявления возможных следов лиц, причастных к его совершению. Особое внимание должно быть уделено выявлению следов, исследование которых может однозначно идентифицировать причастных к нему лиц, в первую очередь следов биологического происхождения, которые могут содержать ДНК-информацию. При выявлении данных следов следует, при наличии такой возможности, провести их предварительное исследование непосредственно на месте инцидента. При этом необходимо исключить полное израсходование вещества следа, так как в ходе непосредственно судебного следствия может потребоваться проведение повторных и уточняющих криминалистических экспертиз для подтверждения выводов исследований, проведенных на месте инцидента либо в лаборатории сразу после его локализации. Важно отметить, что образцы всех следов, в частности биологического происхождения – например, кровь и слюна – должны быть изъяты и упакованы для направления на дальнейшее исследование в лаборатории, в том числе аккредитованные в ОЗХО, в своем первоначальном виде, без обработки дегазирующими рецептурами, либо в крайнем случае обработаны только теми рецептурами, которые не разрушают вещество следа, особенно ДНК. В этой связи лаборатории, в которые будут направлены данные следы, должны иметь право (аккредитацию) на работу с объектами, подвергшимися заражению токсичными химикатами. Вместе с тем стоит обратить внимание на необходимость обеспечения проведения предварительного исследования биологических следов и генотипирования непосредственно на месте химического инцидента, что повысит оперативность его расследования в части установления причастных к нему, и особенно – виновных в нем лиц, для скорейшего их задержания и предания суду, а также принятия действенных мер международно-правового характера в случае, если данные лица действовали не в частном порядке, а как государственные служащие, выполнявшие преступные приказы своего руководства.

В распоряжении мобильных диагностических групп Минобороны России имеются мобильные комплексы ДНК-анализа на основе полимеразной цепной реакции, однако в настоящее время как они сами, так и использующие их специалисты в большей степени

«заточены» на выявление биологических поражающих агентов, а не генотипирование лиц, оставивших тот или иной биологический след. В этой связи целесообразно официально расширить функционал указанных групп, предусмотрев проведение ДНК-исследований в целях выделения из следов биологического происхождения генотипа оставившего данные следы лица, причастного к химическому инциденту, связанному с нарушением КЗХО. Это позволит проводить такие исследования непосредственно на месте химического инцидента, причем прямо во время его осмотра. Кроме того, аналогичным образом следует расширить функционал и химико-аналитической лаборатории 27 Научного центра имени академика Н.Д. Зелинского Министерства обороны Российской Федерации, аккредитованной в Организации по запрещению химического оружия, а также уведомить об этом официально данную Организацию. Это позволит проводить значительную часть комплекса криминалистических исследований и экспертиз, действительно необходимых для обеспечения расследований химических инцидентов, в одном научно-исследовательском учреждении.

До выявления, фиксации, изъятия и(или) проведения хотя бы предварительного исследования следов причастных к химическому инциденту лиц, мероприятия по специальной обработке на месте инцидента не проводятся. Однако все меры обеспечения безопасности персонала, привлекаемого к работе на месте химического инцидента по выявлению, протоколированию и исследованию обнаруженной криминалистически значимой информации, в первую очередь следов, в частности биологического происхождения, должны быть приняты и неукоснительно соблюдаться. Все сотрудники должны быть в соответствующих степени реальной опасности в средствах индивидуальной защиты, все оборудование должно быть пригодно к использованию по назначению в условиях химического заражения, а после проведения всех необходимых процедур подлежит дегазации вместе с использованной персоналом защитной одеждой. После завершения всех процедур, связанных с осмотром места химического инцидента, выявлением и исследованием следов, которые могут помочь установить виновных в нем лиц, следует провести специальную обработку места инцидента в порядке, предусмотренном соответствующими наставлениями и руководствами до полной ликвидации последствий инцидента.

Особо необходимо отметить, что все процедуры, связанные с выявлением, фиксацией, изъятием, а также исследованием оставленных на месте химического инцидента причастными к нему лицами следов должны осуществляться в строгом соответствии с действующим процессуальным законодательством. В противном случае результаты их исследования будут признаны недопустимыми доказательствами, полученными незаконным путем, и изъяты из доказательственной базы расследования химического инцидента, что не позволит привлечь к ответственности за данный инцидент даже реально виновных в нем лиц, а следовательно и применить меры международно-правового характера в отношении государств, чьими служащими эти лица являлись.

Стоит напомнить, что даже часть нацистских преступников, представших перед Нюрнберским международным военным трибуналом, была частично, а некоторые даже полностью оправданы за недоказанность вины, которая при этом казалась очевидной. Для недопущения ухода от ответственности лиц и государств, виновных в нарушении КЗХО, все мероприятия, связанные с расследованием химических инцидентов, должны осуществляться в строгом соответствии с законодательно установленными для уголовного судопроизводства процессуальными процедурами, к которым относится в том числе и проведение криминалистических исследований и экспертиз. Применение данного принципа гарантирует неотвратимость привлечения к ответственности виновных в нарушении Конвенции о запрещении химического оружия, что является необходимым для укрепления режима соблюдения международных обязательств в области химического разоружения.

Заключение

В результате проведенного анализа материалов зарубежных криминалистов изучена

возможность получения пригодных для криминалистической идентификации профилей ДНК из крови и слюны, подвергшихся воздействию различных применяемых за рубежом дегазирующих рецептур. Установлено, что дегазирующие рецептуры на основе хлора оказывают пагубное воздействие на профилирование ДНК, а на основе оксидов магния и титана, 2-аминоэтанола, диэтилентриамин, гипохлорита кальция – не влияли на профилирование ДНК. Предложен алгоритм работы на месте указанного химического инцидента, использование которого позволит достичь полноты и достоверности криминалистических исследований для обеспечения объективности расследования такого инцидента и неотвратимости привлечения к ответственности виновных в нем лиц, не снижая эффективности мер по локализации и ликвидации его последствий. Главным в данном алгоритме является то, что до выявления, фиксации, изъятия и(или) проведения хотя бы предварительного исследования следов причастных к химическому инциденту лиц, мероприятия по специальной обработке на месте инцидента не проводятся либо проводятся только с использованием тех дегазирующих рецептур, которые не оказывают воздействие на профилирование ДНК, выделенного из следов биологического происхождения, оставленных на месте инцидента.

Практическая значимость работы

Изложенные в статье результаты научных теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы в качестве типовой криминалистической методики при расследовании военных преступлений, связанных с нарушением Конвенции о запрещении химического оружия и сопряженных с применением отравляющих веществ или иных химических поражающих агентов, фактически используемых в качестве химического оружия.

Ограничения исследования / Limitations of the study

Данный аналитический обзор имеет ряд ограничений, а именно: 1) исследование основывается на анализе открытых источников, включая литературные источники, технические описания, инструкции по применению, открытую научную и публицистическую литературу; 2) анализа научной и публицистической литературы, технических описаний и инструкций по использованию проб крови и слюны, для получения из них ДНК, подвергшихся воздействию различных применяемых за рубежом дегазирующих рецептур, может не хватить для полной оценки результатов как для количественного определения ДНК, так и профилирования ДНК / This analytical review has a number of limitations, such as: (1) the study is based on the analysis of open sources, including academic sources, technical specifications, user manuals and available scientific publications and opinion pieces; (2) the analysis of scientific academic sources and publications, technical specifications and user manuals that describe how deal with blood and saliva samples to obtain the DNA that have

been exposed to foreign decontaminant agents may not cover all aspects needed for proper evaluation of both DNA quantitative measurement and DNA profiling.

Список источников / References

1. Kummer N, Metzger C. Investigations forensiques lors d'incidents atomiques, biologiques et chimiques en Suisse: Contexte et réflexions préliminaires. *Revue Internationale de Criminologie et de Police Technique et Scientifique*. 2019;484.
2. Kummer N, Augustyns B, Van Rompaey D, De Meulenaere K. Forensic investigation of incidents involving chemical threat agent: Presentation of the operating procedure developed in Belgium for a field-exercise. *Forensic Sci Int*. 2019;299:180-6.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.03.037>
3. Radgen-Morvant I, Curty C, Kummer N, Delémont O. Effects of chemical & biological warfare agent decontaminants on trace survival: Impact on DNA profiling from blood and saliva. *Forensic Sci Int*. 2024;364:112206.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112206>
4. Baechler S. Study of criteria influencing the success rate of DNA swabs in operational conditions: a contribution to an evidence-based approach to crime scene investigation and triage. *Forensic Sci Int Genet*. 2016;20:130-9.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.10.009>
5. Van Oorschot RA, Ballantyne KN, Mitchell RJ. Forensic trace DNA: a review. *Investig Genet*. 2010;1:14.
<https://doi.org/10.1186/2041-2223-1-14>
6. Alaeddini R, Walsh SJ, Abbas A. Forensic implications of genetic analyses from degraded DNA: A review. *Forensic Sci Int Genet*. 2010;4:148-57.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2009.09.007>
7. Poetsch M, Markwerth P, Konrad H, Bajanowski T, Helmus J. About the influence of environmental factors on the persistence of DNA: a long-term study. *Int J Legal Med*. 2022;136:687-93.
<https://doi.org/10.1007/s00414-022-02800-6>
8. Dash HR, Shrivastava P, Lorente JA, editors. *Handbook of DNA Profiling*. Singapore: Springer Singapore; 2022.
<https://doi.org/10.1007/978-981-16-4318-7>
9. Goodwin W, editor. *Forensic DNA Typing Protocols*. New York, NY: Springer New York; 2016.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3597-0>
10. Bukyya JL, Tejasvi MLA, Avinash A, Talwade P, Afroz MM, Pokala A, et al. DNA Profiling in Forensic Science: A Review. *Glob Med Genet*. 2021;8:135-43.
<https://doi.org/10.1055/s-0041-1728689>
11. Kanokwongnuwut P, Martin B, Taylor D, Kirkbride KP, Linacre A. How many cells are required for successful DNA profiling? *Forensic Sci Int Genet*. 2021;51:102453.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2020.102453>
12. Bäumer C, Fisch E, Wedler H, Reinecke F, Korfhage C. Exploring DNA quality of single cells for genome analysis with simultaneous whole-genome amplification. *Sci Rep*. 2018;8:7476.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-25895-7>
13. Schulze Johann K, Bauer H, Wiegand P, Pfeiffer H, Vennemann M. Detecting DNA damage in stored blood samples. *Forensic Sci Med Pathol*. 2022;19:50-9.
<https://doi.org/10.1007/s12024-022-00549-3>
14. Butler JM. *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Methodology*. Amsterdam Heidelberg: Elsevier, Academic Press; 2012.
<https://doi.org/10.1016/C2011-0-04189-3>
15. Whiteman M, Hong HS, Jenner A, Halliwell B. Loss of oxidized and chlorinated bases in DNA treated with reactive oxygen species: implications for assessment of oxidative damage in vivo. *Biochem Biophys Res Commun*. 2002;296:883-9.
[https://doi.org/10.1016/S0006-291X\(02\)02018-1](https://doi.org/10.1016/S0006-291X(02)02018-1)
16. Dembinski GM, Picard CJ. Effects of microbial DNA on human DNA profiles generated using the PowerPlex® 16 HS system. *J Forensic Leg Med*. 2017;52:208-14.
<https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.09.010>
17. Abrams S, Reusse A, Ward A, Lacapra J. A simulated arson experiment and its effect on the recovery of DNA. *Can Soc Forensic Sci J*. 2008;41:53-60.
<https://doi.org/10.1080/00085030.2008.10757164>
18. Phetpeng S, Kitpipit T, Thanakiatkrai P. Systematic study for DNA recovery and profiling from common IED substrates: From laboratory to casework. *Forensic Sci Int Genet*. 2015;17:53-60.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.03.007>

19. Galijasevic AA. *DNA recovery potential in simulated fire debris evidence* [Master thesis]. Boston: University of Boston; 2022.
20. O'Hagan A, Calder R. DNA and fingerprint recovery from an arson scene. *Forensic Res Criminol Int J*. 2020;8:15-29.
<https://doi.org/10.15406/frcij.2020.08.00303>
21. Helmus J, Zorell S, Bajanowski T, Poetsch M. Persistence of DNA on clothes after exposure to water for different time periods – a study on bathtub, pond, and river. *Int J Legal Med*. 2018;132:99-106.
<https://doi.org/10.1007/s00414-017-1695-2>
22. Korzik ML, De Alcaraz-Fossoul J, Adamowicz MS, San Pietro D. Preliminary study: DNA transfer and persistence on non-porous surfaces submerged in spring water. *Genes*. 2023;14:1045.
<https://doi.org/10.3390/genes14051045>
23. Zupanič-Pajnič I, Marrubini G, Pogorelc BG, Zupanc T, Previderè C, Fattorini P. On the long term storage of forensic DNA in water. *Forensic Sci Int*. 2019;305:110031.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110031>
24. Graham E, Adamowicz M. *Effects of different types of water on the degradation rate of human DNA in bone and tissue*. University of New Haven; 2015.
25. Bright J-A, Cockerton S, Harbison S, Russell A, Samson O, Stevenson K. The Effect of cleaning agents on the ability to obtain DNA profiles using the identifiler™ and PowerPlex® Y multiplex kits. *J Forensic Sci*. 2011;56:181-5.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01564.x>
26. Harris KA, Thacker CR, Ballard D, Court DS. The effect of cleaning agents on the DNA analysis of blood stains deposited on different substrates. *Int Congr Ser*. 2006;1288:589-91.
<https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.09.171>
27. Li VWH, Toogood H, Ryan S, Meakin GE. The effects of various household cleaning methods on DNA persistence on mugs and knives. *Forensic Sci Int Genet Suppl Ser*. 2019;7:277-8.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigss.2019.09.109>
28. Nilsson M, De Maeyer H, Allen M. Evaluation of different cleaning strategies for removal of contaminating DNA molecules. *Genes*. 2022;13:162.
<https://doi.org/10.3390/genes13010162>
29. Thabet HZ, Ghandour NM, Salama RH. Effect of some cleaning products on blood DNA retrieval from cloth. *Egypt J Forensic Sci Appl Toxicol*. 2018;18:53-66.
<https://doi.org/10.21608/ejfsat.2018.16992>
30. Kemp BM, Smith DG. Use of bleach to eliminate contaminating DNA from the surface of bones and teeth. *Forensic Sci Int*. 2005;154:53-61.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.11.017>
31. Tuccinardi A. *Investigating the Efficacy of DNA Damage with Bleach in Forensic Laboratories and at Crime Scenes* [Honors thesis]. New Haven: University of New Haven; 2020.
32. Fréreau CJ, Dalpé C. Simulated radioactive decontamination of biological samples using a portable DNA extraction instrument for rapid DNA profiling. *Forensic Sci Int*. 2016;259:161-78.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.12.026>
33. Wilkinson D, Holowachuk S, Corbett C, Antonation K, Rostek L, Wotherspoon A, et al. Effect of decontamination agents following biological contamination on fingerprints, footwear, documents and DNA. *Can Soc Forensic Sci J*. 2020;53:173-209.
<https://doi.org/10.1080/00085030.2020.1834753>
34. Hoile R, Banos C, Colella M, Walsh SJ, Roux C. Gamma irradiation as a biological decontaminant and its effect on common fingerprint detection techniques and DNA profiling. *J Forensic Sci*. 2010;55:171-7.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01233.x>
35. Wilkinson DA, Sweet D, Fairley D. Recovery of DNA from exhibits contaminated with chemical warfare agents: a preliminary study of the effect of decontamination agents and chemical warfare agents on DNA. *Can Soc Forensic Sci J*. 2007;40:15-22.
<https://doi.org/10.1080/00085030.2007.10757148>
36. Timbers J, Wilkinson D, Hause CC, Smith ML, Zaidi MA, Laframboise D, et al. Elimination of bioweapons agents from forensic samples during extraction of human DNA. *J Forensic Sci*. 2014;59:1530-40.
<https://doi.org/10.1111/1556-4029.12561>
37. Wilkinson D, Hulst AG, De Reuver LPJ, Van Krimpen SH, Van Baar BML. The fate of the chemical warfare agent during DNA extraction. *J Forensic Sci*. 2007;52:1272-83.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00569.x>
38. Boone CM. *Present state of CBRN decontamination methodologies*. 2007.

39. Shaw K, Sesardić I, Bristol N, Ames C, Dagnall K, Ellis C, et al. Comparison of the effects of sterilisation techniques on subsequent DNA profiling. *Int J Legal Med.* 2008;122:29-33.
<https://doi.org/10.1007/s00414-007-0159-5>
40. Monson KL, Ali S, Brandhagen MD, Duff MC, Fisher CL, Lowe KK, et al. Potential effects of ionizing radiation on the evidentiary value of DNA, latent fingerprints, hair, and fibers: a comprehensive review and new results. *Forensic Sci Int.* 2018;284:204-18.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.01.012>
41. Comte J, Baechler S, Gervais J, Lock E, Milon M-P, Delémont O, et al. Touch DNA collection – performance of four different swabs. *Forensic Sci Int Genet.* 2019;43:102113.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2019.06.014>
42. Socratous E, Graham EAM. DNA reviews: DNA identification following CBRN incidents. *Forensic Sci Med Pathol.* 2008;4:255-8.
<https://doi.org/10.1007/s12024-008-9066-4>
43. Khare P, Raj V, Chandra S, Agarwal S. Quantitative and qualitative assessment of DNA extracted from saliva for its use in forensic identification. *J Forensic Dent Sci.* 2014;6:81.
<https://doi.org/10.4103/0975-1475.132529>
44. Ramsey M. *Persistence of touch DNA for forensic analysis.* National Institute of Justice; 2022.
45. Durdiaková J, Kamodyová N, Ostatníková D, Vlková B, Celec P. Comparison of different collection procedures and two methods for DNA isolation from saliva. *Clin Chem Lab Med.* 2012;50.
<https://doi.org/10.1515/cclm.2011.814>
46. Karched M, Bhardwaj RG, Pauline EM, George S, Asikainen S. Effect of preparation method and storage period on the stability of saliva DNA. *Arch Oral Biol.* 2017;81:21-5.
<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.04.011>
47. Samie L, Champod C, Glutz V, Garcia M, Castella V, Taroni F. The efficiency of DNA extraction kit and the efficiency of recovery techniques to release DNA using flow cytometry. *Sci Justice.* 2019;59:405-10.
<https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.02.003>
48. Qiagen. QIAamp® DNA Mini and Blood Mini. Handbook. 2025.
49. Holmes AS, Houston R, Elwick K, Gangitano D, Hughes-Stamm S. Evaluation of four commercial quantitative real-time PCR kits with inhibited and degraded samples. *Int J Legal Med.* 2018;132:691-701.
<https://doi.org/10.1007/s00414-017-1745-9>
50. Vernarecci S, Ottaviani E, Agostino A, Mei E, Calandro L, Montagna P. Quantifiler® Trio Kit and forensic samples management: A matter of degradation. *Forensic Sci Int Genet.* 2015;16:77-85.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2014.12.005>
51. Butler JM. STR Profiles. In: Butler JM, editor. *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Interpretation.* Elsevier; 2015. p. 109-27.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405213-0.00005-1>
52. Gwozdzinski K, Pieniazek A, Gwozdzinski L. Reactive oxygen species and their involvement in red blood cell damage in chronic kidney disease. *Oxid Med Cell Longev.* 2021;2021:6639199.
<https://doi.org/10.1155/2021/6639199>
53. Urakov A, Urakova N, Nikolenko V, Belkharoeva R, Achkasov E, Kochurova E, et al. Current and emerging methods for treatment of hemoglobin related cutaneous discoloration: a literature review. *Heliyon.* 2021;7:e05954.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05954>
54. Castelló A, Francés F, Verdú F. DNA Evidence Uncompromised by Active Oxygen. *Sci World J.* 2010;10:387-92.
<https://doi.org/10.1100/tsw.2010.47>
55. Edler C, Krebs O, Gehl A, Palatzke K, Tiedemann N, Schröder AS, et al. The effect of bleaching agents on the DNA analysis of bloodstains on different floor coverings. *Int J Legal Med.* 2020;134:921-7.
<https://doi.org/10.1007/s00414-020-02250-y>
56. Bragg SA, Armstrong KC, Xue Z-L. Pretreatment of whole blood using hydrogen peroxide and UV irradiation. Design of the advanced oxidation process. *Talanta.* 2012;97:118-23.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.04.004>
57. White DC, Teasdale PR. The oxygenation of blood by hydrogen peroxide: in vitro studies. *Br J Anaesth.* 1966;38:339-44.
<https://doi.org/10.1093/bja/38.5.339>
58. Rynkowska A, Stępnik J, Karbownik-Lewińska M. Fenton reaction-induced oxidative damage to membrane lipids and protective effects of 17β-estradiol in porcine ovary and thyroid homogenates. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17:6841.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17186841>

59. Sadrzadeh SM, Graf E, Panter SS, Hallaway PE, Eaton JW. Hemoglobin. A biologic fenton reagent. *J Biol Chem*. 1984;259:14354-6.
[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)42604-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)42604-4)
60. Marrone A, Ballantyne J. Changes in dry state hemoglobin over time do not increase the potential for oxidative DNA damage in dried blood. *PLoS ONE*. 2009;4:e5110.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005110>
61. Sewell J, Quinones I, Ames C, Multaney B, Curtis S, Seeboruth H, et al. Recovery of DNA and fingerprints from touched documents. *Forensic Sci Int Genet*. 2008;2:281-5.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2008.03.006>
62. Finnis J, Murphy C, Davidson G, Alexander K, Lewis J, Boyce M, et al. Enzyme activity, DNA degradation and drying times of semen, saliva and vaginal material. *Sci Justice*. 2023;63:663-70.
<https://doi.org/10.1016/j.scijus.2023.09.001>
63. Bannick K. *Mechanisms to Combat DNA Degradation* [Honors project]. Bowling Green: Bowling Green State University; 2021.
64. Butler JM. Low-Level DNA and Complex Mixtures. In: Butler JM, editor. *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Interpretation*. Elsevier; 2015. p. 159-82.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405213-0.00007-5>
65. Hughes-Stamm SR, Ashton KJ, Van Daal A. Assessment of DNA degradation and the genotyping success of highly degraded samples. *Int J Legal Med*. 2011;125:341-8.
<https://doi.org/10.1007/s00414-010-0455-3>
66. Gouveia N, Brito P, Bogas V, Serra A, Bento AM, Lopes V, et al. The effect of different levels of degradation and DNA concentrations on the quality of genetic profiles. *Forensic Sci Int Genet Suppl Ser*. 2017;6:e428-e9.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigs.2017.09.151>
67. McCord B, Opel K, Funes M, Zoppis S, Jantz LM. *An Investigation of the Effect of DNA Degradation and Inhibition on PCR Amplification of Single Source and Mixed Forensic Samples*. U.S. Department of Justice; 2011.
68. Elwick K, Gauthier Q, Rink S, Cropper E, Kavlick MF. Recovery of DNA from fired and unfired cartridge casings: comparison of two DNA collection methods. *Forensic Sci Int Genet*. 2022;59:102726.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2022.102726>
69. Finnegan M, Linley E, Denyer SP, McDonnell G, Simons C, Maillard J-Y. Mode of action of hydrogen peroxide and other oxidizing agents: differences between liquid and gas forms. *J Antimicrob Chemother*. 2010;65:2108-15.
<https://doi.org/10.1093/jac/dkq308>

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: **В.В. Завьялов** – формирование концепции статьи, написание текста рукописи; **А.А. Завьялова** – сбор и научный анализ данных литературы по проблематике статьи, переработка текста рукописи; **Н.В. Завьялова** – научный анализ и редактирование текста рукописи; **В.А. Ковтун** – научный анализ текста рукописи, окончательное утверждение концепции статьи и текста рукописи; **М.П. Шаройко** – критический анализ и корректура концепции рукописи. / All authors confirm that they meet the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) criteria for authorship. The most significant contributions are as follows: **V.V. Zavyalov** has formulated the concept of the study, has written the text of the article; **A.A. Zavyalova** has collected and analyzed the scientific data on the topic, has revised the text; **N.V. Zavyalova** has analyzed and edited the text of the article; **V.A. Kovtun** has analyzed the text of the article, has approved a final version of the article for publication; **M.P. Sharoyko** has made amendments to the concept of the article and has analyzed the text of the article, has made a critical review of the text.

Сведения о рецензировании / Peer review information

Статья прошла двустороннее анонимное «слепое» рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе. / The article has been doubleblind peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

Об авторах / Authors

Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр имени академика Н.Д. Зелинского» Министерства обороны Российской Федерации, 111024, Российская Федерация, г. Москва, проезд Энтузиастов, д. 19.

Завьялов Василий Владимирович. Старший научный сотрудник, канд. хим. наук.

Завьялов В.В., Завьялова А.А., Завьялова Н.В., Ковтун В.А., Шаройко М.П.
Zavyalov V.V., Zavyalova A.A., Zavyalova N.V., Kovtun V.A., Sharoyko M.P.

Завьялова Наталья Васильевна. Главный научный сотрудник, профессор, д-р биол. наук.
Шаройко Максим Петрович. Заместитель начальника Центра, канд. техн. наук.
Ковтун Виктор Александрович. Начальник Центра, доцент, канд. хим. наук.

Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя», 117997, Российская Федерация, г. Москва, ул. Академика Волгина, д. 12.

Завьялова Анна Александровна. Доцент, канд. хим. наук.

Контактная информация для всех авторов: 27nc_l@mil.ru

Контактное лицо: Завьялов Василий Владимирович; 27 nc_l@mil.ru

27 Scientific Centre Named after Academician N.D. Zelinsky of the Ministry of Defence of Russian Federation, Entuziastov Proezd, 19, Moscow 111024, Russian Federation.

Vasily V. Zavyalov. Senior Researcher. Cand. Sci. (Chem.).

Maxim P. Sharoyko. Deputy Head of the Centre. Cand. Sci. (Techn.).

Natalya V. Zavyalova. Leading Researcher. Dr. Sci. (Biol.), Professor.

Victor A. Kovtun. Head of the Centre. Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor.

Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Named after V.Ya. Kikot, Akademika Volgina str., 12, Moscow 117997, Russian Federation.

Anna A. Zavyalova. Docent. Cand. Sci. (Chem.).

Contact information for all authors: 27 nc_l@mil.ru

Contact person: Vasily V. Zavyalov; 27nc_l@mil.ru