

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ANALYTICAL METHODS IN CHEMISTRY  
AND CHEMICAL TECHNOLOGY**

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-45-58>



УДК 543.8 (543.51+543.54) + 393.05

**Определение происхождения природного битума в мумифицирующих смолах древнеегипетских мумий из собрания ГМИИ им. А.С. Пушкина**

**Е.Б. Яцишина<sup>1</sup>, В.М. Пожидаев<sup>1,@</sup>, О.А. Васильева<sup>2</sup>, О.П. Дюжева<sup>2</sup>,  
Я.Э. Сергеева<sup>1</sup>, В.М. Ретивов<sup>3</sup>, Е.Ю. Терещенко<sup>1,4</sup>, И.С. Куликова<sup>1</sup>,  
Е.С. Ващенко<sup>3</sup>, Е.И. Кожухова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва 123182, Россия

<sup>2</sup>Государственный музей изобразительных искусств имени А.С. Пушкина, Москва 119019, Россия

<sup>3</sup>Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва 107076, Россия

<sup>4</sup>Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва 119333, Россия

@Автор для переписки, e-mail: [pojidaev2006@yandex.ru](mailto:pojidaev2006@yandex.ru)

*В работе представлены результаты исследования составов смол семи древнеегипетских мумий из коллекции Государственного музея изобразительных искусств имени А.С. Пушкина с применением комплекса аналитических методов: газовой хроматографии (ГХ), атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (МС). Методом ГХ–МС в них идентифицированы природный битум и пчелиный воск. По результатам распределений углеводородов в профилях n-алканов в смоляных покрытиях мумий и природных битумов высказано предположение об использовании битума Мертвого моря. Дополнительные доказательства географического происхождения битума получены ГХ–МС-исследованием смол мумий в режиме мониторинга заданных ионов ( $m/z$  217 и 191). Методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой определено содержание микроэлементов и показано, что в смолах пяти мумий присутствуют ванадий, никель и молибден. Полученные результаты свидетельствуют об удовлетворительной корреляции их с литературными данными по содержанию указанных элементов в битуме Мертвого моря и смоле Фаюмской мумии на основе этого битума. Выявлены преимущества использования метода идентификации битума в смолах мумий по относительному содержанию ванадия, никеля и молибдена.*

**Ключевые слова:** древнеегипетские мумии, природный битум, газовая хроматография, масс-спектрометрия, атомно-эмиссионная спектрометрия.

## The determination of the origin of natural bitumen in mummifying resins of Ancient Egyptian mummies from the collection of the Pushkin Museum of Fine Arts

Ekaterina B. Yatsishina<sup>1</sup>, Viktor M. Pozhidaev<sup>1,@</sup>, Olga A. Vasilyeva<sup>2</sup>, Olga P. Dyuzheva<sup>2</sup>, Yana E. Sergeeva<sup>1</sup>, Vasily M. Retivov<sup>3</sup>, Elena Yu. Tereschenko<sup>1,4</sup>, Irina S. Kulikova<sup>1</sup>, Ekaterina S. Vaschenkova<sup>3</sup>, Evgeniya I. Kozhukhova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow 123182, Russia

<sup>2</sup>The Pushkin State Museum of Fine Arts, Moscow 119019, Russia

<sup>3</sup>Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Center "Kurchatov Institute" (NRC "Kurchatov Institute" – IREA), Moscow 107076, Russia

<sup>4</sup>A.V. Shubnikov Institute of Crystallography FSRC "Crystallography and Photonics", Russian Academy of Sciences, Moscow 119333, Russia

@Corresponding author, e-mail: pojidaev2006@yandex.ru

*This work presents the results of a study of the resins of seven Ancient Egyptian mummies from the collection of the Pushkin State Museum of Fine Arts using a complex of analytical methods: gas chromatography, atomic emission and mass spectrometry. Natural bitumen and beeswax were identified in the resins using the gas chromatography–mass spectrometry method. Based on the results of hydrocarbon distribution in the profiles of n-alkanes in the resin coatings of the mummies and naturally occurring bitumen, it was assumed that the Dead Sea bitumen was used. The gas chromatography–mass spectrometry studies of mummy resins in the selected ion mode ( $m/z$  217 and 191) provided additional evidence of the bitumen's geographic origin. Atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma was used as a means to determine the content of microelements. Vanadium, nickel and molybdenum were found in the tar of five mummies. The determined relative amounts of vanadium, nickel, and molybdenum in the resins of the studied mummies showed a good correlation with the available data on the content of these elements in the Dead Sea bitumen, as well as the Fayum mummy resin based on this bitumen. The advantages of using the method of identifying bitumen in mummy resins based on relative content of vanadium, nickel, and molybdenum were revealed.*

**Keywords:** Ancient Egyptian mummies, natural bitumen, gas chromatography, mass spectrometry, atomic emission spectrometry.

### Введение

Мумификация – естественное или искусственное сохранение тела после смерти – неотъемлемая черта культуры Древнего Египта. Начало мумификации относится к раннему периоду древнеегипетской истории – эпохе неолита, V–IV тыс. до н. э. [1–7]. Первые свидетельства искусственного сохранения тела относятся к археологической культуре Бадари (ок. 4500–4100 до н. э.): в то время отдельные части тела плотно обертывались льняными бинтами, пропитанными смолистыми веществами. Древнеегипетских источников, описывающих мумификацию, не сохранилось. Первые детальное описание принадлежат античным авторам, посетившим Египет – Геродоту (V век до н. э.) и Диодору Сицилийскому (I в. до н. э.) [1–3].

В настоящее время всесторонними исследованиями мумий занимаются специалисты разных об-

ластей науки. За рубежом систематические исследования египетских мумий естественно-научными методами проводятся с 1990-х гг., для чего широко используется междисциплинарный подход [1, 4–6]. В России междисциплинарное комплексное исследование древнеегипетских мумий было впервые проведено в НИЦ «Курчатовский институт» [7].

В разные периоды истории Древнего Египта для мумификации использовали большое число веществ органической природы: пчелиный воск, природный битум, деготь, смолы хвойных пород деревьев, животные жиры, растительные масла, а также ароматические масла некоторых растений [8–20]. Исследования смол для мумификации в основном были связаны с определением природы веществ, входящих в их состав. Количественный состав компонентов смол для мумификации изучался мало [9, 19, 20]. Наиболее полное исследование количественных составов смол 8 древнеегипетских мумий из Мостагедды (культура

Бадари, Верхний Египет) методом газовой хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (ГХ–МС), представлено в работе J. Jones с соавт. [19], где в составе смол идентифицированы: растительные масла и животный жир (34–95%), ароматические растительные экстракты (2.4–54%), сосновые смолы (0.3–11%), битум (0.2–19%), растительный и пчелиный воски (0.2–7%).

Одним из ключевых моментов в изучении смоляных покрытий древнеегипетских мумий является разработка методов доказательства использования битума в составах для мумификации и определение его географического происхождения. Наиболее ранние варианты употребления слова «мумия» появляются около 1000 г. до н.э. По описаниям Геродота, Плутарха, Диодора, природный битум широко употреблялся в Египте для сохранения тел умерших. Диодор, Страбон, Плиний, Флавий и Тацит описывали использование для этих целей битума, встречающегося в Мертвом море [1–7].

В современной научной литературе использованию битума при мумификации посвящено достаточно много работ. Основные направления исследований – достоверное подтверждение содержания битума в смоляных покрытиях мумий и определение его происхождения. Одной из первых работ по идентификации битума стала работа Бенсона и др. [21]: методом газовой хроматографии авторами исследована смола египетской мумии № 1770 из Исторического музея Манчестера. Выполнено сравнение профилей *n*-алканов в смоле мумии и битуме Мертвого моря и обнаружено, что битум Мертвого моря имеет характерный профиль алканов и идентичен углеводородному профилю смолы мумии. Proefke и Rinehart методом ГХ–МС провели исследование египетской мумии, обнаруженной в Фаюмском оазисе Египта [22]. В смоле мумии найдены *n*-алканы с длиной цепи от 19 до 33 атомов углерода. Распределение насыщенных углеводородов в смоле совпадало с углеводородным профилем природного битума [23]. Нормальные парафины с длиной цепи от 22 до 32 атомов углерода в образце смолы мумии обнаружили Бек и Борромео [24] и по их распределению идентифицировали битум. Углеводородные фракции смол четырех египетских мумий широкого диапазона возрастов из коллекции Британского музея изучены J. Rullkötter и A. Nissenbaum [25]: доля насыщенных алканов в углеводородных фракциях смол составила около 3%, что близко составу битума Мертвого моря.

ГХ-анализ углеводородной фракции смол египетских мумий IV века н. э. из оазиса Дахла показал наличие, кроме битума Мертвого моря, длинноцепочечных *n*-алканов с преобладанием углеводородов с нечетным числом атомов углерода ( $C_{25}$ – $C_{33}$ ) [11], что, по мнению авторов, указывало на присутствие

растительных восков наземных растений. Только в одном образце было обнаружено распределение *n*-алканов, типичное для битума Мертвого моря, при этом изопреноидные углеводороды, а также пристан и фитан полностью отсутствовали.

Природные битумы содержат соединения, известные как «биомаркеры», имеющие отличительные химические структуры, которые тесно связаны с их биологическими предшественниками: растениями, бактериями и водорослями. Такими биомаркерами признаны стераны и пентациклические тритерпены – ароматические стероидные углеводороды, которые широко используются в органических геохимических корреляционных исследованиях [26]. Распределения этих углеводородов различаются в зависимости от географического происхождения битумов и для разных месторождений [26–30]. Низкая химическая реактивность биомаркеров, устойчивость к фотохимической и микробной деградации позволили использовать их для идентификации биодеградированных сырых нефтей [31–34], а также естественно выветрившихся битумов [35, 36].

Методом ГХ–МС в режиме мониторинга заданных характеристических ионов ( $m/z$  217 и 191) изучено распределение стеранов и тритерпенов в битуме Мертвого моря [37]. Тем же методом исследовано наличие битума в бальзамах 39 египетских мумий и сделан вывод [9, 14], что черный цвет смолы мумии не связан с содержанием битума, как это считалось ранее. Ряд мумий, имеющих интенсивный черный цвет смоляного покрытия, не содержал битума, а черный цвет смолы был обусловлен старением животных или растительных жиров и эфиров пчелиного воска. Дополнительное подтверждение такого заключения удалось получить искусственной репликацией мумифицирующих бальзамов и их продолжительной термообработкой. Сравнение распределения стеранов в смолах четырех мумий Римского периода (IV век н. э.) из оазиса Дахла (Западный Египет) и в битуме Мертвого моря показало, что они близки или практически совпадали [11]. Отметим, что практически во всех исследованиях составов мумифицирующих смол древнеегипетских мумий был идентифицирован битум Мертвого моря [11, 25, 31–33, 38, 39]. Путем исследования молекулярного распределения стеранов и терпенов методом ГХ–МС в битумах месторождений Абу-Дурба (Abu Durba) и Гебель Зейт (Gebel Zeit, Суэцкий канал) со сканированием при  $m/z$  191 и 217 в смолах двух египетских мумий идентифицирован битум месторождений Гебель Зейт [40, 41].

Таким образом, биомаркерами наличия и происхождения битума в бальзамирующих смолах египетских мумий могут служить ископаемые углеводороды: профили *n*-алканов ( $C_{19}$ – $C_{35}$ ), пристан, фитан,

производные гопана и изомерные терпены. Препятствием для применения этого метода идентификации может быть либо невозможность в ряде случаев обнаружить пристан, фитан, гопаны и терпены, либо их присутствие в следовых количествах, т. е. отсутствие гарантий получения достоверной их идентификации в мумифицирующих составах [9, 12]. В то же время наличие хорошо определяемого профиля *n*-алканов (C<sub>19</sub>–C<sub>35</sub>) позволяет достаточно уверенно идентифицировать присутствие в смолах мумий продуктов нефтяного происхождения [1, 12]. Однако недостаток экспериментальных данных по соответствию профиля *n*-алканов конкретному месторождению пока не позволяет установить географическое происхождение битума.

Для большинства нефтей характерно содержание ванадия и никеля [42]. В нефтях некоторых Волго-Уральских месторождений содержание ванадия достигает 200–500 г/т. Примерно такой же уровень содержания ванадия и никеля характерен для нефтей и битумов Западно-Канадского бассейна и Оринокского бассейна в Венесуэле [42–46]. В асфальтенах карбоновых нефтей Татарстана и Самарской области содержание ванадия и никеля составляет 4–6 и 0.3–0.5 кг/т, соответственно. В битумах нефтяных месторождений Сирии доля этих металлов в 10–20 раз ниже [44–46]. В процессах нефтепереработки или естественного преобразования эти элементы концентрируются в битумах, а их соотношение не изменяется. Поэтому содержание и соотношение ванадия и никеля в природных битумах может также служить биомаркером географического происхождения.

Присутствие ванадия, молибдена и никеля в смолах египетских мумий одним из первых обнаружил Spielman [47]. Он показал, что их наличие является характерной особенностью битума Мертвого

моря. Zaki и Iskander методом спектрографического анализа также идентифицировали в смоле мумии Персидского периода ванадий, молибден и никель [48] и тоже подтвердили, что наличие этих элементов является характеристикой битума Мертвого моря. Затем методом атомно-абсорбционной спектроскопии в смоле мумии № 1770 было обнаружено 11.0 *ppm* ванадия и 93.8 *ppm* молибдена<sup>1</sup> [21]. В смоле мумии из Фаюмского оазиса обнаружено ванадия 65 *ppm*, никеля 33.4 *ppm* и молибдена 17.4 *ppm* [10], что подтвердило предположение Spielman [47] о содержании в нефтяных битумах указанных металлов. Маршнер и Райт [49] обнаружили в нескольких природных битумах месторождений Месопотамии 10–200 *ppm* никеля и 30–300 *ppm* ванадия.

Исходя из вышеизложенного, логично сделать вывод, что определение ванадия, никеля и молибдена в смолах мумий можно использовать для идентификации наличия битума в составах для мумификации, а количественные соотношения данных элементов могут оказаться полезными для определения географического происхождения битумов.

Целью настоящего исследования является идентификация и определение происхождения природного битума в смолах семи древнеегипетских мумий из коллекции Государственного музея изобразительных искусств имени А.С. Пушкина с применением комплекса аналитических методов: газовой хроматографии, хроматомасс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектроскопии.

### Экспериментальная часть

*Исходные материалы и реагенты.* Описание экспонатов из коллекции ГМИИ им. А.С. Пушкина, представленных на исследование, приведено в табл. 1. Примерная датировка мумий – I тыс. до н. э.

Таблица 1. Описание исследованных экспонатов из коллекции ГМИИ им. А.С. Пушкина

№ мумии	Наименование, инв. № ГМИИ им. А.С. Пушкина
1	I - 1a7150 Голова мумии человека в засмоленных пеленах. Дл. 20 см
2	I - 1a6932 Голова мумии. Выс. 22; обх. 53 см
3	I - 1a6505 Голова мужской мумии. Выс. 28; обх. 54 см
4	I - 1a6506 Голова женской мумии. Выс. 25; обх. 53.5 см
5	I - 1a 1241 Мумия без головы, запеленутая в большое количество бинтов
6	I - 1a 5934 Голова женской мумии. Выс. 24, обх. 52 см
7	I - 1a 1239 Мумия Ипанхи в картонном чехле

Образцы смолистого вещества отбирали с поверхности мумифицированных тел в виде отделившегося естественным образом кусочка смолистого материала практически черного цвета, без запаха.

Все использованные в работе растворители и реактивы имели квалификацию «хч» или «для ВЭЖХ».

*Подготовка образцов для исследования и идентификации веществ, входящих в состав смолы мумии.* Примерно 100 мг образца смолы измельчали и добавляли 5 мл *n*-гексана. Экстракцию

<sup>1</sup>Для сравнения: в природном битуме Мертвого моря содержится V – 463 *ppm*, Ni – 251 *ppm*, Mo – 219 *ppm*.

проводили на ультразвуковой бане в течение 60 мин при 50 °С, полученную взвесь центрифугировали в течение 10 мин при 5000 об/мин. Жидкость над осадком переносили в делительную воронку, обрабатывали водным раствором КОН (5%, 2×5 мл) и промывали водой (2×5 мл). Органический слой фильтровали через бумажный фильтр с небольшим количеством безводного сульфата натрия, переносили в испарительную чашку и удаляли растворитель при комнатной температуре. Остаток растворяли в 50 мкл *n*-гексана. К сухому остатку после экстракции *n*-гексаном добавляли 5 мл хлороформа и затем проводили экстракцию на УЗ-бане в течение 60 мин при 50 °С, полученную взвесь центрифугировали (5000 об/мин, 10 мин). Жидкость над осадком переносили в делительную воронку, обрабатывали водным раствором КОН (5%, 2×5 мл) и промывали водой (2×5 мл). Органический слой фильтровали через бумажный фильтр с небольшим количеством безводного сульфата натрия, переносили в испарительную чашку и удаляли растворитель при комнатной температуре. Остаток растворяли в 50 мкл хлороформа.

Чтобы подтвердить наличие в образцах жирных кислот пчелиного воска получали метиловые эфиры жирных кислот, для чего водный раствор КОН после обработки гексанового экстракта подкисляли 20%-ным водным раствором серной кислоты и экстрагировали диэтиловым эфиром (2×5 мл). Эфирный слой отделяли, фильтровали через бумажный фильтр с небольшим количеством безводного сульфата натрия, переносили в испарительную чашку и удаляли растворитель при комнатной температуре. Остаток растворяли в 100 мкл хлороформа и обрабатывали метанолом в присутствии ацетилхлорида по методике, описанной нами ранее [50].

#### *Аппаратура и вспомогательное оборудование*

*Хроматографическая система 1.* Газовый хроматограф HP 6890 с масс-спектрометрическим детектором MSD 5975 фирмы Agilent Technologies.

Условия хроматографирования: колонка капиллярная DB-5ms длиной 30 м и внутренним диаметром 0.25 мм, толщина пленки неподвижной фазы 0.25 мкм. Начальная температура колонки 100 °С; программирование температуры от 100 до 280 °С со скоростью 15°/мин. Выдержка при конечной температуре 10 мин. Скорость газа-носителя (гелия) 1 мл/мин, деление потока 1:10. Температура испарителя 280 °С, интерфейса детектора 280 °С. Объем пробы 1 мкл.

Анализ гексанового экстракта проводили в режиме сканирования по полному ионному току. Идентификацию соединений осуществляли по масс-спектрам и индексам удерживания базы данных NIST 14 2014/EPA/NIH. Анализ хлороформ-

ного экстракта проводили в режиме мониторинга заданных ионов (*m/z* 217 и 191).

*Хроматографическая система 2.* Газовый хроматограф фирмы Bruker модели 430 GC с пламенно-ионизационным детектором.

Условия хроматографирования: колонка капиллярная Select™ Biodisel for FAME длиной 30 м и внутренним диаметром 0.32 мм, толщина пленки неподвижной фазы 0.25 мкм. Температурная программа колонки: начальная температура 140 °С, выдержка 4 мин, повышение температуры до 260 °С со скоростью 4°/мин и выдержка в изотермическом режиме в течение 10 мин при 260 °С. Температура инжектора 260 °С, детектора 260 °С. Скорость потока газа-носителя (азота) 2 мл/мин, деление потока 1:20. Объем пробы 2 мкл.

Метиловые эфиры жирных кислот идентифицировали с использованием стандартной смеси МЭЖК (Supelco 37 Component FAME<sub>Mix</sub>) и сравнением параметров удерживания соединений с литературными данными [12, 13].

*Определение содержания микроэлементов в смолах мумий* проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП) на приборе iCAP 6300duo Thermo Scientific (США). Программное обеспечение Thermo iTEVA (v. 2.5.0.84).

Стандарт 1 – многоэлементный калибровочный стандарт для ИСП-спектроскопии ICP-MS-68B-100 Solution A (ICP-MS-68B-A-100) (5% HNO<sub>3</sub>); стандарт 2 – многоэлементный калибровочный стандарт для ИСП-спектроскопии ICP-MS-68B-100 Solution B (ICP-MS-68B-B-100) (5% HNO<sub>3</sub>); стандарт 3 – многоэлементный калибровочный стандарт для ИСП-спектроскопии MS-3 (5% HNO<sub>3</sub>).

*Подготовка пробы.* Около 10 мг образца смолы мумий взвешивали с точностью до 0.000001 г, помещали в автоклав из PFA объемом 50 мл и растворяли в смеси азотной (4.5 мл) и соляной кислот (0.5 мл) в системе микроволнового разложения проб SINEO MDS10 (205 °С, 30 мин). Раствор количественно переносили в инертный тигель, упаривали до объема 0.5 мл, переносили в полимерную пробирку и объем доводили до 10 мл 2%-ным раствором азотной кислоты.

## Результаты и их обсуждение

Для определения состава органических соединений, присутствующих в исследуемой смоле, взятой с поверхности тела мумии, образец подвергали последовательной экстракции разными растворителями. Идентификацию соединений в экстрактах бальзамирующих смол проводили методом ГХ–МС.

Хроматограммы экстрактов смол двух мумий в *n*-гексане представлены на рис. 1.

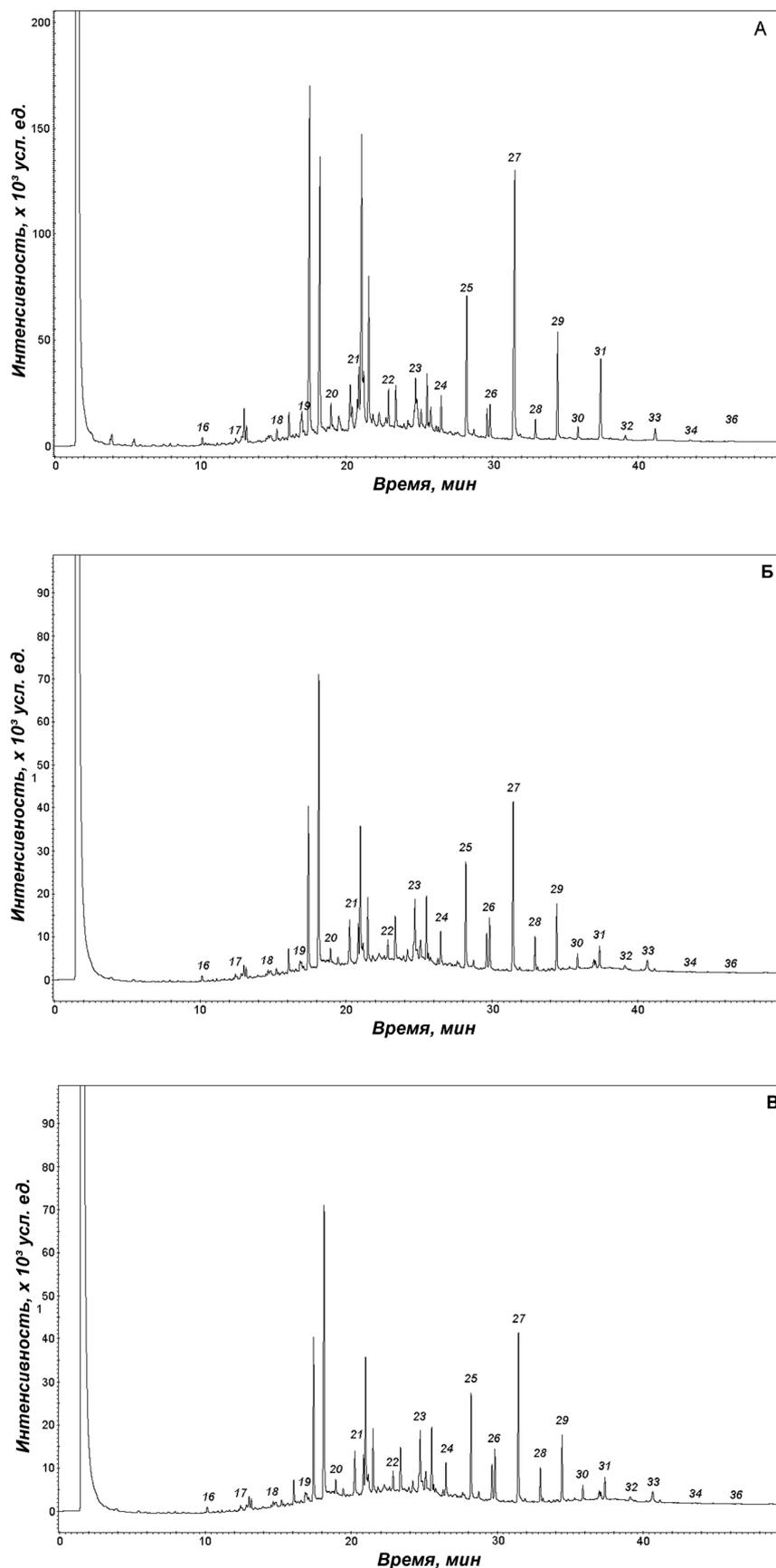


Рис. 1. Хроматограммы углеводородов в гексановых экстрактах смол двух мумий (А, Б) и пчелиного воска (В) (условия см. Эксперимент. часть, хроматографическая система 1).

На хроматограммах гексановых экстрактов идентифицированы *n*-алканы с длиной цепи от 16 до 35 атомов углерода. В Древнем Египте существовали три возможных источника нормальных насыщенных углеводородов (*n*-алканов) с такой длиной цепи: природный битум, пчелиный и растительный воски. Преобладание *n*-алканов  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ ,  $C_{31}$  и  $C_{33}$  характерно для пчелиного воска. Для идентификации воска в составе смолы записывали хроматограмму раствора современного пчелиного воска в *n*-гексане.

Хроматограмма пчелиного воска также приведена на рис.1. Доминирование углеводородов  $C_{25}$ – $C_{33}$  на хроматограммах гексановых экстрактов

смол, типичное для пчелиного воска, позволило предположить его использование в бальзамирующем составе мумий.

Для подтверждения наличия жирных кислот пчелиного воска в составе смол мумий исследовали щелочные растворы после обработки гексановых экстрактов, которые подкисляли, экстрагировали диэтиловым эфиром и получали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК). Хроматографическое разделение проводили на капиллярной колонке Select™ Biodisel for FAME. Хроматограммы экстракта МЭЖК смолы одной из мумий и пчелиного воска приведены на рис. 2.

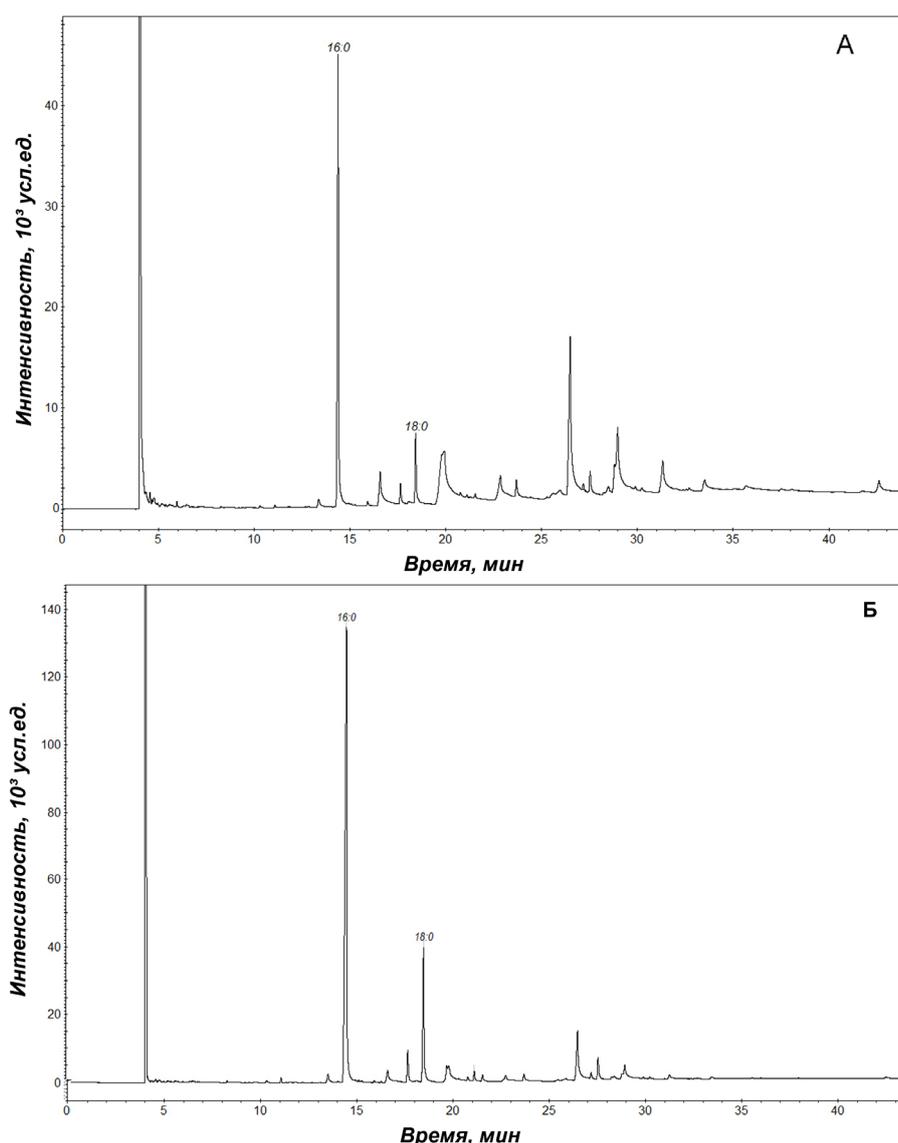


Рис. 2. Хроматограммы МЭЖК смолы одной из мумий (А) и пчелиного воска (Б) (условия см. Эксперимент. часть, хроматографическая система 2).

На хроматограммах идентифицированы метиловые эфиры пальмитиновой и стеариновой кислот (рис. 2). Относительное содержание данных кислот в образцах смол разных мумий 4.7–6.9 (для сравнения: это отношение в образце пчелиного воска составляет около 5.2). Следует подчеркнуть,

что, судя по хроматограммам, пчелиный воск присутствует в бальзамических составах всех исследованных мумий.

На хроматограмме пчелиного воска (рис. 1В) отсутствуют *n*-алканы с четным числом атомов углерода и длиной цепи менее 23 атомов. В гек-

сановых экстрактах смол пяти мумий (№ 1, 3, 4, 6, 7) они обнаружены, что позволило нам предположить наличие в составе смол этих мумий природного битума. Примеры присутствия в смолах мумий пчелиного воска и природного битума описаны ранее [11, 19, 20, 51–53].

С целью установления географического происхождения битума строили гистограммы распределения *n*-алканов в углеводородном профиле смол мумий. Чтобы исключить влияние пчелиного воска, профили распределения *n*-алканов строили по углеводородам

с четным числом атомов углерода. Полученные гистограммы профилей углеводородов представлены на рис. 3. Они показывают примерно одинаковое распределение углеводородов битума в смолах исследуемых мумий. Максимум содержания углеводородов приходится на *n*-алканы с числом атомов углерода 22–26. Распределение углеводородов в смолах мумий, в которых идентифицировали битум бассейна Мертвого моря, но отсутствовал пчелиный воск, установлено в [19, 20]. Максимум распределения углеводородов отмечен в области 20–25 атомов углерода.

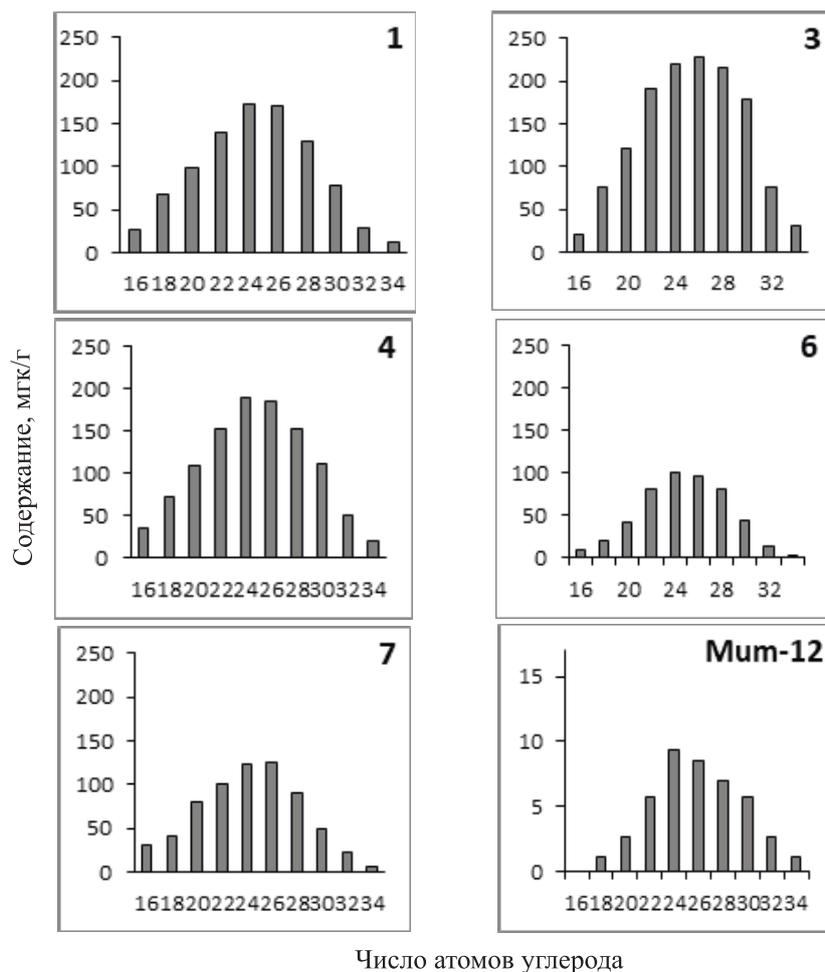
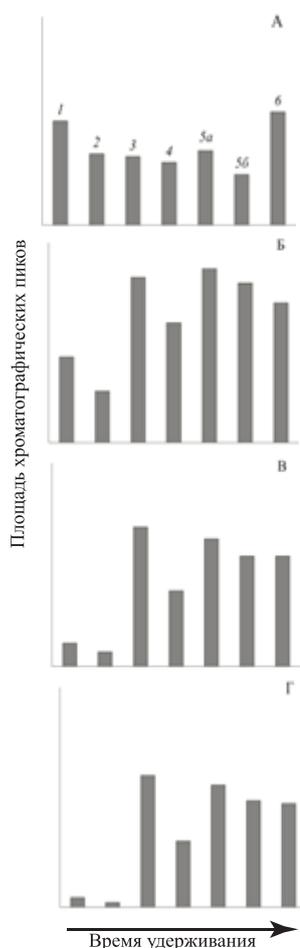


Рис. 3. Гистограммы распределения *n*-алканов в углеводородном профиле смол исследуемых мумий (№ 1, 3, 4, 6, 7) и смоле мумии Mum-12 из оазиса Дахла [8].

На основании исследования распределения *n*-алканов в современном битуме Мертвого моря и смолах египетских мумий оазиса Дахла показано [11], что максимум в профиле битума Мертвого моря находился в районе 19–22 атомов углерода. В смолах мумий максимум распределения углеводородов битума (исключая углеводороды пчелиного воска) находился в области 20–26 атомов углерода. Несмотря на значительное различие в положении максимумов в профилях углеводородов битумов смол мумий и современного битума Мертвого моря, авторы [11] все-таки сделали заключение об использовании в составах смол мумий битума из месторождений бассейна Мертвого моря. Оно было

подтверждено исследованиями профилей стеранов в природном битуме и смолах мумий методом ГХ–МС в режиме мониторинга заданных ионов (*m/z* 217).

Сравнение полученных нами распределений углеводородов в смолах с данными литературы [11, 19, 20] позволило предположить, что в составах смол исследуемых мумий использовался битум из месторождения бассейна Мертвого моря. Для подтверждения этого предположения проводили исследование хлороформных экстрактов смол мумий методом ГХ–МС при сканировании в режиме мониторинга заданных ионов (*m/z* 217 и 191). Гистограммы содержания некоторых стеранов в экстрактах смол мумий представлены на рис. 4 и 5.

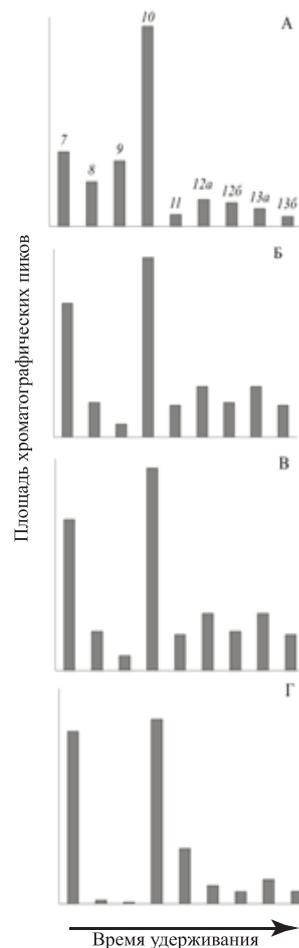


**Рис. 4.** Гистограммы содержания стеранов и гопанов ( $m/z$  217) в битумах месторождений Гебель Зейт (А); Абу Дурба (Б); Мертвого моря (В) и в смоле мумии № 7 (Г):

- 1 – 13 $\beta$ ,17 $\alpha$ -диахолестан 20S (диастеран);
- 2 – 13 $\beta$ ,17 $\alpha$ -диахолестан 20R (диастеран);
- 3 – 5 $\alpha$ ,14 $\beta$ ,17 $\beta$ -холестан 20S;
- 4 – 5 $\alpha$ ,14 $\alpha$ ,17 $\alpha$ -стигмастан 20S;
- 5 $\alpha$  – 5 $\alpha$ ,14 $\beta$ ,17 $\beta$ -стигмастан 20R;
- 5 $\beta$  – 5 $\alpha$ ,14 $\beta$ ,17 $\beta$ -стигмастан 20S;
- 6 – 5 $\alpha$ ,14 $\alpha$ ,17 $\alpha$ -стигмастан 20R.

Полученные данные сравнивали с экспериментальными по распределениям стеранов и пентациклических терпенов в современных битумах трех месторождений в бассейнах Суэцкого канала и Мертвого моря, опубликованными в работе [41]. Выявлено, что в смолах исследованных мумий фитан и пристан не идентифицированы. В смолах мумий № 2 и 5 стераны и терпены также не обнаружены. В смолах этих двух мумий отсутствовали *n*-алканы с четным числом атомов углерода и длиной цепи менее 23 атомов. По-видимому, в составах для бальзамирования мумий № 2, 5 битум отсутствует.

На хроматограммах хлороформных экстрактов смол мумий № 1, 3, 4, 6, 7 в условиях ионного мониторинга при  $m/z$  191 практически отсутствовали неоноргопан (18 $\alpha$ (H)-30-neoorghopane) и олеанан



**Рис. 5.** Гистограммы содержания стеранов и гопанов ( $m/z$  191) в битумах месторождений Гебель Зейт (А); Абу Дурба (Б); Мертвого моря (В) и в смоле мумии № 7 (Г):

- 7 – 17 $\alpha$ ,1 $\beta$ (H)-30-норгопан; 8 – 18 $\alpha$ (H)-30-неоноргопан;
- 9 – олеанан; 10 – 17 $\alpha$ ,21 $\beta$ (H)-30-гопан;
- 11 – гаммацеран; 12 $\alpha$  – 17 $\alpha$ ,21 $\beta$ (H)-29-трисгомогопан 22S;
- 12 $\beta$  – 17 $\alpha$ ,21 $\beta$ (H)-29-трисгомогопан 22R;
- 13 $\alpha$  – 17 $\alpha$ ,21 $\beta$ (H)-29-пентакисгомогопан 22S;
- 13 $\beta$  – 17 $\alpha$ ,21 $\beta$ (H)-29-пентакисгомогопан 22R.

(oleanane). В битумах месторождений Суэцкого канала эти соединения, по данным [41], присутствуют. В битуме месторождения Гебель Зейт эти углеводороды содержатся в довольно больших количествах, в битуме месторождения Абу Дурба – в несколько меньших. В составе битума Мертвого моря неоноргопан и олеанан присутствуют лишь в следовых количествах [41].

На хроматограммах смол исследуемых мумий в условиях ионного мониторинга при  $m/z$  191 присутствует пик гаммацерана (gammacerane), что характерно для битума Мертвого моря. В битумах месторождений Суэцкого канала гаммацеран присутствует только в следовых количествах [41].

ГХ–МС-анализ хлороформных экстрактов смол мумий № 1, 3, 4, 6, 7 при  $m/z$  217 показал практически

полное отсутствие диастеранов, что характерно для битума Мертвого моря. В битуме месторождений бассейна Суэцкого канала диастераны присутствуют [41].

Таким образом, результаты исследования смол методом ГХ–МС в режиме мониторинга заданных ионов ( $m/z$  217 и 191) подтвердили гипотезу об использовании природного битума из месторождения бассейна Мертвого моря в составах смол мумий № 1, 3, 4, 6, 7.

Как отмечалось выше, отношение содержание ванадия и никеля в смоле мумии может служить биомаркером их географического происхождения [42]. С этой целью нами определено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой содержание некоторых микроэлементов в смолах исследуемых мумий. Результаты элементного анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2. Количественное содержание элементов в смолах мумий

Элемент/ $\lambda$ , Å	Содержание элементов, ppm						
	Мумия, №						
	1	2	3	4	5	6	7
Al <sub>3961</sub>	6925.6	118.9	307.8	5382.6	≤0.1	183.4	706.6
Ba <sub>4554</sub>	19.6	1.6	24.9	32.2	≤0.1	5.307	12.427
Cd <sub>2288</sub>	0.6	0.3	0.1	1.0	0.2	0.2	0.4
Co <sub>2286</sub>	5.5	0.6	0.7	7.1	0.7	0.3	1.4
Cr <sub>2677</sub>	9.3	6.3	0.8	7.0	≤0.1	2.6	4.5
Cu <sub>3247</sub>	174.1	13.5	14.6	103.7	3.1	43.7	80.1
Fe <sub>2599</sub>	6462.4	571.9	485.3	7387.0	85.8	299.5	1051.1
K <sub>7664</sub>	2070.5	10310.4	1617.2	5943.4	5180.6	551.3	412.4
Li <sub>6707</sub>	3.9	0.3	0.1	2.0	0.2	0.1	0.7
Mg <sub>2795</sub>	2105.8	644.6	835.3	2448.1	1485.4	111.5	876.4
Mn <sub>2576</sub>	74.1	10.7	20.8	132.9	0.2	7.1	34.5
Mo <sub>2020</sub>	26.2	0.6	6.2	6.0	0.2	6.2	20.7
Na <sub>5895</sub>	1176.9	21237.1	3399.6	4611.1	20401.1	1095.1	624.4
Nb <sub>3094</sub>	8.8	0.3	2.2	6.0	0.2	2.6	8.3
Ni <sub>2316</sub>	44.7	0.3	6.6	17.1	≤0.1	11.7	39.6
P <sub>2136</sub>	229.2	8881.4	284.3	1281.9	3814.7	58.2	91.1
Pb <sub>2203</sub>	16.7	≤0.1	1.5	424.9	≤0.1	33.4	≤0.1
Sb <sub>2068</sub>	0.6	4.4	0.2	7.0	0.4	1.1	1.7
Se <sub>1960</sub>	1.1	5.7	2.5	7.1	2.2	3.6	≤0.1
Si <sub>2516</sub>	703.8	≤0.1	532.2	1027.2	338.6	523.9	103.9
Sr <sub>4215</sub>	46.5	5.0	43.2	64.4	6.7	3.4	35.5
Ti <sub>3361</sub>	665.9	≤0.1	36.7	610.3	≤0.1	25.6	59.3
V <sub>2924</sub>	87.3	≤0.1	20.6	42.3	≤0.1	22.9	77.6
Zn <sub>2138</sub>	21.3	78.2	7.4	35.2	25.0	8.4	2.1
<b>Σ(Mo, Ni, V), ppm</b>	<b>158.4</b>	-	<b>33.6</b>	<b>65.5</b>	-	<b>41.0</b>	<b>138.1</b>
<b>V, %</b>	<b>55.1</b>	-	<b>61.3</b>	<b>64.6</b>	-	<b>55.9</b>	<b>56.2</b>
<b>Mo, %</b>	<b>16.5</b>	-	<b>18.4</b>	<b>17.3</b>	-	<b>15.4</b>	<b>15.0</b>

Из данных табл. 2 видно, что ванадий и никель обнаружены во всех исследуемых смолах, за исключением мумий № 2, 5. Это подтверждает вывод об отсутствии природного битума в смолах указанных мумий. Интересно отметить также отсутствие в смоляных составах мумий № 2 и 5 свинца, ниобия и титана. Возможно, что наличие этих элементов также является характеристикой природных битумов, но данные об этом в литературе пока отсутствуют.

В смолах мумий № 1, 3, 4, 6, 7, помимо ванадия и никеля, обнаружен молибден. По результатам ис-

следований ряда авторов [10, 21, 47, 48], молибден обнаружен только в битуме Мертвого моря. Согласно [21], доля ванадия и молибдена в природном битуме Мертвого моря от суммы трех элементов составила около 50 и 24%, соответственно. Доля этих элементов в бальзамирующем составе мумии на основе битума Мертвого моря, обнаруженной в Фаюмском оазисе Египта [10], составила 56.3 и 15.1% соответственно.

Доля ванадия в смолах исследованных мумий составила 55.1–64.6%; молибдена 15.0–18.4%. Полученные результаты хорошо коррелируют с литера-

турными данными по содержанию ванадия, никеля и молибдена в битуме Мертвого моря и в смоле Фаюмской мумии на основе этого битума. Следовательно, в смолах мумий № 1, 3, 4, 6, 7 применялся природный битум из месторождений бассейна Мертвого моря.

Использование метода идентификации битума в смолах мумий по определению содержания ванадия, никеля и молибдена имеет ряд существенных преимуществ:

- приборное обеспечение метода позволяет обнаруживать эти элементы на уровне 0.05 ppm;

- метод обладает высокой селективностью, что позволяет определять элементы в присутствии любых органических соединений, вне зависимости от их количества;

- определяемые элементы не подвержены физическим, химическим, биологическим воздействиям в процессе длительного захоронения;

- в результате процессов образования природных битумов происходит концентрирование ванадия, никеля и молибдена. При этом их относительное содержание остается постоянным.

Таким образом, определение относительного содержания ванадия, никеля и молибдена в смолах мумий может обеспечить достоверную идентификацию географического происхождения природного битума в бальзамах для мумификации.

### Выводы

Выполнено ГХ–МС-исследование смол семи древнеегипетских мумий из собрания ГМИИ им. А.С. Пушкина, имеющее целью определение наличия и происхождения природного битума. В смолах идентифицированы *n*-алканы с длиной цепи от 16 до 35 атомов углерода. Доминирование углеводов

### Список литературы / References:

1. Taylor J.H., Antoine D. *Ancient Lives. New Discoveries: Eight Mummies, Eight Stories*. London: British Museum Press, 2014. 192 p.
2. *Egyptian Mummies and Modern Science*. Ed. Rosalie David A. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2008. 304 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511499654>
3. David A.R. *Ancient Egyptian Materials and Technology*. Ed. P.T. Nicholson, I. Shaw. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 372 p. ISBN 0521-45257-0
4. Памятники и люди / Науч. ред. К.К. Искольдская. М.: Восточная литература, 2003. 454 с. ISBN 5-02-018341-5 [Monuments and people. Sci. ed. K.K. Iskoldskaya. Moscow: Vostochnaya literature Publ., 2003. 454 p. (in Russ.). ISBN 5-02-018341-5]
5. *Regarding the Dead: Human Remains in the British Museum*. Eds. A. Fletcher, D. Antoine, J.D. Hill. London: British Museum Press, 2014. 142 p. ISBN 978-086159-197-8
6. Aufderheide A. *The Scientific Study of Mummies*. London: Cambridge University Press, 2003. 590 p. ISBN 978-

$C_{25}-C_{33}$ , типичное для пчелиного воска, позволило предположить его использование в составе смол мумий, что было подтверждено ГХ-анализом МЭЖК. В смолах пяти мумий обнаружены *n*-алканы с числом атомов углерода менее 23 атомов, что предполагает наличие природного битума. Сравнением распределений углеводов с профилями *n*-алканов смол мумий из литературных источников идентифицирован битум бассейна Мертвого моря. Исследование смол мумий методом ГХ–МС в режиме ионного мониторинга (*m/z* 217 и 191) позволило получить доказательства географического происхождения битума.

Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой определено содержание микроэлементов во взятых на исследование образцах. В смолах пяти мумий обнаружены ванадий, никель и молибден. Отсутствие этих элементов для двух из семи исследованных мумий подтвердило вывод об отсутствии природного битума в составе их смол. Результаты определения относительных количеств ванадия, никеля и молибдена в смолах исследуемых мумий показали хорошую корреляцию с литературными данными по содержанию микроэлементов в битуме Мертвого моря и в смоле Фаюмской мумии.

Показаны преимущества идентификации битума в смолах мумий по относительному содержанию ванадия, никеля и молибдена.

### Благодарности

*Исследования проведены в Курчатовском комплексе НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт». Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-29-04144, 17-29-04100.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

0-521-17735-1

7. Яцишина Е.Б., Ковальчук М.В., Лошак М. Д., Васильев С.В., Васильева О.А., Дюжева О. П., Пожидаев В.М., Ушаков В.Л. Междисциплинарные исследования египетских мумий из коллекции государственного музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина в национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» // Кристаллография. 2018. Т. 63. № 3. С. 479–490. <https://doi.org/10.1134/S1063774518030343>

[Yatsishina E.B., Kovalchuk M.V., Loshak M.D., Vasilyev S.V., Vasilieva O.A., Dyuzheva O.P., Pozhidaev V.M., Ushakov V.L. Interdisciplinary study of Egyptian mummies from the Pushkin State Museum of Fine Arts collection at the National Research Centre «Kurchatov Institute». *Crystallography Rep.* 2018;63(3):500-511. <https://doi.org/10.1134/S1063774518030343>]

8. Menager M., Azémard C., Vieillescazes C. Study of Egyptian mummification balms by FT-IR spectroscopy and GC–MS. *Microchemical J.* 2014;114:32-41. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.11.018>

9. Buckley S.A., Evershed R.P. Organic chemistry of embalming agents in Pharaonic and Graeco-Roman mummies.

- Nature*. 2001;413:837-841. <https://doi.org/10.1038/35101588>
10. Proefke M.L., Rinehart K.L. Analysis of an Egyptian Mummy resin by mass spectrometry. *J. Am. Soc. Mass Spectrom.* 1992;3(5):582-589. [https://doi.org/10.1016/1044-0305\(92\)85036-J](https://doi.org/10.1016/1044-0305(92)85036-J)
11. Maurer J., Mohring Th., Rullkotter J. Plant lipids and fossil hydrocarbons in embalming material of Roman period mummies from the Dakhleh Oasis, Western Desert, Egypt. *J. Arch. Sci.* 2002;29(7):751-762. <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0773>
12. Brettell R., Martin W., Atherton-Woolham S., Stern B., McKnight L. Organic residue analysis of Egyptian votive mummies and their research potential. *Studies in Conservation*. 2017;62(2):68-82. <https://doi.org/10.1179/2047058415Y.0000000027>
13. Colombini M. P., Modugno C., Silvano F., Onor M. Characterization of the balm of an Egyptian mummy from the seventh century B.C. *Studies in Conservation*. 2000; 45(1): 19-29. <https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.1.19>
14. Buckley S.A., Clark K.A., Evershed R.P. Complex organic chemical balms of Pharaonic animal mummies. *Nature*. 2004;431:294-299. <https://doi.org/10.1038/nature02849>
15. Łucejko J., Connan J., Orsini S., Ribechini E., Modugno F. Chemical analyses of Egyptian mummification balms and organic residues from storage jars dated from the Old Kingdom to the Copto-Byzantine period. *J. Arch. Sci.* 2017;85:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.06.015>
16. Łucejko J., Lluveras-Tenorio A., Modugno F., Ribechini E., Colombini M. An analytical approach based on X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy and gas chromatography/mass spectrometry to characterize Egyptian embalming materials. *Microchem. J.* 2012;103:110-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2012.01.014>
17. Sarret M., Adam P., Schaeffer P., Ebert Q., Perthuison J., Pierrat-Bonnefois G. Organic substances from Egyptian jars of the Early Dynastic period (3100–2700 BCE): Mode of preparation, alteration processes and botanical (re)assessment of “cedrium”. *J. Arch. Sci.: Reports*. 2017;14:420-431. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.06.021>
18. Degano I., Colombini M.P. Multi-analytical techniques for the study of pre-Columbian mummies and related funerary materials. *J. Arch. Sci.* 2009;36(8):1783-1790. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.04.015>
19. Jones J., Higham Th.F.G., Chivall D., Bianucci R., Kay G.L., Pallen M.J., Oldfield R., Ugliano F., Buckley S.A. A prehistoric Egyptian mummy: Evidence for an ‘embalming recipe’ and the evolution of early formative funerary treatments. *J. Arch. Sci.* 2018;100:191-200. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.07.011>
20. Jones J., Higham Th.F.G., Oldfield R., O’Connor T.P., Buckley S.A. Evidence for prehistoric origins of Egyptian mummification in Late Neolithic Burials. *PLoS One*. 2014. Aug 13;9(8):e103608. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103608>
21. Benson G.G., Hemingway S.R., Leach F.N. The analysis of the wrappings of mummy 1770. In: The Manchester Museum mummy project: multidisciplinary research on ancient Egyptian mummified remains. Ed. by A.R. David. Manchester: Manchester University Press, 1979. P. 119-132. ISBN 0-7190-1293-7
22. Proefke M.L., Rinehart K.L., Raheel M., Ambrose S.H., Wissemann S.U. Probing the mysteries of ancient Egypt: chemical analysis of a Roman period Egyptian mummy. *Anal. Chem.* 1992;64(2):105A-111A. <https://doi.org/10.1021/ac00026a002>
23. Lucas A., Harris J.R. Ancient Egyptian Materials and Industries, 4th ed. London: Histories and Mysteries of Man, 1989. P. 303-308. ISBN-10: 1854170465; ISBN-13: 978-1854170460
24. Beck C.W., Borromeo C. Ancient pine pitch: technological perspectives from a Hellenistic shipwreck. *MASCA Res. Pap. Sci. Archaeol.* 1990;7:51-58.
25. Rullkotter J., Nissenbaum A. Dead Sea asphalt in Egyptian mummies: molecular evidence. *Naturwissenschaften*. 1988;75(12):618-621. <https://doi.org/10.1007/BF00366476>
26. Петров А.А. Углеводороды нефти. М.: Наука, 1984. 264 с.  
[Petrov A.A. Oil Hydrocarbons. Moscow: Nauka Publ., 1984. 264 p. (in Russ.).]
27. Ким Н.С., Родченко А.П. Гопановые углеводороды в битумоидах мезозойских отложений западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 4. С. 758-770. <http://dx.doi.org/10.15372/GiG20160408>
- [Kim N.S., Rodchenko A.P. Hopane hydrocarbons in bitumens of Mesozoic deposits of the western Enisey-Khatanga regional trough. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*. 2016;57(4):597-607. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.06.011>]
28. Harrell J.A., Lewan M.D. Sources of mummy bitumen in ancient Egypt and Palestine. *Archaeometry*. 2002;44(2):285-293. <http://dx.doi.org/10.1111/1475-4754.t01-1-00060>
29. Wendt C.J., Lu Shan-Tan. Sourcing archaeological bitumen in the Olmec region. *J. Arch. Sci.* 2006;33(1):89-97. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.06.012>
30. Mackenzie A.S. Applications of biological markers in petroleum geochemistry. In: Advances in petroleum geochemistry. Ed. J. Brooks and D. Welte. London: Academic Press Publisher. 1984;1:115-214. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-032001-1.50008-0>
31. Connan J. Biodegradation of crude oils in reservoirs. In: Advances in petroleum geochemistry. Ed. J. Brooks and D. Welte. London: Academic Press Publisher. 1984;1:299-335. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-032001-1.50011-0>
32. Connan J., Dessort D. Du bitumen de la Mer Morte dans les baumes d’une momie Égyptienne: Identification par critères moléculaires. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences de Paris Série II*. 1989;309:1665-1672 (in French).
33. Connan J., Nissenbaum A., Dessort D. Molecular archeology: Export of Dead Sea asphalt to Canaan and Egypt in the Chalcolithic-Early Bronze Age (4th – 3rd millennium B.C.). *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1992;56(7):2743-2759. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90357-O](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90357-O)
34. Seifert W.K., Moldowan J.M., Demaison G.J. Source correlation of biodegraded oils. *Organic Geochemistry*. 1984;6:633-643. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(84\)90085-8](https://doi.org/10.1016/0146-6380(84)90085-8)
35. Boehm P.D., Douglas G.S., Burns W.A., Mankiewicz P.J., Page D.S., Bence E. Application of petroleum hydrocarbon chemical fingerprinting and allocation techniques after the Exxon Valdez oil spill. *Marine Pollut. Bull.* 1997;34:599-613. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(97\)00051-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(97)00051-9)
36. Barakat A.O., Qian Y., Kim M., Kennicutt M.C. Chemical characterization of naturally weathered oil residues in arid terrestrial environment in Al-Alamein, Egypt. *Environment Int.* 2001;27(4):291-310. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00060-5](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00060-5)
37. Rullkotter J., Spiro B., Nissenbaum A. Biological marker characteristics of oils and asphalts from carbonate source rocks in a rapidly subsiding graben, Dead Sea, Israel. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1985;49(6):1357-1370. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90060-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90060-5)

doi.org/10.1016/0016-7037(85)90286-8

38. Nissenbaum A. Molecular archaeology: Organic geochemistry of Egyptian mummies. *J. Arch. Sci.* 1992;19(1):1-6. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(92\)90002-K](https://doi.org/10.1016/0305-4403(92)90002-K)

39. Nissenbaum A., Aizenshtat Z., Goldberg M. The floating asphalt blocks of the Dead Sea. *Physics and Chemistry of the Earth*. 1980;12:157-161. [https://doi.org/10.1016/0079-1946\(79\)90098-3](https://doi.org/10.1016/0079-1946(79)90098-3)

40. Barakat A.O., Mostafa A., Qian Y., Kim M., Kennicutt M.C. Organic geochemistry indicates Gebel El Zeit, Gulf of Suez, is a source of bitumen used in some Egyptian mummies. *Geoarchaeology: Int. J.* 2005;20(3):211-228. <https://doi.org/10.1002/gea.20044>

41. Harrell J.A., Lewan M.D. Sources of mummy bitumen in ancient Egypt and Palestine. *Archaeometry*. 2002;44:285-293. <https://doi.org/10.1111/1475-4754.t01-1-00060>

42. Dechaine G.P., Gray M.R. Chemistry and association of vanadium compounds in heavy oil and bitumen, and implications for their selective removal. *Energy & Fuels*. 2010;24(5):2795-2808. <https://doi.org/10.1021/ef100173j>

43. Marcano F., Flores R., Chirinos J., Ranaudo M.A. Distribution of Ni and V in A1 and A2 asphaltene fractions in stable and unstable Venezuelan crude oils. *Energy&Fuels*. 2011;25(5):2137-2141. <https://doi.org/10.1021/ef200189m>

44. Галимов Р.А., Кривоножкина Л.Б., Романов Г.В., Петрова Л.М. Закономерности распределения ванадия, никеля и их порфириновых комплексов в нефтяных компонентах // Нефтехимия. 1990. № 9. С. 12–13.

[Galimov R.A., Krivonozhkina L.B., Romanov G.V., Petrova L.M. Patterns of the distribution of vanadium, nickel and their porphyrin complexes in oil components. *Neftekhimiya = Petroleum Chemistry*. 1990;9:12-13 (in Russ.).]

45. Алешин Г.Н., Алтухова З.П., Антипенко В.Р., Марченко С.П., Камьянов В.Ф. Распределение ванадия и ванадилпорфиринов по фракциям нефтей различных химических типов // Нефтехимия. 1984. Т. 24. № 6. С.729–732.

[Aleshin G.N., Altukhova Z.P., Antipenko V.R., Marchenko S.P., Kamyayov V.F. Distribution of vanadium and vanadylporphyrins by oil fractions of various chemical types. *Neftekhimiya = Petroleum Chemistry*. 1984;24(6):729-732 (in Russ.).]

46. Надиров Н.К., Котова А.В., Камьянов В.Ф., Титов

В.И., Алешин Г.Н., Солодухин В.П., Бакирова С.Ф., Глухов Г.Г., Корябина Н.М. Новые нефти Казахстана и их использование: Металлы в нефтях. Алма-Ата: Наука, 1984. 448 с.

[Nadirov N.K., Kotova A.V., Kamyayov V.F., Titov V.I., Aleshin G.N., Solodukhin V.P., Bakirova S.F., Glukhov G.G., Koryabin N.M. New oils of Kazakhstan and their using: Metals in oils. Alma-Ata: Nauka Publ., 448 p. (in Russ.).]

47. Spielman P.E. To what extent did the Ancient Egyptians employ bitumen for embalming? *J. Egyptian Archaeology*. 1932;18(3/4):177-180. <https://doi.org/10.2307/3854980>

48. Zaki A., Iskander Z. Materials and methods used for mummifying the body of Amentefnekht, Saqqara 1941. *Ann. Serv. Antiquites Egypte*. 1943;XLII:223-250.

49. Marschner R.F., Wright H.T. Asphalts from Middle Eastern Archaeological Sites. In: *Archaeological Chemistry – II, ACD Advances in Chemistry series* (ed. G.H. Carter). Washington DC, 1978. (171):150-171. <https://doi.org/10.1021/ba-1978-0171.ch010>

50. Пожидаев В.М., Сергеева Я.Э., Камаев А.В. Хромато-масс-спектрометрическое исследование археологического артефакта // Журн. аналит. химии. 2017. Т. 72. № 6. С. 589–592. <https://doi.org/10.7868/S0044450217060135>

[Pozhidaev V.M., Sergeeva Ya.E., Kamyayev A.V. Study of archeological abstract by chromatography-mass spectrometry. *Zhurnal analiticheskoy khimii = J. Analit. Chem.* 2017;72(6):699-702. <https://doi.org/10.7868/S0044450217060135>]

51. Mills J.S., White R. *The Organic Chemistry of Museum Objects*. 2nd ed. Oxford. Butterworth-Heinemann, Boston., 1994. 206 p. eBook ISBN 9780080513355 <https://doi.org/10.4324/9780080513355>

52. Serpico M., White R. Resin, pitch and bitumen. In: *Ancient Egyptian Materials and Technology*. Eds. P. Nicholson, I. Shaw. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. P. 430-474

53. Buckley S.A., Stot, A.W., Evershed R.P. Studies of organic residues from ancient Egyptian mummies using high temperature – gas chromatography – mass spectrometry and sequential thermal desorption – gas chromatography – mass spectrometry and pyrolysis – gas chromatography – mass spectrometry. *Analyst*. 1999;124:443-452. <https://doi.org/10.1039/A809022J>

### Об авторах:

**Яцишина Екатерина Борисовна**, кандидат философских наук, заместитель директора по научной работе НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д.1). Scopus Author ID 55062074900. E-mail: Yatsishina\_EB@nrcki.ru

**Пожидаев Виктор Михайлович**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела Биотехнологии и Биоэнергетики НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д.1). <https://orcid.org/0000-0001-5916-4374>, Scopus Author ID 7004257999. E-mail: pojidaev2006@yandex.ru

**Васильева Ольга Александровна**, кандидат исторических наук, начальник отдела ГМИИ им. А.С. Пушкина (119019, Москва, ул. Волхонка, д. 12). <https://orcid.org/0000-0002-1946-8346>. E-mail: vassilievagmii@gmail.com

**Дюжева Ольга Павловна**, кандидат искусствоведения, старший научный сотрудник ГМИИ им. А.С. Пушкина (119019, Москва, ул. Волхонка, д. 12). <https://orcid.org/0000-0002-2084-1881>. E-mail: olga.dyuzheva@arts-museum.ru

**Сергеева Яна Эдуардовна**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела Биотехнологии и Биоэнергетики НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д.1). <http://orcid.org/0000-0002-6190-8800>, ResearcherID M-2766-2014, Scopus Author ID: 12784841000. E-mail: yanaes2005@gmail.com

**Ретивов Василий Михайлович**, кандидат химических наук, главный химик, заведующий аналитическим испытательным центром, руководитель ЦКП «Исследовательский научно аналитический центр НИЦ «Курчатовский институт – ИРЕА» (107076, Россия, Москва, Богородский Вал, д. 3). SPIN-код 5544-5600, Scopus Author ID 26029517500, ResearcherID A-6077-2014. E-mail: retivov\_vm@irea.org.ru

**Терещенко Елена Юрьевна**, кандидат физико-математических наук, заместитель начальника лаборатории Естественно-научных методов в гуманитарных науках НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1); старший научный сотрудник лаборатории рентгеновских методов анализа и синхротронного излучения, Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (119333, Россия, Москва, Ленинский пр., д. 59). Scopus Author ID 7801407652, ResearcherID A-8731-2014. E-mail: helena.tereschenko@gmail.com

**Куликова Ирина Сергеевна**, инженер ресурсного центра НИЦ «Курчатовский институт» (123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1). <http://orcid.org/0000-0001-6734-6047>. E-mail: kefirka08@mail.ru

**Ващенко Екатерина Сергеевна**, заместитель заведующего аналитическим испытательным центром НИЦ «Курчатовский институт – ИРЕА» (107076, Россия, Москва, Богородский Вал, д. 3). <https://orcid.org/0000-0002-9921-4142>. E-mail: e\_katerina2708@mail.ru

**Кожухова Евгения Игоревна**, младший научный сотрудник аналитического испытательного центра НИЦ «Курчатовский институт – ИРЕА» (107076, Россия, Москва, Богородский Вал, д. 3). <http://orcid.org/0000-0001-7128-6286>. E-mail: evgeshapanarina@gmail.com

#### About the authors:

**Ekaterina B. Yatsishina**, Cand. of Sci. (Philosophy), Deputy Director for Research, National Research Center “Kurchatov Institute” (1, Akademika Kurchatova pl., Moscow 123182, Russia). Scopus Author ID 55062074900. E-mail: Yatsishina\_EB@nrcki.ru

**Viktor M. Pozhidaev**, Cand. of Sci. (Chemistry), Senior Researcher, Department of Biotechnology and Bioenergy of the National Research Center “Kurchatov Institute” (1, Akademika Kurchatova pl., Moscow 123182, Russia). <https://orcid.org/0000-0001-5916-4374>, Scopus Author ID 7004257999. E-mail: pojidaev2006@yandex.ru

**Olga A. Vasilyeva**, Cand. of Sci. (History), Head of Department, the Pushkin State Museum of Fine Arts (12, Volkhonka ul., Moscow, 119019, Russia). <https://orcid.org/0000-0002-1946-8346>. E-mail: vassilievagmii@gmail.com

**Olga P. Dyuzheva**, Cand. of Sci. (Art History), Senior Researcher, the Pushkin State Museum of Fine Arts (12, Volkhonka ul., Moscow, 119019, Russia). <https://orcid.org/0000-0002-2084-1881>. E-mail: olga.dyuzheva@arts-museum.ru

**Yana E. Sergeeva**, Cand. of Sci. (Chemistry), Senior Researcher, Department of Biotechnology and Bioenergy, National Research Center “Kurchatov Institute” (1, Akademika Kurchatova pl., Moscow 123182, Russia). <http://orcid.org/0000-0002-6190-8800>, ResearcherID M-2766-2014, Scopus Author ID: 12784841000. E-mail: yanaes2005@gmail.com

**Vasily M. Retivov**, Cand. of Sci. (Chemistry), Chief Chemist, Head of Analytical Testing Center, Head of the National Research Center “Kurchatov Institute” (NRC “Kurchatov Institute” – IREA) (3, Bogorodskii Val, Moscow, 107076, Russia). SPIN-code 5544-5600, Scopus Author ID 26029517500, ResearcherID A-6077-2014. E-mail: retivov\_vm@irea.org.ru

**Elena Yu. Tereschenko**, Cand. of Sci. (Phys.-Math.), Deputy Head, Laboratory of Natural-Scientific Methods in the Humanities of the National Research Center “Kurchatov Institute” (1, Akademika Kurchatova pl., Moscow 123182, Russia); Senior Researcher of the Laboratory of X-ray Analysis Methods and Synchrotron Radiation, Shubnikov Institute of Crystallography FSRC “Crystallography and Photonics”, Russian Academy of Sciences (59, Leninskii pr., Moscow 119333, Russia). Scopus Author ID 7801407652, ResearcherID A-8731-2014. E-mail: helena.tereschenko@gmail.com

**Irina S. Kulikova**, Engineer, Resource Center of the National Research Center “Kurchatov Institute” (1, Akademika Kurchatova pl., Moscow 123182, Russia). <http://orcid.org/0000-0001-6734-6047>. E-mail: kefirka08@mail.ru

**Ekaterina S. Vaschenkova**, Deputy Head of the Analytical Testing Center of the National Research Center “Kurchatov Institute” (NRC “Kurchatov Institute” – IREA) (3, Bogorodskii Val, Moscow, 107076, Russia). <https://orcid.org/0000-0002-9921-4142>. E-mail: e\_katerina2708@mail.ru

**Evgeniya I. Kozhukhova**, Junior Researcher, Analytical Testing Center of the National Research Center “Kurchatov Institute” (NRC “Kurchatov Institute” – IREA) (3, Bogorodskii Val, Moscow, 107076, Russia). <http://orcid.org/0000-0001-7128-6286>. E-mail: evgeshapanarina@gmail.com

**Для цитирования:** Яцишина Е.Б., Пожидаев В.М., Васильева О.А., Дюжева О.П., Сергеева Я.Э., Ретивов В.М., Терещенко Е.Ю., Куликова И.С., Ващенко Е.С., Кожухова Е.И. Определение происхождения природного битума в мумифицирующих смолах древнеегипетских мумий из собрания ГМИИ им. А.С. Пушкина // Тонкие химические технологии. 2019. Т. 14. № 4. С. 45–58. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-45-58>

**For citation:** Yatsishina E.B., Pozhidaev V.M., Vasilyeva O.A., Dyuzheva O.P., Sergeeva Ya.E., Retivov V.M., Tereschenko E.Yu., Kulikova I.S., Vaschenkova E.S., Kozhukhova E.I. The determination of the origin of natural bitumen in mummifying resins of Ancient Egyptian mummies from the collection of the Pushkin Museum of Fine Arts. *Tonkie Khimicheskie Tekhnologii = Fine Chemical Technologies*. 2019;14(4):45-58 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-45-58>