

doi: 10.17116/sudmed20165964-9

## Молекулярно-генетический анализ хромосомной ДНК в обожженных костях: миф или реальность?

К.м.н. Е.Ю. ЗЕМСКОВА\*, к.м.н. М.М. БОРДЮКОВ, эксп. Н.В. НАРИНА, д.м.н. А.В. КОВАЛЕВ, д.б.н., проф. П.Л. ИВАНОВ

ФГБУ «Российский центр судебно-медицинской экспертизы» (дир. — д.м.н. А.В. Ковалев) Минздрава России, Москва, Россия, 125284

Цель работы — провести демонстрационное исследование, посвященное спорному вопросу о возможности получения достоверной генетической информации из обожженных костных объектов. Путем контролируемой термической обработки в муфельной печи были подготовлены фрагменты кости с узнаваемыми внешними признаками озоления разной степени: в состоянии обугливания, серого и белого каления. Изучали аналитическую пригодность этих обожженных костных объектов для генотипирования с использованием стандартных хромосомных STR-локусных мультиплексных панелей. Полученные результаты заставляют с большим сомнением относиться к утверждениям о возможности генотипирования хромосомной ДНК в обожженных костях. Показано, что уже температура 150 °С в течение 2 ч может превратить кость в совершенно непригодный для генотипирования объект, утративший свои индивидуальные генотипические признаки. Примечательно, что внешне такая кость почти неотличима от нативной. Если же объектом генотипирования является костный материал, термическое воздействие на который определяется невооруженным глазом — например, кость находится в стадии обугливания, выраженного черного каления, а также серого и белого каления, то в таком объекте установить достоверный генетический профиль хромосомной ДНК практически невозможно.

*Ключевые слова:* судебная молекулярно-генетическая экспертиза, генетическая идентификация, анализ хромосомной ДНК в обгоревших костных останках.

### The molecular genetic analysis of chromosomal DNA in burned bones

E.YU. ZEMSKOVA, M.M. BORDYUKOV, N.V. NARINA, A.V. KOVALEV, P.L. IVANOV

Federal state budgetary institution «Russian Centre of Forensic Medical Expertise», Russian Ministry of Health, Moscow, Russia, 125284

The objective of the present study was a demonstrative consideration of the debatable problem concerning the possibility of obtaining reliable genetic information by the investigation of burned bones. The bone fragments with the identifiable external features of different degree of ignition (i.e. in the carbonized, grey- and white-burnt states) were placed in the muffle furnace for the controlled thermal treatment. The analytical suitability of these burned bone objects for genotyping was estimated with the use of standard chromosomal STR-loci multiplex genotyping panels. The results of the study cast serious doubts as regards the possibility of genotyping of chromosomal DNA extracted from the burned bones. It was shown that the exposure of the bone tissue to a temperature of 150 degrees Celsius during 2 hours can turn it into a material absolutely unsuitable for genotyping due to the loss of all individual genotypic traits. Characteristically the burned bone objects are externally indistinguishable from the native bone. At the same time, the material with the signs of the high-temperature impact visible by the unaided eye (e.g. in the carbonized, pronounced black as well as grey and white-burnt states) is altogether unsuitable for the reliable identification of the genetic profile of chromosomal DNA.

*Keywords:* forensic medical genetic expertise, genetic identification, analysis of chromosomal DNA in fragments of burned bones.

В феврале 1994 г. в редакционной статье журнала «Nature Genetics» научный директор компании «Cellmark Diagnostics» Пол Дебенхам (Paul Debenham), комментируя историческую первую публикацию результатов молекулярно-генетической идентификационной экспертизы останков российской императорской семьи [1], написал примерно следующее:

— Эту работу (идентификацию костных останков) следует считать редкой демонстрацией возможностей молекулярно-генетического анализа, и она, конечно же, еще далека от реального практического применения. Поэтому кости большинства из нас смогут мирно покоиться в своих могилах. И все же... Если кто-то хочет быть уверен, что

его останки ничего никому не расскажут, — тогда мы настоятельно рекомендуем кремацию...

Прошедшие 20 лет активного развития судебных молекулярно-генетических технологий внесли коррективы в слова британского профессора. Так, сегодня уже никто не будет спорить с тем, что молекулярно-генетическое типирование костных останков — это хотя и сложный, но вполне рутинный метод, который достаточно широко и успешно применяется в судебно-экспертной практике [2—5]. Однако кремация — в смысле высокотемпературного воздействия как радикальный способ сделать генотипирование биологических объектов абсолютно невыполнимым, казалось бы, как и тогда, сомнений не вызывает.

В области медицинской криминалистики есть работы, описывающие процессы, происходящие в костной ткани при воздействии высокой температуры и пламени [6, 7]. Из этих исследований косвенным образом вытекает, что в костях, подвергшихся такого рода воздействию при его достаточной интенсивности, когда последствия наглядно проявляются в виде обугливания, серого и белого каления, ДНК сохраниться не может. Есть учебники, прямо указывающие на то, что воздействие высокой температуры является эффективным способом удаления всех органических веществ из костной структуры (процесс, называемый озолоением костного материала и используемый для изучения неорганического состава кости): «... для кости и хряща оптимальный режим озолоения — температура 400—500 °С в течение 1,5 ч» (цит. по [8]).

Все это делает объективно невозможным молекулярно-генетическое исследование (генотипирование) подобных объектов.

Поскольку данный вопрос очень важен для правоохранительных органов — в плане понимания и правильного использования возможностей и ограничений судебно-экспертной молекулярно-генетической идентификации применительно к обожженным костным останкам, — в последние годы был выполнен целый ряд исследований, прямо направленных на изучение аналитической пригодности обгоревших костей для судебно-экспертного идентификационного молекулярно-генетического анализа [9—13].

На основании их результатов можно сделать следующие обобщения.

Приемлемый STR-профиль ядерной ДНК в принципе возможно установить в зубах, подвергшихся достаточно короткому — в течение нескольких минут — нагреванию при 300 °С [14]. Однако для костей, подвергшихся более длительному температурному воздействию даже при существенно меньших температурах, уже невозможно получить положительный результат. Так, при прокаливании кости в течение 2 ч, температурный предел сохранения матричной активности ДНК (т.е. способность ДНК обеспечивать получение амплификационного продукта в полимеразной цепной реакции (ПЦР) составляет всего лишь 210—180 °С для ампликонов в интервале длин от 100 до 500 п.н. соответственно [15].

Таким образом, именно на эти температурно-временные параметры следует ориентироваться при прогнозировании аналитической пригодности обгоревших костных объектов для генотипирования с использованием стандартных хромосомных STR-локусных мультиплексных панелей семейства IdentiFiler или PowerPlex [16, 17].

Следует обратить внимание еще на один момент. Обугливание кости начинается при температуре порядка 300—400 °С [6]. С учетом сказанного выше это означает, что нет никаких оснований ожидать положительных результатов генотипирования при исследовании обугленной костной ткани. В случае серого и белого каления (свидетельствующего об экспонировании костного объекта при температуре 400—680 °С и выше) не следует ожидать позитивного результата даже и с теоретической точки зрения, поскольку, как уже было сказано, в этом температурном интервале органические компоненты кости достаточно быстро и практически полностью выгорают [8].

Казалось бы, все логично.

Тем не менее совсем не редки случаи, когда при назначении экспертизы вещественных доказательств след-

ствие настаивает на необходимости молекулярно-генетического исследования (генотипирования) сильно обгоревших костей. Недавно появилась работа, где авторы утверждают, что им удалось установить полный профиль STR-панелей IdentiFiler и PowerPlex 21-IDX в обожженных костных фрагментах в состоянии черного и серого каления (!?) [18].

Оставляем это утверждение на совести авторов, так как в этой работе не представлено никаких контрольных данных, которые могли бы свидетельствовать об истинности результата. Но надо понимать, что любая неопределенность в вопросе о возможности или невозможности добыть достоверные молекулярно-генетические данные из обожженных костных останков способна спровоцировать заблуждения, которые будут иметь крайне негативные последствия для расследования многих категорий уголовных дел.

В связи с этим нами проведено свое демонстрационное исследование.

Не задаваясь целью выполнить еще одно масштабное изыскание, повторяющее ранее опубликованные работы, научная ценность которых не вызывает сомнений, мы поставили задачу осуществить наглядный эксперимент, проиллюстрировать его и таким образом внести ясность в данный вопрос.

Цель работы — попытка разрешения вопроса о возможности или невозможности получения достоверной генетической информации из обожженных костных объектов, прежде всего в прикладном аспекте. Эксперимент планировался так, чтобы его посыл не был бы исключительно научным (например, сравнение результатов анализа ДНК при разных значениях температуры и времени прокаливания). Таких работ много, некоторые мы уже упомянули. Мы отталкивались от позиции более практической, а именно: имеются фрагменты кости, с узнаваемыми внешними признаками озолоения разной степени (иными словами, есть кость в состоянии обугливания, кость в состоянии серого каления и т.д., — как это бывает в реальности в экспертной практике, когда эксперт-генетик не знает, при какой температуре и сколько времени обгорали костные останки). Попробуем сравнить результаты анализа ДНК при разном состоянии кости. Далее, уже в чисто научном аспекте, можно сопоставить эти результаты с теми температурными и временными параметрами озолоения, которые использовали для моделирования того или иного заданного визуального эффекта.

## Материал и методы

Объектом исследования послужила бедренная кость в хорошем состоянии, конкретно — фрагмент проксимального отдела правой бедренной кости от эксгумированных останков мужчины (рис. 1, на цв. вклейке). Давность захоронения — 8 лет. Наиболее вероятный биологический возраст, диагностированный по состоянию возрастных изменений при визуальном и рентгенологическом исследовании, — 30—39 лет.

Предварительно костный фрагмент был очищен от поверхностных наложений, затем из отделенного фрагмента диафизной части были сделаны выпилены примерно равной массы около 1,0 г. (рис. 2, на цв. вклейке). Несколько фрагментов были оставлены интактными, остальные были подвергнуты прокаливанию при разных температу-

Таблица 1. Параметры термической обработки костных образцов №2—11

№ объекта	Масса до воздействия, г	Масса после воздействия, г	Зольность, %	Воздействие	Max t, °C	Общее время термического воздействия, ч	Внешний вид кости после воздействия
1	—	—	—	Нет воздействия	—	—	Нативная кость
2	0,8845	0,8770	99,15	Нагрев 25—100 °C — 30 мин 100 °C — 2 ч	100	2,5	По виду нативная, светло-коричневая
3	0,8355	0,7945	95,09	Нагрев 25—100 °C — 30 мин 100 °C — 2 ч Нагрев 85—200 °C — 30 мин 200 °C — 1 ч	200	4	По виду нативная, светло-желто-коричневая
4	1,4303	1,2914	90,29	Нагрев 25—250 °C — 30 мин 250 °C — 1 ч	250	1,5	В средней части светло-коричневая, сверху и снизу темно-коричневая
5	1,0621	0,9115	85,82	Нагрев 25—250 °C — 30 мин 250 °C — 1 ч Нагрев 220—300 °C — 30 мин 300 °C — 1 ч	300	3	Черно-коричневая, местами обугленная
6	0,9605	0,7260	75,58	Нагрев 25—250 °C — 30 мин 250 °C — 1 ч Нагрев 220—300 °C — 30 мин 300 °C — 1 ч Нагрев 280—400 °C — 30 мин 400 °C — 1 ч	400	4,5	Равномерно черная
7	1,5538	1,0887	70,07	Нагрев 280—400 °C — 30 мин 400 °C — 1 ч	400	1,5	Равномерно черная, поверхность слегка сероватая
8	0,6681	0,4393	65,75	Нагрев 360—450 °C — 30 мин 450 °C — 1 ч	450	1,5	Одна сторона — серо-бежевая, основной объем кости сероватый, чуть более темный
9	0,5975	0,3780	63,26	Нагрев 50—500 °C — 30 мин 500 °C — 1 ч	500	1,5	Равномерно серая, на одной стороне небольшие черные участки
10	0,6393	0,4147	64,87	Нагрев 450—600 °C — 30 мин 600 °C — 1 ч	600	1,5	Светло-серая
11	0,3638	0,2272	62,45	Нагрев 550—700 °C — 30 мин 700 °C — 1 ч	700	1,5	Бело-серая, яркая, плотная

рах и времени в электропечи СНОЛ 6/11-В,000 («Техно-терм», Россия) для достижения желаемого внешнего вида (конкретные параметры термообработки приведены в разделе «Результаты и обсуждение»).

Затем костные фрагменты измельчали с использованием виброизмельчителя Tissue Lyser II («Qiagen», Германия) в режиме 30 Гц/20 с; полученный костный порошок лизировали в течение 2 ч при 56 °C в присутствии реактивов PrepFiler BTA Lysis Buffer («Applied Biosystems», США), дитиотрейтола и протеиназы К («Qiagen», Германия).

Далее выделяли суммарную ДНК по сорбентной технологии на роботизированной станции Automate Express DNA Extraction System с применением штатного набора реактивов PrepFiler Express Forensic DNA Extraction Kit («Applied Biosystems», США). Полученные препараты использовали в качестве матричных препаратов ДНК для постановки ПЦР.

Матричную активность в препаратах ДНК определяли с использованием системы количественной энзиматической амплификации ДНК PowerQuant System («Promega», США).

Типирование полиморфных STR-локусов хромосомной ДНК проводили с использованием 24-локусной амплификационной панели AmpFISTR GlobalFiler PCR Amplification Kit («Applied Biosystems», США).

Продукты ПЦР фракционировали электрофоретически с помощью системы капиллярного электрофореза ABI PRISM 3500 («Applied Biosystems», США).

## Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования необходимо было подобрать режимы прокаливания фрагментов исходной кости в муфельной печи. Подбор температурно-временных параметров был осуществлен, исходя из общих представлений о возможном минимальном времени обгорания при реальном происшествии (не менее 1 ч) и из заданного визуального эффекта (ставилась задача смоделировать внешний вид реально обгоревших костей в разной степени озоления). Эти параметры приведены в табл. 1.

На рис. 3 (см. на цв. вклейке) показаны фрагменты, прошедшие термообработку, — репрезентативный экспе-

**Таблица 2. Эффективная концентрация ДНК в препаратах, полученных из объектов №1—7**

№ объекта	Эффективная концентрация ДНК, нг/мкл		
	аутосомная ДНК		ДНК Y-хромосомы
	длинная мишень 294 п.о.	короткая мишень 84 п.о.	8136 п.о.
1 (интактный)	0,0191	0,0026	0,0102
2 (100 °С, 2 ч)	0,0140	0,0018	0,0075
3 (100 °С, 2 ч + 200 °С, 1 ч)	0,0010	—	0,0003
4 (250 °С, 1 ч)	—	—	0,0001
5 (250 °С, 1 ч + 300 °С, 1 ч)	—	—	—
7 (400 °С, 1,5 ч)	—	—	—

**Таблица 3. Параметры термической обработки костных образцов №12—14**

№ объекта	Масса до воздействия, г	Масса после воздействия, г	Зольность, %	Воздействие	Max t °С	Общее время термического воздействия, ч	Внешний вид кости после воздействия
12	0,5666	0,5396	95,30	Нагрев 25—150 °С — 30 мин 150 °С — 1 ч	150	1,5	Нативная, светло-коричневая
13	0,4948	0,4645	93,88	Нагрев 25—150 °С — 30 мин 150 °С — 2 ч	150	2,5	Нативная, светло-коричневая
14	0,4669	0,4363	93,45	Нагрев 25—200 °С — 40 мин 200 °С — 1 ч	200	1,5	Нативная, светло-желто-коричневая

риментальный ряд, начиная с интактной кости (объект №1) и кости, визуально практически неотличимой от интактной (объект №2: 100 °С/2 ч), ряд завершается костью в состоянии выраженного черного каления (объект №7: 400 °С/1,5 ч). (Остальные фрагменты в состоянии серого и белого каления не представлены.)

Из всех экспериментальных фрагментов были получены препараты суммарной клеточной ДНК, и в каждом определена эффективная концентрации хромосомной ДНК (по сути — содержание ПЦР-активных ДНК-матриц) (табл. 2).

Хорошо видно, что матричная активность ДНК сохраняется практически неизменной при 100 °С в течение 2 ч, затем, с возрастанием жесткости процедуры, резко падает, и уже в кости с начальными признаками обугливания (объект №5: 250—300 °С/2 ч) матричная активность ДНК вообще не детектируется даже на уровне самого короткого ампликона (84 п.о. ДНК Y-хромосомы). Таким образом, в нашем эксперименте приемлемый для генотипирования уровень матричной активности хромосомной ДНК (в пределах диапазона чувствительности используемого метода не менее 0,01 нг/мкл) наблюдается только в препарате, полученном из костной ткани, подвергавшейся достаточно мягкой термической обработке — 100 °С/2 ч (объект №2). В объекте №3 (еще 1 ч при 200 °С добавочно к условиям объекта №2) уровень матричной активности ДНК уже неприемлемо низкий. Это означает, что установить достоверный генетический профиль в таком объекте едва ли возможно (и это при том, что сама кость внешне почти не изменилась по сравнению с нативной (см. рис. 3, на цв. вклейке)).

Для наглядности мы выполнили процедуру генотипирования для первых 5 объектов. Полученные результаты (электрофореграммы) приведены на рис. 4 (см. на цв. вклейке).

Видно, что генотип объекта №2 идентичен генотипу нативной кости №1 (см. рис. 4, а и б, на цв. вклейке). Это

означает, что прогрев при 100 °С в течение 2 ч не наносит ущерба генетическому материалу костной ткани (отмечаем, что и визуально такое термическое воздействие остается незаметным).

Наоборот, в объекте №5 никакие аллели (индивидуальные признаки) не детектируются — это полностью согласуется с результатами определения матричной активности ДНК. Такая кость абсолютно непригодна для молекулярно-генетического идентификационного анализа. Напомним, что этот костный фрагмент подвергся термическому воздействию при 250—300 °С/2 ч и демонстрирует начальную стадию обугливания (см. рис. 3, на цв. вклейке). Совершенно очевидно, что любое более жесткое термическое воздействие приведет к такому же негативному результату. Поэтому остальные фрагменты, доведенные в эксперименте до стадии черного, серого и белого каления, генотипировать бессмысленно — их следует признать заведомо непригодными для молекулярно-генетического идентификационного анализа.

Но подобная очевидная непригодность — это еще не самое большое зло, с точки зрения экспертизы. Не столько опасно отсутствие результата, сколько недопустим неправильный, ложный результат.

Посмотрим на электрофореграммы объектов №3 (200 °С) и №4 (250 °С/1 ч) (см. рис. 4, в и г, на цв. вклейке). Здесь получены так называемые неполные профили ДНК — когда определяется только часть тестируемых признаков, а остальные признаки (аллели) утрачены. (Отметим, что этот результат был предопределен очень низким значением матричной активности ДНК: его причиной является то, что в таком препарате присутствует «испорченная» ДНК — в данном случае из-за термического воздействия — высокодеградированная, химически измененная.) Но, может быть, можно использовать эту сохранившуюся часть признаков для целей идентификации? Тем более, что оба этих частичных генотипа не пересекаются, т.е. они взаимно дополняют друг друга, и значит, из

Таблица 4. Эффективная концентрация ДНК в препаратах, полученных из объектов №12—14

№ объекта	Эффективная концентрация ДНК, нг/мкл		
	аутосомная ДНК		ДНК Y-хромосомы
	длинная мишень 294 п.о.	короткая мишень 84 п.о.	81 п.о.+136 п.о.
12 (150 °С, 1 ч)	0,0160	0,0021	0,0103
13 (150 °С, 2 ч)	0,0034	0,0001	0,0010
14 (200 °С, 1 ч)	0,0012	—	0,0006

двух можно составить более полный один — ведь это фрагменты одной и той же кости...

Но, внимание: генотип объекта №3, как это было изначально, — мужской, а вот №4 — уже женский (!). И если сравнить оба этих генотипа с истинным генотипом кости (см. рис. 4, а, в и г, на цв. вклейке), то легко убедиться в том, что ни один из установленных в них в общей сложности 14 признаков не соответствует истинным: это полностью артефактный, т.е. недостоверный результат.

Обращаем внимание на то, что по внешнему виду эти кости можно принять лишь за слегка тронутые огнем (см. рис. 3, на цв. вклейке). Такие объекты экспертизы требуют повышенного внимания.

Поэтому мы продолжили эксперимент, чтобы более точно определить эту потенциально опасную, с точки зрения генетической экспертизы, зону термического воздействия на кость.

В табл. 3 приведены параметры термической обработки еще трех фрагментов той же исходной кости — №12, 13, 14. В табл. 4 — результаты определения в них эффективной концентрации ДНК. На рис. 5 (см. на цв. вклейке) представлен их внешний вид (все они мало отличаются от нативной кости). На рис. 6 (см. на цв. вклейке) приведены результаты генотипирования (электрофореграммы).

Из представленных аналитических данных видно, что полный и достоверный STR-профиль демонстрирует только костный фрагмент №12 (150 °/1 ч).

При увеличении времени действия той же температуры 150 °С до 2 ч (объект №13) ДНК начинает быстро разрушаться, что видно по резкому падению матричной активности препарата. При попытке его генотипирования наблюдается частичная потеря истинных аллелей и искажение генотипа. Также возможно появление ложных аллелей. Установить достоверный генетический профиль в таком объекте невозможно.

При воздействии температуры 200 °С уже через 1 ч кость оказалась полностью непригодной для анализа (объект №14). Этот результат можно рассматривать как контрольный к результату, полученному ранее для объекта №3.

## ЛИТЕРАТУРА

- Gill P, Ivanov P, Kimpton C, Piercy R, Benson N, Tully G, Evett I, Hagelberg E, Sullivan K. Identification of the remains of the Romanov family by DNA analysis. *Nature Genetics*. 1994;6(2):130-135. <http://dx.doi.org/10.1038/ng0294-130>
- Davoren J, Vanek D, Konjhodžić R, Crews J, Huffine E, Parsons T. Highly Effective DNA Extraction Method for Nuclear Short Tandem Repeat Testing of Skeletal Remains from Mass Graves. *Croat Med J*. 2007;48:478-485.
- Земскова Е.Ю., Квачева Ю.Е., Ковалев А.В., Иванов П.Л. Смерть Ясира Арафата: молекулярно-генетическая аутентификация остан-

## Заключение

Таким образом, результаты настоящей работы заставляют с большим сомнением относиться к сообщениям об успехах, якобы достигнутых при генотипировании хромосомной ДНК в обожженных костях.

Уже температура 150 °С при воздействии в течение 2 ч может превратить кость в совершенно непригодный для генотипирования объект, полностью утративший свои индивидуальные генотипические признаки или же искаживший их до неузнаваемости. При этом визуально такая кость почти неотличима от нативной, и если не известны обстоятельства, ее вряд ли будут считать обожженной.

Если же объектом генотипирования является костный материал, термическое воздействие на который вполне очевидно — например, кость находится в стадии обугливания, то надо отчетливо понимать, что в таком объекте установить достоверный генетический профиль практически невозможно.

В этом контексте обсуждать возможность генотипирования костных останков в состоянии выраженного черного, а также серого и белого каления просто лишено смысла. Это заведомо невозможно.

Отдельно отметим, что хотя в настоящей работе речь идет о генотипировании хромосомной ДНК, основные выводы можно отнести и к митохондриальной (мт) ДНК — как минимум на том основании, что размер ампликонов, получаемых для секвенирования мтДНК, сравним с размером ампликонов, анализируемых при генотипировании STR-локусов хромосомной ДНК. Особенности генотипирования мтДНК в обожженных костях нами сейчас специально изучаются. Результаты будут опубликованы.

Авторы выражают благодарность лаборанту отдела молекулярно-генетических экспертиз (исследований) РЦСМЭ М.Н. Лизунову за помощь в выполнении отдельных экспериментов.

**Конфликт интересов отсутствует.**

ков как необходимое условие оценки медицинских гипотез причины его смерти. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2015;6(58):4-13. doi: 10.17116/sudmed20155864-13

- Amory S, Huel R, Bilic' A, Loreille O, Parsons T. Automatable full demineralization DNA extraction procedure from degraded skeletal remains. *Forensic Science International*. 2012;6(3):398-406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2011.08.004>
- Романов С.В., Смоляницкий А.Г., Молин Ю.А. Судебно-медицинская идентификация представителей семьи Демидовых. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2014;3:25-28.

6. *Медико-криминалистическая идентификация. Настольная книга судебно-медицинского эксперта.* Под общ. ред. Томилина В.В. М.: Издательская группа «НОРМА-ИНФРА». 2000;348-350.
7. Schmidt CW, Symes SA, eds. *The Analysis of Burned Human Remains*, 2nd edition. Amsterdam—Boston—Heidelberg—London—New-York—Oxford—Paris—San Diego—San Francisco—Singapore—Sydney—Tokyo: Elsevier/Academic. 2015.
8. Михайлов В.С., Сапожников М.А., Шафранский Л.Л. *Судебно-медицинское значение исследования зубов человека методом инфракрасной спектроскопии.* (Учебное пособие). Алма-Ата. 1987;9-16.
9. Schwark T, Heinrich A, Preuße-Prange A, Wurmb-Schwark N. Reliable genetic identification of burnt human remains. *Forensic Science International: Genetic*. 2011;5:393-399.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2010.08.008>
10. Davis T, Phillips MS. Reliable Genetic Identification of Burned Human Remains. *Intro Criminal Justice*. 2013 April. CJ-1010-007
11. Velzen IV, Shaw M, Raveendran M, Gonzalez-Rodriguez J. Predictive Models as Screening Tools for DNA Recovery from Baked and Burned Porcine Bones. *Austin J Forensic Sci Criminol*. 2015;2(3):1029. ISSN: 2380-08
12. Imaizumi K, Taniguchi K, Ogawa Y. DNA survival and physical and histological properties of heat-induced alterations in burnt bones. *Int J Legal Med*. 2014;128:439-446.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00414-014-0988-y>
13. Imaizumi K. Forensic investigation of burnt human remains. Research and Reports in Forensic Medical Science-2015. Dovepress. National Research Institute of Police Science, Kashiwa, Japan.
- RRFMS <https://www.dovepress.com/forensic-investigation-of-burnt-human-re...> <http://dx.doi.org/10.2147/RRFMS.S75141>
14. Zapico S, Garriga J, Ubelaker D. Efficiency of human DNA Isolation and STR Profiling from burnt teeth. HIDS Poster 2015.  
Доступно по ссылке [https://www.thermofisher.com/content/dam/LifeTech/Documents/PDFs/HIDS%20Poster%202015red\\_Sara%20Casado-Zapico\\_final\\_March%202015.pdf](https://www.thermofisher.com/content/dam/LifeTech/Documents/PDFs/HIDS%20Poster%202015red_Sara%20Casado-Zapico_final_March%202015.pdf) Ссылка активна на 21.08.2016
15. Fredericks JD, Bennett P, Williams A, Rogers KD. FTIR spectroscopy: A new diagnostic tool to aid DNA analysis from heated bone.. *Forensic Science International: Genetics*. 2012;6:375-380.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigen.2011.07.014>
16. AmpFISTR Identifiler PCR Amplification Kit. User Guide. Applied Biosystems, USA. 2012. Доступно по ссылке [http://www3.appliedbiosystems.com/cms/groups/applied\\_markets\\_support/documents/generaldocuments/cms\\_041201.pdf](http://www3.appliedbiosystems.com/cms/groups/applied_markets_support/documents/generaldocuments/cms_041201.pdf) Ссылка активна на 21.08.2016
17. PowerPlex 21 System. Instructions for Use of Products. Technical Manual. Promega, USA. Доступно по ссылке [worldwide.promega.com/~media/files/resources/protocols/technical%20manuals/101/powerplex%20system%20protocol.pdf](http://www.promega.com/~media/files/resources/protocols/technical%20manuals/101/powerplex%20system%20protocol.pdf) Ссылка активна на 21.08.2016
18. Zheng T, Yi S, Guangfeng Z, Wanshui L. A New DNA Extraction Method for Burned Bones. *Forensic Science And Technology*. 2016;4(1):77-79.  
doi: 10.16467/j.1008-3650.2016.01.017