

УДК: 57.088.1

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/24-2/07>*Филиппова А.В., Рябухина М.В., Одинокоев Г.Н., Карпова Н.Г.*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ ДНК ИЗ ТКАНЕЙ ЖИВОТНЫХ

A.V. Filippova, M.V. Ryabukhina, G.N. Odinkov, N.G. Karpova

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF METHODS FOR DNA EXTRACTION FROM ANIMAL TISSUES

Аннотация. Впервые проведен сравнительный анализ эффективности методов экстракции ДНК, применяемых в экспертно-криминалистической практике, из различных тканей животных – костных рогов и копыт северного оленя *Rangifer tarandus* (Linnaeus, 1758); скелетных мышц, хрящевой ткани и слизи радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792); скелетных мышц и ребра домашней свиньи *Sus scrofa domestica* (Erxleben, 1777). Выделение ДНК проводили согласно протоколам производителей с помощью шести коммерческих наборов реагентов, отечественного производства, основанных на методе осаждения спиртом: «GM Tissue» («Raissol»), «Amex» («Raissol»); сорбции на магнитные частицы: «GM Tissue M» («Raissol»), «М-Сорб-кость» («Синтол»); сорбции на силикагель: «D-Tissues» («Биолабмикс»), «D-blood» («Биолабмикс»). Количественные и качественные характеристики полученной ДНК оценивали измерением концентрации двухцепочечной ДНК на флуориметре Qubit 2.0 (Life Technologies, США), используя набор реагентов Qubit DNA HS Assay Kit. Наибольшая концентрация двухцепочечной ДНК, из всех типов тканей животных, была получена методом сорбции на магнитные частицы. С применением этого метода, были получены наиболее стабильные и воспроизводимые концентрации ДНК (средние значения – 474,00 мкг/мл, 268,00 мкг/мл, 83,20 мкг/мл и 69,70 мкг/мл, соответственно). С применением метода экстракции ДНК на основе осаждения спиртом, из всех типов тканей животных, были получены более низкие концентрации ДНК, в сравнении с методом сорбции на магнитные частицы. Однако применение данного метода показало достаточно высокую стабильность и воспроизводимость получаемых концентраций ДНК (средние значения – 120,00 мкг/мл, 110,00 мкг/мл и 99,90 мкг/мл, соответственно), из всех типов биологических тканей, во всех сериях (повторениях) этапа экстракции. Применение метода экстракции ДНК на основе сорбции на

Annotation. For the first time, a comparative analysis of the effectiveness of DNA extraction methods used in expert forensic practice from various animal tissues – bone antlers and hooves of reindeer *Rangifer tarandus* (Linnaeus, 1758); skeletal muscle, cartilage tissue and mucus of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792); skeletal muscles and ribs of the domestic pig *Sus scrofa domestica* (Erxleben, 1777). DNA extraction was carried out according to the manufacturers' protocols using six commercial reagent kits, domestically produced, based on the alcohol precipitation method: "GM Tissue" (Raissol), "Amex" (Raissol); sorption onto magnetic particles: "GM Tissue M" ("Raissol"), "M-Sorb-bone" ("Synthol"); sorption on silica gel: "D-Tissues" ("Biolabmix"), "D-blood" ("Biolabmix"). The quantitative and qualitative characteristics of the obtained DNA were assessed by measuring the concentration of double-stranded DNA on a Qubit 2.0 fluorometer (Life Technologies, USA) using the Qubit DNA HS Assay Kit. The highest concentration of double-stranded DNA of all types of animal tissue was obtained by sorption onto magnetic particles. Using this method, the most stable and reproducible DNA concentrations were obtained (average values – 474.00 µg/ml, 268.00 µg/ml, 83.20 µg/ml and 69.70 µg/ml, respectively). Using the method of DNA extraction based on precipitation with alcohol, lower concentrations of DNA were obtained from all types of animal tissues in comparison with the method of sorption onto magnetic particles. However, the use of this method has shown a fairly high stability and reproducibility of the obtained DNA concentrations (average values – 120.00 µg/ml, 110.00 µg/ml and 99.90 µg/ml, respectively), from all types of biological tissues, in all series (repetitions) of the extraction step. The use of a DNA extraction method based on sorption on silica gel showed, on average, lower

силикагель, показало в среднем более низкие концентрации целевой ДНК, из всех типов тканей животных, в сравнении с методами сорбции на магнитные частицы и осаждения спиртом. Данный метод отличался наиболее низкой стабильностью и воспроизводимостью получаемых концентраций ДНК (средние значения – 74,10 мкг/мл и 41,60 мкг/мл, соответственно). Таким образом, авторским коллективом проведена оценка эффективности методических подходов экстракции ДНК, относительно различных типов тканей животных, а также оценка стабильности и воспроизводимости полученных результатов. Ранее эффективность данных методических подходов не оценивалась.

Ключевые слова: экстракция ДНК; ткани животных; силикагель; магнитные частицы; осаждение спиртом; экспертно-криминалистическая практика.

Сведения об авторах: Филиппова Ася Вячеславовна, ORCID:0000-0003-2665-5673, д-р биол. наук, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия, kassio-67@yandex.ru; Рябухина Мария Владимировна, ORCID: 0000-0002-8409-6630, канд. биол. наук, Экспертно-криминалистический центр МВД России, г. Москва, Россия, marija-rjabuhina@mail.ru; Одинокоев Георгий Николаевич, ORCID: 0009-0000-1074-9291, канд. биол. наук, Экспертно-криминалистический центр МВД России, г. Москва, Россия; Карпова Наталья Григорьевна, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия, olo-natasha@yandex.ru

concentrations of target DNA from all types of animal tissues, in comparison with the methods of sorption on magnetic particles and precipitation with alcohol. This method was characterized by the lowest stability and reproducibility of the obtained DNA concentrations (average values – 74.10 µg/ml and 41.60 µg/ml, respectively). Thus, the team of authors assessed the effectiveness of methodological approaches to DNA extraction in relation to various types of animal tissue, as well as assessed the stability and reproducibility of the results obtained. The effectiveness of these methodological approaches has not been previously assessed.

Keywords: DNA extraction; animal tissues; silica gel; magnetic particles; alcohol precipitation; forensic practice.

About the authors: Asya V. Filippova, ORCID: 0000-0003-2665-5673, Doctor of Biological Sciences, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia, kassio@yandex.ru; Maria V. Ryabukhina, ORCID: 0000-0002-8409-6630, Candidate of Biological Sciences, Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia, marija-rjabuhina@mail.ru; Georgy N. Odinokov, ORCID: 0009-0000-1074-9291, Candidate of Biological Sciences, Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia; Natalya G. Karpova, Orenburg State University, Orenburg, Russia, olo-natasha@yandex.ru

Филиппова А.В., Рябухина М.В., Одинокоев Г.Н., Карпова Н.Г. Сравнительный анализ эффективности методов экстракции ДНК из тканей животных // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2024. № 2(66). С. 76-85. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/24-2/07>

Filippova, A.V., Ryabukhina, M.V., Odinokov, G.N., & Karpova, N.G. (2024). Comparative Analysis of the Efficiency of Methods for DNA Extraction from Animal Tissues. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(66), 76-85. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/24-2/07>

Введение. Первым этапом любого молекулярно-генетического исследования является выделение (экстракция) ДНК из биологического материала. С момента открытия структуры и свойств ДНК, технология ее выделения непрерывно совершенствуется и модифицируется. При выборе метода экстракции необходимо учитывать предъявляемые к нему требования. Основная задача этапа экстракции – получение высоких концентраций очищенных препаратов ДНК, которые в дальнейшем могут использоваться для решения широкого спектра вопросов. Кроме того, важно учитывать токсичность и быстроту метода, возможность автоматизации процесса. Большинство современных методов выделения ДНК

состоят из следующих этапов: лизис клеточных и ядерных мембран, удаление из полученного материала ингибиторов, инактивация клеточных нуклеаз, отделение искоемых молекул ДНК, их очистка [1; 2; 5; 7; 9; 14; 18-20]. По основным физическим и биохимическим признакам методы экстракции ДНК можно разделить на жидкофазные и твердофазные, среди которых в настоящее время широко используют методы преципитации (осаждение спиртом) и сорбции (на силикагель или магнитные частицы) [8; 11; 15]. Метод преципитации предполагает агрегацию ДНК в присутствии соли и спирта. После осаждения спиртом ДНК отделяется от раствора центрифугированием. Осадок, содержащий ДНК, неоднократно промывается спиртами и концентрируется центрифугированием. Сорбционные методы предполагают наличие твердого носителя с высокой аффинностью к молекулам ДНК, которые с ним обратимо связываются, при этом ингибиторы и другие компоненты остаются в растворе, что позволяет получать высокоочищенные препараты, практически без потерь ДНК [1; 5; 6; 10; 12-14; 16; 17; 19; 20].

Очень часто особенностью криминалистических объектов и следов биологического происхождения, применяемых для проведения ДНК-анализа, является их малое количество и значительное различие в содержании генетического материала, а также наличие гнилостных изменений, ведущих к деградации ДНК и присутствие ингибиторов [2-4].

Учитывая особенности, связанные со сложностью выделения генетического материала из криминалистических объектов и следов биологического происхождения, а также важность их сохранения, выбор метода экстракции ДНК является одним из основополагающих этапов [1; 3].

Цель настоящей работы: оценка эффективности методических подходов, таких как преципитация (осаждение спиртом) и сорбция (на силикагель или магнитные частицы), для экстракции препаратов ДНК из различных типов тканей животных путем определения концентрации целевой ДНК флуориметрическим методом. Нами был проведен сравнительный анализ эффективности экстрагирования ДНК при помощи коммерческих наборов, рекомендуемых производителем для экстракции ДНК в соответствии с определенным типом ткани, а также наборов, не предназначенных (неспецифических) для данных типов тканей.

Объекты, материалы и методы исследования

В работе использованы образцы тканей животных: костные рога и копыта северного оленя *Rangifer tarandus* (Linnaeus, 1758); скелетные мышцы, хрящевая ткань и слизь радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792); скелетные мышцы и ребро домашней свиньи *Sus scrofa domesticus* (Erxleben, 1777).

Начальные условия были одинаковыми для всех методов экстракции ДНК, так как выделение проводилось из одних и тех же образцов ткани, разделенных на равные фрагменты весом ~10 мг. Так костные рога северного оленя были разделены на 12 фрагментов, копыта северного оленя – на 12 фрагментов, ребро домашней свиньи – на 9

фрагментов, скелетная мышца домашней свиньи – на 3 фрагмента, скелетная мышца радужной форели – на 9 фрагментов, слизь радужной форели – на 9 фрагментов, хрящевая ткань радужной форели – на 12 фрагментов.

Для экстракции ДНК *методом осаждения спиртом (преципитации)*, в соответствии с протоколами производителя, применяли следующие коммерческие наборы реагентов: «GM Tissue» («Raissol», Россия), рекомендуемый производителем для выделения нуклеиновых кислот из тканей млекопитающих, ворсин хориона, волосяных фолликулов и др.; «Amex» («Raissol», Россия), рекомендуемый производителем для выделения нуклеиновых кислот из амниотической жидкости.

Для экстракции ДНК *методом сорбции на магнитные частицы*, в соответствии с протоколами производителей, применяли следующие коммерческие наборы реагентов: «GM Tissue M» («Raissol», Россия), рекомендуемый производителем для выделения нуклеиновых кислот из тканей млекопитающих, ворсин хориона, волосяных фолликулов, фиксированных пятен крови; «М-Сорб-кость» («Синтол», Россия), рекомендуемый производителем для выделения нуклеиновых кислот из костного порошка.

Для экстракции ДНК, *методом сорбции на силикагель (производном диоксида кремния)*, в соответствии с протоколами производителей, применяли следующие коммерческие наборы реагентов: «D-Tissues» («Биолабмикс», Россия), рекомендуемый производителем для выделения нуклеиновых кислот из тканей животных; «D-blood», рекомендуемый производителем для выделения геномной ДНК из крови («Биолабмикс», Россия); «РИБО-сорб» («AmpliSens», Россия), рекомендуемый производителем для выделения ДНК/РНК из клинического материала.

Экстракцию ДНК из каждого типа ткани проводили в трех повторах для каждого набора. Определение концентрации ДНК в исследуемых образцах проводили на флуориметре Qubit 2.0 (Life Technologies, США), используя набор реагентов Qubit DNA HS Assay Kit, для количественного определения двухцепочечной ДНК с концентрацией до 100 мкг/мл. Препараты с более высокой концентрацией целевой ДНК подвергались разведению, в соответствии с протоколом производителя. Принцип работы прибора Qubit 2.0 заключается в детекции излучения флуоресцентного красителя, который связывается с двухцепочечной ДНК. Высокая чувствительность метода позволяет определять ДНК в низких концентрациях. Измерение концентраций ДНК производили в соответствии с протоколом производителя. В таблицу вносились среднее значение концентрации ДНК для каждого типа биологических тканей, полученные в серии из трех повторений с наборами реагентов для экстракции.

Результаты и обсуждение

Согласно полученным результатам, представленным в таблице, выявлены различия в эффективности методов, которые были использованы для экстракции ДНК из различных типов тканей животных.

Так использование коммерческих наборов реагентов «М-Сорб-кость» («Синтол», Россия) и «GM Tissue M» («Raissol», Россия), основанных на методе сорбции на магнитные частицы, позволило стабильно и воспроизводимо получать препараты с высокой концентрацией ДНК из ребра домашней свиньи (среднее значение – 474,00 мкг/мл), костных рогов и копыт северного оленя (средние значения – 268,00 мкг/мл и 83,20 мкг/мл, соответственно), хрящевой ткани радужной форели (среднее значение – 69,70 мкг/мл). Данный метод показал наиболее высокую стабильность и воспроизводимость получаемых концентраций ДНК, во всех сериях (повторениях), после этапа экстракции. Однако набор реагентов «GM Tissue M» («Raissol», Россия), отличался более низкой воспроизводимостью результатов, чем набор «М-Сорб-кость» («Синтол», Россия), и всегда показывал более низкую концентрацию целевой ДНК в препаратах после этапа экстракции.

Таблица

**Сравнительный анализ эффективности методов экстракции
ДНК из тканей животных**

№	Тип ткани (вид)	Метод экстракции ДНК	Коммерческое название набора (производитель)	Концентрация препарата ДНК (мкг/мл), среднее значение (μ)
1, 2, 3	Костные рога северного оленя (<i>Rangifer tarandus</i>)	осаждение спиртом	«GM Tissue» («Raissol», Россия)	~110,00
4, 5, 6		сорбция на магнитные частицы	«GM Tissue M» («Raissol», Россия)	~42,80
7, 8, 9			«М-Сорб-кость» («Синтол», Россия)	~268,00
10, 11, 12		сорбция силикагель	«D-Tissues» («Биолабмикс», Россия)	~2,21
13, 14, 15	Копыта северного оленя (<i>Rangifer tarandus</i>)	осаждение спиртом	«GM Tissue» («Raissol», Россия)	~25,00
16, 17, 18		сорбция на магнитные частицы	«GM Tissue M» («Raissol», Россия)	~72,10
19, 20, 21			«М-Сорб-кость» («Синтол», Россия)	~83,20
22, 23, 24		сорбция на силикагель	«D-Tissues» («Биолабмикс», Россия)	~0,23
25, 26, 27	Ребро домашней свиньи (<i>Sus scrofa domesticus</i>)	осаждение спиртом	«GM Tissue» («Raissol», Россия)	~120,00
28, 29, 30		сорбция на магнитные частицы	«М-Сорб-кость» («Синтол», Россия)	~474,00
31, 32, 33		сорбция на силикагель	«D-Tissues» («Биолабмикс», Россия)	~19,30
34, 35, 36	Скелетная мышца домашней свиньи (<i>Sus scrofa domesticus</i>)	сорбция на силикагель	«РИБО-сорб» («AmpliSens», Россия)	~36,60

37, 38, 39	Скелетная мышца радужной форели (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	осаждение спиртом	«Амех», («Raissol», Россия)	~99,90
40, 41, 42		сорбция на силикагель	«D-blood» («Биолабмикс», Россия)	~42,10
43, 44, 45			«РИБО-сорб» («AmpliSens», Россия)	~74,10
46, 47, 48	Слизь радужной форели (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	осаждение спиртом	«Амех», («Raissol», Россия)	~30,90
49, 50, 51		сорбция на силикагель	«D-blood» («Биолабмикс», Россия)	~3,570
52, 53, 54			«РИБО-сорб» («AmpliSens», Россия)	~41,60
55, 56, 57	Хрящевая ткань радужной форели (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	осаждение спиртом	«GM Tissue» («Raissol», Россия)	~21,40
58, 59, 60		сорбция на магнитные частицы	«М-Сорб-кость» («Синтол», Россия)	~69,70
61, 62, 63			«GM Tissue M» («Raissol», Россия)	~54,60
64, 65, 66		сорбция на силикагель	«D-Tissues» («Биолабмикс», Россия)	~0,16

Применение метода экстракции ДНК на основе осаждения спиртом, с использованием коммерческих наборов реагентов «GM Tissue» («Raissol», Россия) и «Амех», («Raissol», Россия), наиболее эффективно проявило себя при выделении ДНК из ребра домашней свиньи (среднее значение – 120,00 мкг/мл), костных рогов северного оленя (среднее значение – 110 мкг/мл) и скелетной мышцы радужной форели (среднее значение – 99,90 мкг/мл). Данный метод показал достаточно высокую стабильность и воспроизводимость получаемых концентрацией ДНК, во всех сериях (повторениях), после этапа экстракции. Однако концентрация выделенной ДНК в среднем была ниже, чем при использовании метода сорбции на магнитные частицы.

Применение метода экстракции ДНК на основе сорбции на силикагель (производные диоксида кремния), с использованием коммерческих наборов реагентов «D-Tissues» («Биолабмикс», Россия) и «РИБО-сорб» («AmpliSens», Россия), показало в среднем наиболее низкие концентрации целевой ДНК, из всех типов тканей животных, во всех сериях (повторениях), после этапа экстракции. Наиболее эффективным данный метод оказался для экстракции ДНК из скелетной мышцы и слизи радужной форели (среднее значение – 74,10 мкг/мл и 41,60 мкг/мл, соответственно). Тем не менее, полученные с помощью метода сорбции на силикагель результаты, отличались низкой воспроизводимостью, с большим расхождением показателей концентрации целевой ДНК после этапа экстракции. Так минимальные средние значения концентрации целевой ДНК были получены в препаратах из копыт и костных рогов северного оленя (среднее значение

– 0,23 мкг/мл и 2,21 мкг/мл, соответственно), хрящевой ткани радужной форели (среднее значение – 0,16 мкг/мл).

Заключение. Сложность выделения целевой ДНК из тканей животных, состоит в том, что они имеют различный биохимический состав и физические характеристики. Следовательно, весьма проблематично подобрать универсальный протокол для выделения целевой ДНК из всех типов биологических тканей с одинаковой эффективностью.

Проведенный сравнительный анализ концентраций препаратов ДНК, полученных различными методами экстракции, показал, что наибольшая концентрация целевой ДНК, из всех типов тканей животных, была получена методом сорбции на магнитные частицы. Кроме того, с применением этого метода, во всех сериях (повторениях) этапа экстракции, были получены наиболее стабильные и воспроизводимые концентрации целевой ДНК. Следует отметить, что с применением коммерческого набора реагентов на основе сорбции ДНК на магнитные частицы – «М-Сорб-кость» («Синтол», Россия), были получены максимальными концентрациями ДНК, из всех типов биологических тканей, во всех сериях (повторениях) этапа экстракции.

С применением метода экстракции ДНК на основе осаждения спиртом, из всех типов тканей животных, были получены более низкие концентрации целевой ДНК, в сравнении с методом сорбции на магнитные частицы. Однако применение данного метода показало достаточно высокую стабильность и воспроизводимость получаемых концентраций целевой ДНК, из всех типов биологических тканей, во всех сериях (повторениях) этапа экстракции. Наибольшие концентрации целевой ДНК были получены при экстракции из ребра домашней свиньи, костных рогов северного оленя и скелетной мышцы радужной форели, с применением коммерческих наборов реагентов «GM Tissue» («Raissol», Россия) и «Amex», («Raissol», Россия), соответственно.

Применение метода экстракции ДНК на основе сорбции на силикагель (производные диоксида кремния), показало в среднем более низкие концентрации целевой ДНК, из всех типов тканей животных, в сравнении с методами сорбции на магнитные частицы и осаждении спиртом. Данный метод отличался наиболее низкой стабильностью и воспроизводимостью получаемых концентраций целевой ДНК. Наиболее эффективным данный метод оказался для экстракции ДНК из скелетной мышцы и слизи радужной форели, с применением коммерческого набора реагентов «РИБО-сорб» («AmpliSens», Россия). Минимальные средние значения концентрации целевой ДНК, методом сорбции на силикагель, были получены в препаратах из копыт и костных рогов северного оленя, а также хрящевой ткани радужной форели, с применением коммерческого набора реагентов «D-Tissues» («Биолабмикс», Россия).

Таким образом, на основании полученных результатов, показано, что исследование каждого нового образца тканей животных, в экспертно-криминалистической деятельности, должен начинаться с подбора оптимальных условий экстракции ДНК, для получения препаратов пригодных для дальнейших молекулярно-генетических исследования.

Литература

1. Антонова О.С., Корнева Н.А., Белов Ю.В., Курочкин В.Е. Эффективные методы выделения нуклеиновых кислот для проведения анализов в молекулярной биологии (обзор) // Научное приборостроение. 2010. Т. 20. № 1. С 3-9.
2. Веснина С.Н., Неустоева А.В., Степанюгин К.В. Организационно-тактические формы использования специальных знаний при расследовании уголовных дел по незаконной охоте // Право и государство: теория и практика. 2020. № 9 (189). С. 152-154.
3. Перепечина И.О. Криминалистические методы ДНК-анализа: выход за традиционные рамки // Вестник Московского университета МВД России. 2019. № 4. С. 191-194.
4. Петров Д.Г., Макарова Е.Д., Гермаш Н.Н., Антифеев И.Е. Методы выделения и очистки ДНК из лизатов клеток (обзор) // Научное приборостроение. 2019. Т. 29, № 4. С. 28-50.
5. Яровенко В.В., Караваев А.В. Криминалистическая характеристика и неотложные следственные действия по делам о незаконной охоте // Вопросы права и политики. 2013. № 5. С. 351-377.
6. Barbosa C., Nogueira S., Gadanho M., Chaves S. DNA extraction: findig the most suitable method // Molecular Microbial Diagnostic Methods: Pahtways to Implementation for the Food and Water Industries. Elsevier Inc. 2016. Chapter 7. P. 135-154.
7. Bo Y.Y., Liang L.D., Hua Y.J., Zhao Z., Yao M.S., Shan L.B., Liang C.Z. High-purity DNA extraction from animal tissue using picking in the TRIzol-based method // Biotechniques. 2021. Vol. 70(3). P. 186-190.
8. Elwick K., Gauthier Q., Rink S., Cropper E., Kavlick M.F. Recovery of DNA from fired and unfired cartridge casings: comparison of two DNA collection methods // Forensic Sci Int Genet. 2022. Vol. (9). P. 102726.
9. Ivanov P.L., Kaganova N.L. Optimization of methods for DNA extraction from objects of forensic medical examination // Sud Med. Ekspert. 2009. Vol 52(5). P 14-17.
10. Kejnovský E., Kypr J. DNA extraction by zinc // Nucleic Acids Res., 1997. Vol. 1, 25(9). P.1870-1871.
11. Koshy L, Anju A.L., Harikrishnan S., Kutty V.R., Jissa V.T., Kurikesu I., Jayachandran P., Jayakumaran Nair A., Gangaprasad A., Nair G.M, Sudhakaran P.R. Evaluating genomic DNA extraction methods from human whole blood using endpoint and real-time PCR assays // Mol Biol Rep. 2017. Vol. 44(1). P. 97-108.
12. Lee S.B., Shewale J.G. DNA extraction methods in forensic analysis // Encyclopedia of Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, 2017. P. 1-18. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a1104m>
13. Mathieson W., Thomas G.A. Simultaneously extracting DNA, RNA, and protein using kits: is sample quantity or quality prejudiced? // Anal Biochem. 2013. Vol. 1. 433(1). P. 10-18.
14. Mohammadi A., Ghorbani Alvanegh A., Khafaei M., Habibi Azarian S., Naderi M., Kiyani E., Miri A., Bahmani H., Ramezani M., Tavallaei M. A new and efficient method for DNA extraction

from human skeletal remains usable in DNA typing // Journal of Applied Biotechnology Reports. 2017. P. 609-614.

15. Molbert N., Ghanavi H.R., Johansson T., Mostadius M., Hansson M.C. An evaluation of DNA extraction methods on historical and roadkill mammalian specimen // Sci Rep. 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39465-z>

16. Sajali N, Wong SC, Hanapi UK, Abu Bakar Jamaluddin S, Tasrip NA, Mohd Desa MN. The Challenges of DNA Extraction in Different Assorted Food Matrices: A Review. J Food Sci. 2018. Vol. 83(10). P. 2409-2414.

17. Shi X.J., Liu G., Zhang M., Zhao J., Li H., Yang Z., Bai H., Liang P., Lu Y. Membrane-sensitive bacterial DNA extractions and absolute quantitation of recovery efficiencies // Sci Total Environ., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>

18. Thatcher S.A. DNA/RNA preparation for molecular detection // Clin. Chem. 2015. Vol. 61(1). P. 89-99. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2014.221374>

19. Wang T.Y., Wang L., Zhang J.H., Dong W.H. A simplified universal genomic DNA extraction protocol suitable for PCR // Genet. Mol. Res. 2011. Vol. 1. P. 519-525.

20. Yagudaeva E., Zybin D., Vikhrov A., Prostyakova A., Ischenko A., Zubov V., Kapustin D. Sorption of nucleic acids and proteins on polyaniline and polyaramide nano-coatings as studied by spectral-correlation interferometry in a real time mode // Colloids Surf B Biointerfaces, 2018. Vol (1;163). P. 83-90.

References

1. Antonova, O.S., Korneva, N.A., Belov, Yu.V. & Kurochkin, V.E. (2010). E`ffektivny`e metody` vy`deleniya nukleinyx` kislot dlya provedeniya analizov v molekulyarnoj biologii (obzor). *Nauchnoe priborostroenie*, 20(1), 3-9. (in Russ.).

2. Vesnina, S.N., Neustoeva, A.V., & Stepanyugin, K.V. (2020). Organizacionno-takticheskie formy` ispol`zovaniya special`nyx` znaniy pri rassledovanii ugolovnyx` del po nezakonnoj oxote. *Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika*, 9(189), 152-154. (in Russ.).

3. Perepechina I.O. (2019). Kriminalisticheskie metody` DNK-analiza: vy`xod za tradicionny`e ramki. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*, 4, 191-194. (in Russ.).

4. Petrov, D.G., Makarova, E.D., Germash, N.N., & Antifeev, I.E. (2019). Metody` vy`deleniya i ochistki DNK iz lizatov kletok (obzor). *Nauchnoe priborostroenie*, 29(4), 28-50. (in Russ.).

5. Yarovenko V.V., & Karavaev A.V. (2013). Kriminalisticheskaya xarakteristika i neotlozhny`e sledstvenny`e dejstviya po delam o nezakonnoj oxote. *Voprosy` prava i politiki*, 5, 351-377. (in Russ.).

6. Barbosa, C., Nogueira, S., Gadanho, & M., Chaves, S. (2016). DNA extraction: findig the most suitable method. In *Molecular Microbial Diagnostic Methods: Pahtways to Implementation for the Food and Water Industries* (Ch. 7). Elsevier Inc., 135-154.

7. Bo, Y.Y., Liang, L.D., Hua, Y.J., Zhao, Z., Yao, M.S., Shan, L.B., & Liang, C.Z. (2021). High-purity DNA extraction from animal tissue using picking in the TRIzol-based method. *Biotechniques*, 70(3), 186-190.

8. Elwick, K., Gauthier, Q., Rink, S., Cropper, & E., Kavlick, M.F. (2022). Recovery of DNA from fired and unfired cartridge casings: comparison of two DNA collection methods. *Forensic Sci Int Genet*, 9, 102726
9. Ivanov, P.L., & Kaganova, N.L. (2009). Optimization of methods for DNA extraction from objects of forensic medical examination. *Sud Med. Ekspert*, 52(5), 14-17. (in Russ.).
10. Kejnovský, E., & Kypr, J. (1997). DNA extraction by zinc. *Nucleic Acids Res.*, 1, 25(9), 1870-1871.
11. Koshy, L., Anju, A.L., Harikrishnan, S., Kutty, V.R., Jissa, V.T., Kurikesu, I., Jayachandran, P., Jayakumaran, Nair A., Gangaprasad, A., Nair, & G.M, Sudhakaran, P.R. (2017). Evaluating genomic DNA extraction methods from human whole blood using endpoint and real-time PCR assays. *Mol Biol Rep*, 44(1), 97-108.
12. Lee, S.B., & Shewale, J.G. (2017). DNA extraction methods in forensic analysis. In *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (pp. 1-18.). John Wiley & Sons, <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a1104m>
13. Mathieson, W., & Thomas, G.A. (2013). Simultaneously extracting DNA, RNA, and protein using kits: is sample quantity or quality prejudiced? *Anal Biochem*, Vol. 1, 433(1), 10-18.
14. Mohammadi, A., Ghorbani, Alvanegh A., Khafaei, M., Habibi, Azarian S., Naderi, M., Kiyani, E., Miri, A., Bahmani, H., Ramezani, M., & Tavallaei, M. (2017). A new and efficient method for DNA extraction from human skeletal remains usable in DNA typing. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 609-614.
15. Molbert, N., Ghanavi, H.R., Johansson, T., Mostadius, M., & Hansson, M.C. (2023). An evaluation of DNA extraction methods on historical and roadkill mammalian specimen. *Sci Rep*. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39465-z>
16. Sajali, N, Wong, SC, Hanapi, UK, Abu Bakar Jamaluddin, S, Tasrip, NA, Mohd, & Desa MN. (2018). The Challenges of DNA Extraction in Different Assorted Food Matrices: A Review. *J Food Sci.*, 83(10), 2409-2414.
17. Shi, X.J., Liu, G., Zhang, M., Zhao, J., Li, H., Yang, Z., Bai, H., Liang, P., & Lu, Y. (2020). Membrane-sensitive bacterial DNA extractions and absolute quantitation of recovery efficiencies. *Sci Total Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>
18. Thatcher, S.A. (2015). DNA/RNA preparation for molecular detection. *Clin. Chem*, 61(1), 89-99. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2014.221374>
21. Wang, T.Y., Wang, L., Zhang, J.H., & Dong, W.H. (2011). A simplified universal genomic DNA extraction protocol suitable for PCR. *Genet. Mol. Res.* Vol. 1. P. 519-525
22. Yagudaeva, E., Zybin, D., Vikhrov, A., Prostyakova, A., Ischenko, A., Zubov, V., & Kapustin, D. (2018). Sorption of nucleic acids and proteins on polyaniline and polyaramide nano-coatings as studied by spectral-correlation interferometry. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 1(163), 83-90.

дата поступления: 20.06.2023

дата принятия: 30.11.2023

© Филиппова А.В., Рябухина М.В., Одинокоев Г.Н., Карпова Н.Г., 2024