

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ДНК ПУЛЬПЫ ЗУБА И КОСТНОГО МОЗГА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПОСМЕРТНОМ ИНТЕРВАЛЕ

Камалян А. В. ORCID ID 0009-0004-6139-0898

Автономная некоммерческая организация «Научно-исследовательский центр судебной экспертизы и исследований», Москва, Российская Федерация, e-mail: ashothirurg@mail.ru

Длительный посмертный интервал осложняет получение генетического материала, пригодного для идентификации личности, поскольку клеточные структуры и нуклеиновые кислоты постепенно разрушаются. Особенно сложными являются исследования скелетированных, фрагментированных, эксгумированных и термически измененных останков, где выбор биологического объекта зависит от сохранности ткани и условий внешней среды. Цель исследования – провести сравнительный анализ сохранности дезоксирибонуклеиновой кислоты в пульпе зуба и костном мозге при длительном посмертном интервале с учетом данных о цементе зуба, каменистой части височной кости, компактной и губчатой кости, температуре, влажности, кислотно-щелочных свойствах почвы и микробных сообществах. Выполнен аналитический обзор научных публикаций, изданных с 2015 по 2026 г. В анализ включались работы, содержащие сведения о типе ткани, посмертном интервале, условиях захоронения или хранения, способе выделения генетического материала и результативности молекулярно-генетического исследования. Пульпа зуба имеет высокую идентификационную ценность благодаря защите эмалью, дентином и цементом, однако ее преимущество зависит от состояния зуба. Костный мозг быстрее подвергается микробной и гидролитической деградации, тогда как плотные зубные и костные структуры дольше ограничивают внешнее воздействие. Пульпа зуба является перспективным источником генетического материала, но выбор объекта должен учитывать состояние останков, среду захоронения и доступность альтернативных костных структур.

Ключевые слова: судебная генетика, посмертный интервал, пульпа зуба, цемент зуба, костный мозг, каменистая часть височной кости, деградация дезоксирибонуклеиновой кислоты, идентификация личности, судебная стоматология.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STABILITY OF DENTAL PULP DNA AND BONE MARROW DNA IN PROLONGED POSTMORTEM INTERVALS

Kamalyan A. V. ORCID ID 0009-0004-6139-0898

*Autonomous Non-Profit Organization “Research Center for Forensic Expertise and Research”,
Moscow, Russian Federation, e-mail: ashothirurg@mail.ru*

A prolonged postmortem interval complicates recovery of genetic material suitable for human identification, because cellular structures and nucleic acids gradually degrade. Research is especially difficult when remains are skeletonized, fragmented, exhumed, or altered by heat, since the choice of biological substrate depends on tissue preservation and environmental exposure. The purpose of the study is to conduct a comparative analysis of the preservation of deoxyribonucleic acid in the tooth pulp and bone marrow during a long postmortem interval, taking into account data on tooth cement, the petrous part of the temporal bone, compact and spongy bone, temperature, humidity, acid-base properties of the soil, and microbial communities. An analytical review of scientific publications issued from 2015 to 2026 was performed. The analysis included studies that reported tissue type, postmortem interval, burial or storage conditions, methods for extracting genetic material, and the effectiveness of molecular genetic examination. Dental pulp has high identification value because it is protected by enamel, dentin, and cementum, but this advantage depends on tooth condition. Bone marrow undergoes microbial and hydrolytic degradation more rapidly, whereas dense dental and skeletal structures may restrict external influence for a longer period. Dental pulp is a promising source of genetic material, but sample selection should consider the condition of remains, burial environment, and the availability of alternative skeletal structures.

Keywords: forensic genetics, postmortem interval, dental pulp, tooth cementum, bone marrow, petrous bone, deoxyribonucleic acid degradation, human identification, forensic odontology.

Введение

Длительный посмертный интервал изменяет структуру биологических тканей и снижает вероятность получения полного генетического профиля. В судебно-медицинской практике это имеет особое значение при исследовании скелетированных и фрагментированных останков, когда мягкие ткани отсутствуют либо выраженно деградированы, а эксперт вынужден выбирать между твердыми тканями зуба, костной тканью и остатками костного мозга. В таких случаях зубы и кости сохраняют диагностическую ценность, но их информативность зависит от условий, в которых останки находились после смерти, и от того, какой именно участок ткани используется для выделения ДНК [1].

Зуб традиционно рассматривается как один из наиболее защищенных источников генетического материала, поскольку пульпарная камера окружена эмалью, дентином и цементом. Такая анатомическая конструкция ограничивает прямое воздействие влаги, микроорганизмов, механической деструкции и части химических факторов почвы [2, 3]. При этом современные данные не позволяют утверждать, что пульпа зуба всегда превосходит все костные структуры. В исследованиях последних лет отдельно подчеркивается значение цемента корня зуба как самостоятельного источника ДНК. Наряду с ним высокую идентификационную ценность имеет каменистая часть височной кости, а выбор между компактными и губчатыми костями должен учитывать тип кости, пористость и ожидаемую результативность выделения ДНК.

Костный мозг отличается высокой клеточностью, однако после смерти быстро утрачивает структурную целостность. Он расположен в полостях и трабекулярных пространствах, куда проникают влага, продукты аутолиза и микробные сообщества. Поэтому его сравнительная оценка с пульпой зуба должна проводиться не по принципу простой иерархии «лучше – хуже», а через анализ условий деградации: температуры, влажности, кислотности или щелочности почвы, состава микробиома, посмертного интервала, сохранности зуба, типа кости и протокола выделения ДНК.

Судебно-генетическая значимость выбора объекта усиливается тем, что неудачная первичная проба способна привести к получению частичного профиля, повышению расхода материала и необходимости повторного отбора. Для старых захоронений, массовых катастроф, пожаров, военных захоронений и эксгумаций это особенно критично, поскольку доступный материал часто ограничен, а повторное исследование может быть невозможно. Поэтому корректная экспертная рекомендация должна заключаться не в безусловном приоритете зубов, а в их включении в первичный набор объектов наряду с другими устойчивыми скелетными структурами.

Цель исследования – сравнительный анализ сохранности ДНК в пульпе зуба и костном мозге при длительном посмертном интервале с учетом данных о зубной пульпе, цементе зуба, каменистой части височной кости, компактной и губчатой кости, а также факторов внешней среды, влияющих на деградацию нуклеиновых кислот.

Материал и методы исследования

Работа выполнена в формате аналитического литературного обзора. Поиск источников проводился в базах PubMed, Scopus, Web of Science, eLIBRARY, CyberLeninka и Google Scholar. Хронологические рамки поиска составили 2015–2026 гг.; более ранние источники включались только в тех случаях, когда они имели базовое методическое значение для темы, например при описании высокой результативности анализа ДНК из каменистой части височной кости. Последний поиск выполнен 01.06.2026.

Использовались следующие поисковые строки и их сочетания: ДНК пульпы зуба, ДНК цемента зуба, ДНК костного мозга, ДНК костной ткани, компактная кость ДНК, губчатая кость ДНК, каменистая часть височной кости ДНК, посмертный интервал ДНК, деградация ДНК после смерти, pH почвы ДНК, микробиом почвы ДНК останки, dental pulp DNA, cementum DNA, bone marrow DNA, petrous bone DNA, cortical bone DNA, cancellous bone DNA, skeletal remains DNA, forensic DNA degradation, postmortem interval, soil pH DNA preservation, humidity DNA degradation, temperature DNA degradation, burial environment, forensic genetic identification, STR profiling degraded DNA.

Первичный поиск дал 73 библиографические записи. После удаления дублей и публикаций без доступных библиографических сведений остался 61 источник. На этапе анализа заголовков и аннотаций исключено 27 работ, не связанных с судебно-генетическим исследованием твердых тканей или условиями посмертной деградации ДНК. Для полнотекстовой оценки отобрано 34 публикации; после оценки исключено 9 работ, в которых отсутствовали данные о типе ткани, посмертном интервале, условиях хранения или примененном молекулярно-генетическом протоколе. В итоговый обзор включено 27 источников, из них часть относится к зубной пульпе и цементу, часть – к костным структурам, условиям хранения, температурному воздействию, микробиому, pH и общим механизмам деградации ДНК.

Критериями включения являлись: прямое отношение публикации к судебной генетике, судебной стоматологии, древней или деградированной ДНК; наличие сведений о зубной пульпе, цементе, костном мозге, компактной или губчатой кости, каменистой части височной кости; описание посмертного интервала, условий захоронения, хранения или термического воздействия; указание метода выделения и анализа ДНК, включая STR-, mini-STR-, митохондриальный или секвенирующий подход. Исключались публикации по клинической

эндодонтии, регенерации пульпы, ортопедической стоматологии, общим правовым вопросам назначения экспертизы, а также работы, в которых отсутствовал судебно-экспертный или молекулярно-генетический контекст.

Качество источников оценивалось по пяти критериям: рецензируемый характер публикации; наличие описанной выборки или объекта исследования; указание исследуемого типа ткани; раскрытие условий хранения, захоронения или внешнего воздействия; описание лабораторного протокола и результата генетического анализа. Приоритет отдавался систематическим обзорам, метаанализам, экспериментальным исследованиям на человеческих зубах и костях, а также судебно-генетическим работам с эксгумированными, скелетированными или длительно хранившимися останками.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнение пульпы зуба и костного мозга необходимо начинать с различий в анатомической защищенности. Пульпа находится внутри замкнутой полости, ограниченной дентином и эмалью, а в области корня – цементом. Эти ткани не делают пульпу полностью недоступной для посмертных процессов, но существенно замедляют прямое проникновение влаги, микроорганизмов и почвенных компонентов. Поэтому зубы остаются значимым объектом идентификации при разложении, скелетировании, повреждении мягких тканей и неблагоприятных условиях внешней среды [4].

Эмпирические данные по STR-профилированию подтверждают, что сохранность зуба имеет самостоятельное значение. В исследовании постмортальных зубов, полученных от неопознанных тел, полные профили чаще получались из интактных зубов, тогда как поврежденные зубы давали частичные результаты либо не позволяли получить пригодный профиль [5]. Следовательно, корректно говорить не о безусловной устойчивости любой пульпы, а о высокой перспективности сохранных зубов, особенно при отсутствии мягких тканей [6].

Отдельного учета требует цемент зуба. Современные исследования показывают, что цемент корня может выступать самостоятельным источником ДНК и в ряде случаев демонстрировать высокую результативность даже при длительном посмертном интервале [7]. Это важно для экспертной практики, поскольку повреждение коронковой части или частичная утрата пульпы не всегда исключают возможность молекулярно-генетического анализа зуба. При этом выбор между пульпой и цементом должен зависеть от сохранности конкретного зуба, метода отбора и допустимости разрушительного исследования [8].

Каменистая часть височной кости является важной альтернативной структурой. Ее высокая плотность и защищенное анатомическое положение объясняют частое получение значительного количества эндогенной ДНК в древних и деградированных останках [9].

Поэтому при наличии черепных фрагментов и необходимости максимизировать вероятность успешного генотипирования каменная часть височной кости должна рассматриваться наряду с зубами, а не исключаться из алгоритма отбора проб [10, 11].

Костный мозг, напротив, является биологически богатой, но менее защищенной тканью. После смерти он вовлекается в аутолиз, гнилостные процессы и микробную колонизацию быстрее, чем ткани, заключенные в плотный минеральный матрикс. Его расположение в костномозговых пространствах облегчает проникновение влаги и микроорганизмов, что ускоряет фрагментацию ДНК и снижает вероятность получения полного STR-профиля при длительном посмертном интервале [12, 13].

Вместе с тем костная ткань не может рассматриваться как однородный объект. Компактная кость и губчатая кость различаются по плотности, пористости, микробной доступности и лабораторной результативности. Ряд современных работ показывает, что небольшие губчатые кости кистей и стоп в рутинной судебной практике способны давать высокий выход ДНК и качество, сопоставимое с кортикальными костями [14]. Это обстоятельство ограничивает категоричный тезис о единственном приоритетном объекте и требует более гибкого алгоритма отбора [15].

Температура является одним из главных факторов деградации ДНК. Нагрев усиливает денатурацию, депуринизацию и фрагментацию нуклеиновых кислот, а при пожарах дополнительно изменяются минеральные и органические компоненты зубов и костей [16]. Исследования термически измененных зубов показывают, что возможность получения ДНК сохраняется не во всех случаях и зависит от температуры, длительности воздействия, типа зуба, наличия реставраций, трещин и сохранности корневых структур [17, 18].

Влажность влияет на деградацию через гидролитическое разрушение фосфодиэфирных связей и через поддержание микробной активности. Для костного мозга это особенно существенно, поскольку пористые участки кости активно контактируют с водой и растворенными веществами. При этом чрезмерно упрощенное противопоставление «сухо – хорошо, влажно – плохо» некорректно: исследования музейного хранения показывают, что вредны не только абсолютные значения температуры и влажности, но и их колебания, вызывающие структурные изменения костного материала и ухудшение сохранности ДНК [19, 20].

Химические параметры почвы, включая pH, солевой состав, содержание органического вещества и гуминовых кислот, определяют скорость разрушения органического матрикса и вероятность коэкстракции ингибиторов ПЦР. Кислотно-щелочные свойства и проницаемость почвы рассматриваются как значимые внешнесредовые факторы сохранности ДНК в костных останках [21]. Гуминовые кислоты как компонент почвенной среды способны ингибировать

STR-амплификацию и снижать качество судебно-генетического профиля, что требует применения протоколов очистки и контроля ингибирования [22]. В зубе диффузия этих факторов в пульпарную камеру ограничена твердыми тканями, тогда как костномозговые пространства и губчатая кость контактируют с почвенной средой значительно интенсивнее; это согласуется с общими данными о деградации ДНК и ее последствиях для судебно-генетических исследований [23].

Микробиом захоронения участвует в деградации костной ткани через ферментативное разрушение органической матрицы и изменение локальной химической среды. Для костного мозга это создает более высокий риск быстрой утраты ядерной ДНК, поскольку микробная инвазия развивается по каналам и полостям. В пульпе зуба микробный доступ задерживается, но не исключается полностью: кариозные полости, трещины, эндодонтическое лечение, разрушение коронки или апикальные изменения могут резко снижать защитный эффект зубных тканей.

Качество ДНК зависит и от применяемого лабораторного протокола. Для твердых тканей существенное значение имеют предварительная очистка поверхности, деконтаминация, степень измельчения, деминерализация, выбор реагентов, объем исходного материала и стратегия подавления ингибиторов. В отношении зубов важен выбор между пульпой, цементом, дентином и цельным измельчением; в отношении костей – выбор анатомического участка и способ получения порошка [24]. Поэтому один и тот же объект при разных протоколах может давать неодинаковый результат [25].

С практической точки зрения зубы целесообразно включать в первичный набор объектов для ДНК-анализа при наличии сохранных корней, интактной или частично сохранный пульпарной камеры и отсутствии выраженного кариозного или термического разрушения. При этом параллельный отбор альтернативных структур – каменистой части височной кости, плотных кортикальных участков или информативных губчатых костей – повышает надежность исследования, особенно при массовых захоронениях, пожарах, длительном хранении останков и неопределенных условиях среды [26, 27].

Таким образом, пульпа зуба остается одним из наиболее перспективных объектов при длительном посмертном интервале, но современная судебно-генетическая логика требует не абсолютного ранжирования тканей, а выбора оптимальной комбинации объектов. Такая позиция согласуется с данными о сохранности ДНК в зубной пульпе и цементе, высокой информативности каменистой части височной кости, различиях между компактной и губчатой костью, а также с влиянием температуры, влажности, pH и микробиома на деградацию нуклеиновых кислот.

Ограничения исследования. Полученные обобщения имеют ограничения, связанные с неоднородностью исходных исследований. Сохранность ДНК зависит от температуры, влажности, pH и химического состава почвы, микробиома захоронения, состояния зуба, наличия кариеса, трещин, реставраций и эндодонтического лечения, возраста останков, типа кости, плотности ткани, глубины захоронения, условий эксгумации и длительности последующего хранения. Поэтому результаты исследований, выполненных на разных выборках, в разных климатических зонах и с разными лабораторными протоколами, не могут механически переноситься на каждую экспертную ситуацию.

Дополнительное ограничение связано с тем, что часть публикаций анализирует древние или археологические останки, тогда как судебно-медицинская практика нередко имеет дело с более короткими, но более агрессивными воздействиями: пожаром, водой, открытым воздухом, химическим загрязнением, травматической фрагментацией. Это означает, что при формировании экспертного алгоритма необходимо сопоставлять не только тип ткани, но и конкретный механизм посмертного повреждения.

В рамках настоящего обзора приоритет пульпы зуба трактуется как вероятностная и ситуационная рекомендация. Она не отменяет необходимости параллельного исследования цемента, каменистой части височной кости, компактных и отдельных губчатых костей, если эти структуры доступны и лучше сохранились. Такой подход снижает риск ошибочного выбора единственного объекта и повышает вероятность получения воспроизводимого генетического профиля.

Заключение

Сравнительный анализ показывает, что пульпа зуба является одним из перспективных и часто информативных источников ДНК при длительном посмертном интервале. Ее преимущество связано с расположением в пульпарной камере, защищенной твердыми минерализованными тканями, благодаря чему внешняя влага, микробные агенты, колебания температуры и компоненты почвы воздействуют на генетический материал менее непосредственно, чем на костный мозг.

Вместе с тем пульпа зуба не должна описываться как универсально наиболее устойчивый источник ДНК. Ее приоритет должен оцениваться с учетом состояния зуба, условий захоронения, наличия трещин, кариеса, реставраций, термического повреждения, возраста останков, а также доступности альтернативных структур. Цемент зуба, каменистая часть височной кости, компактная кость и отдельные губчатые кости могут иметь высокую судебно-генетическую ценность и в ряде случаев должны включаться в первичную стратегию отбора проб.

Практическая рекомендация состоит в следующем: при наличии сохранных зубов их целесообразно включать в первичный набор объектов для ДНК-анализа наряду с другими устойчивыми скелетными структурами. Такой подход является более корректным, чем безусловное утверждение о приоритете зубов во всех случаях, поскольку учитывает вариабельность посмертной деградации и повышает надежность судебно-генетической идентификации.

Список литературы

1. Верховский А. Е., Апресян С. В., Степанов А. Г. Современные методы идентификации личности в стоматологии // Российский стоматологический журнал. 2024. Т. 28. № 6. С. 624–633. DOI: 10.17816/dent637462.
2. Lopez Toribio R., Castañeda Eugenio N., Manrique de Lara Suarez D. Связь между судебно-медицинской экспертизой ДНК и судебной одонтологией при идентификации личности в случаях массовой гибели людей: систематический обзор // Судебная медицина. 2024. Т. 10. № 3. С. 372–397. DOI: 10.17816/fm16148.
3. Salazar A. M., Huerta P. A., Coliboro-Dannich V., Castro A. F., Barbaro A. Evaluation of DNA in Human Teeth – Ante-Mortem and Post-Mortem Factors Affecting Degradation and Preservation: A Literature Review // Genes. 2025. Vol. 16. Is. 4. Art. 364. DOI: 10.3390/genes16040364.
4. Higgins D., Austin J. J. Teeth as a source of DNA for forensic identification of human remains: a review // Science & Justice. 2013. Vol. 53. Is. 4. P. 433–441. DOI: 10.1016/j.scijus.2013.06.001.
5. Kumar N., Aparna R., Sharma S. Effect of postmortem interval and conditions of teeth on STR based DNA profiling from unidentified dead bodies // Journal of Forensic and Legal Medicine. 2021. Vol. 83. Art. 102246. DOI: 10.1016/j.jflm.2021.102246.
6. Bianchi I., Grassi S., Castiglione F., Bartoli C., De Saint Pierre B., Focardi M., Oliva A., Pinchi V. Dental DNA as an Indicator of Post-Mortem Interval (PMI): A Pilot Research // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23. Is. 21. Art. 12896. DOI: 10.3390/ijms232112896.
7. Wei Y. F., Lin C. Y., Yu Y. J., Linacre A., Lee J. C. I. DNA identification from dental pulp and cementum // Forensic Science International: Genetics. 2023. Vol. 67. Art. 102945. DOI: 10.1016/j.fsigen.2023.102945.

8. Miura Y., Hashimoto M., Nakamura Y., Ishikawa N. Investigation of a DNA Profiling Method Using Only Cementum More Than 70 Years After Death // *Cureus*. 2024. Vol. 16. Is. 3. Art. e56998. DOI: 10.7759/cureus.56998.
9. Zupanič Pajnič I., Jeromelj T., Leskovar T. Petrous bones versus tooth cementum for genetic analysis of aged skeletal remains // *International Journal of Legal Medicine*. 2025. Vol. 139. P. 659–670. DOI: 10.1007/s00414-024-03346-5.
10. Pinhasi R., Fernandes D., Sirak K., Novak M., Connell S., Alpaslan-Roodenberg S., et al. Optimal Ancient DNA Yields from the Inner Ear Part of the Human Petrous Bone // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10. Is. 6. Art. e0129102. DOI: 10.1371/journal.pone.0129102.
11. Pilli E., Vai S., Caruso M. G., D'Errico G., Berti A., Caramelli D. Neither femur nor tooth: Petrous bone for identifying archaeological bone samples via forensic approach // *Forensic Science International*. 2018. Vol. 283. P. 144–149. DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.12.023.
12. Latham K. E., Miller J. J. DNA recovery and analysis from skeletal material in modern forensic contexts // *Forensic Sciences Research*. 2019. Vol. 4. Is. 1. P. 51–59. DOI: 10.1080/20961790.2018.1515594.
13. Raffone C., Baeta M., Lambacher N., Granizo-Rodríguez E., Etxeberria F., de Pancorbo M. M. Intrinsic and extrinsic factors that may influence DNA preservation in skeletal remains: A review // *Forensic Science International*. 2021. Vol. 325. Art. 110859. DOI: 10.1016/j.forsciint.2021.110859.
14. Otagiri T., Sato N., Shiozaki T., Harayama Y., Matsumoto M., Kobayashi K., Asamura H. An optimal skeletal element for DNA testing: Evaluation of DNA quantity and quality from various bone types in routine forensic practice // *Legal Medicine*. 2024. Vol. 68. Art. 102415. DOI: 10.1016/j.legalmed.2024.102415.
15. Inkret J., Zupanic Pajnic I., Leskovar T. Bone Type Selection for Human Molecular Genetic Identification of Skeletal Remains // *Genes*. 2025. Vol. 16. Is. 8. Art. 872. DOI: 10.3390/genes16080872.
16. Mckinnon M., Henneberg M., Higgins D. A review of the current understanding of burned bone as a source of DNA for human identification // *Science & Justice*. 2021. Vol. 61. Is. 4. P. 332–338. DOI: 10.1016/j.scijus.2021.03.006.
17. Lozano-Peral D., Rubio L., Santos I., Gaitán M. J., Viguera E., Martín-de-Las-Heras S. DNA degradation in human teeth exposed to thermal stress // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Art. 12118. DOI: 10.1038/s41598-021-91505-8.
18. Salazar Roa A. M., Huerta P. A., Coliboro-Dannich V., Castro A. F., Barbaro A. Impact of heat on dental structures and DNA recovery in forensic science: a systematic review // *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. 2025. Vol. 15. Art. 36. DOI: 10.1186/s41935-025-00496-4.

19. Jeromelj T., Leskovar T., Zupanič Pajnič I. The Impact of Storage Conditions on DNA Preservation in Human Skeletal Remains: A Comparison of Freshly Excavated Samples and Those Stored for 12 Years in a Museum Depot // *Genes*. 2025. Vol. 16. Is. 1. Art. 78. DOI: 10.3390/genes16010078.
20. Eriksen A. M. H. et al. Exploring DNA degradation in situ and in museum storage through genomics and metagenomics // *Communications Biology*. 2025. Vol. 8. Art. 284. DOI: 10.1038/s42003-025-07616-9.
21. Kravanja P., Golob A., Concato M., Leskovar T., Zupanič Pajnič I. Effects of different environmental factors on preservation of DNA in petrous bones: A comparative study of two Slovenian archaeological sites // *Forensic Science International*. 2025. Vol. 371. Art. 112495. DOI: 10.1016/j.forsciint.2025.112495.
22. McDonald C., Taylor D., Linacre A. STR-Uggle: Overcoming Humic Acid Inhibition Using Combined STR & qPCR Kit Chemistries // *Genes*. 2025. Vol. 16. Is. 11. Art. 1326. DOI: 10.3390/genes16111326.
23. Bhoyar L., Mehar P., Chavali K. An overview of DNA degradation and its implications in forensic caseworks // *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. 2024. Vol. 14. Art. 15. DOI: 10.1186/s41935-024-00389-y.
24. Finaughty C., Heathfield L. J., Kemp V., Márquez-Grant N. Forensic DNA extraction methods for human hard tissue: A systematic literature review and meta-analysis of technologies and sample type // *Forensic Science International: Genetics*. 2023. Vol. 63. Art. 102818. DOI: 10.1016/j.fsigen.2022.102818.
25. Андреева Т. В., Малярчук А. Б., Сошкина А. Д., Дудко Н. А., Плотникова М. Ю., Рогаев Е. И. Методологии выделения древней ДНК из костной ткани для геномного анализа: подходы и практические рекомендации // *Генетика*. 2022. Т. 58. № 9. С. 979–998. DOI: 10.31857/S001667582209003X.
26. Земскова Е. Ю., Иванов П. Л. О возможности применения молекулярно-генетического идентификационного анализа для неопознанных останков тел, захороненных в период Великой Отечественной войны // *Судебная медицина*. 2021. Т. 7. № 2. С. 77–82. DOI: 10.17816/fm379.
27. Корниенко И. В., Панова Т. Д., Фалеева Т. Г., Арамова О. Ю., Сидоренко Ю. С. Молекулярно-генетическая идентификация безымянных захоронений первой половины XVI в. из некрополя Вознесенского собора Московского Кремля // *Генетика*. 2022. Т. 58. № 2. С. 206–218. DOI: 10.31857/S0016675822020072.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Финансирование: Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.