

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ  
ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 543.544.43

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦА ЛАДАНА ИЗ ВЕТЧАНОВОГО ГОРОДА  
ДРЕВНЕГО ВЛАДИМИРА

© 2020 г. В. М. Пожидаев<sup>1,\*</sup>, И. Е. Зайцева<sup>2</sup>, А. В. Камаев<sup>1</sup>, Н. П. Бабиченко<sup>1</sup>,  
И. С. Борисевич<sup>1</sup>, Е. Б. Яцишина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт археологии РАН, Москва, Россия*

*\*E-mail: pojidaev2006@yandex.ru*

Поступила в редакцию 20.07.2020 г.

После доработки 18.08.2020 г.

Принята к публикации 18.08.2020 г.

Представлены результаты исследования в НИЦ “Курчатовский институт” образца ладана, найденного в 1993 г. при раскопках в восточной части исторического ядра города Владимира (Ветчаный город), ныне хранящегося в коллекции ФГБУК “Государственный Владимиро-Суздальский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник”. Идентификация биологически-активных веществ ладана в музейном образце по методикам Европейской фармакопеи показала, что в образце не обнаруживаются босвеллиевые кислоты и их производные, характерные для ладана. При исследовании фрагмента музейного ладана методом газовой хроматографии–масс-спектрометрии (ГХ/МС) обнаружены соединения, которые входят в состав современных ладанов: амиреноны и амирины, а также продукты термического разложения; но отсутствовали основные биомаркеры – босвеллиевые кислоты и их производные. ГХ/МС-анализ образца современного ладана после термического воздействия, имитирующего процесс окуривания, принятого в церковных службах, показал отсутствие в нем босвеллиевых кислот и их производных. В остатках после термообработки обнаружены более стабильные химические соединения ладана, а также продукты его термического разложения. В гексановом экстракте остатков исследуемого образца обнаружены *n*-алканы с нечетным числом атомов углерода, которые являются биомаркерами пчелиного воска. По результатам проведенного исследования сделан вывод, что исследуемый музейный образец представляет собой смесь пчелиного воска и остатков ладана из кадильницы после церковного богослужения.

DOI: 10.1134/S199272232005012X

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 2017 г. рабочая группа, состоящая из сотрудников ФГБУН Институт археологии РАН и Национального исследовательского центра “Курчатовский институт”, реализует проект по изучению средневековых христианских древностей Суздальского Ополя (Владимирская область). В рамках этого проекта были исследованы вложения одиннадцати закрытых бронзовых крестов-энколпионов, датированных XI–XIII вв. Кроме энколпионов из Суздальского Ополя исследованы заполнения трех древнерусских энколпионов из культурного слоя Новгорода.

Энколпионы – это двустворчатые ковчежцы, имеющие вид крестов, с достаточно глубокими внутренними полостями, в которые помещались реликвии. Большинство энколпионов дошло до нас либо без вложений, либо в виде отдельных створок. Находки целых закрытых крестов немногочисленны, а примеров идентификации вложений насчитываются лишь единицы [1].

Отдельного внимания заслуживает идентификация органических материалов, используемых для фиксации вложений-реликвий и створок крестов-энколпионов. В литературе есть упоминания об обнаружении смолистых материалов внутри и на створках крестов. Так, при микроскопическом исследовании крестов из-под Суздаля были обнаружены костные фрагменты, “покрытые прозрачным твердым веществом, напоминающим смолу” [1, 2]. В кресте из раскопок на Рюриковом городище были обнаружены кусочки застывшей смолы светло-зеленого и светло-коричневого цвета [1]. Темно-коричневая смола, покрывающая вложения, обнаружена в Скевском реликварии [3], а также в медно-литом древнерусском энколпионе из Благовещенского собора Московского Кремля [1].

Идентификация происхождения смол из крестов-энколпионов в основном проводилась визуально, очень редко использовались методы оптической микроскопии [1], биофотометрии [4] и

спектрального анализа в видимой и ультрафиолетовой областях спектра [5].

При археологических раскопках в восточной части исторического ядра города Владимира (Ветчаный город) в 1993 г. экспедицией Государственного центра по учету, использованию и реставрации памятников истории и культуры Владимирской области под руководством Ю.Э. Жарнова была исследована усадьба, погибшая в феврале 1238 г. при штурме города татаро-монголами. В небольшой ямке в подвале одного из жилищ этой усадьбы были найдены два берестяных свертка, перевязанные веревками и уложенные один на другой. В нижнем свертке находились два серебряных креста-энколпиона, четыре каменных крестика, ожерелье из серебряных бусин и подвесок, складень из семи серебряных иконок с эмалевыми изображениями и фрагмент вещества каплевидной формы с приятным бальзамным ароматом, завернутый в расшитую шелковую ткань [6, 7]. Размеры фрагмента  $6.20 \times 2.75$  см, масса 7.405 г. В настоящее время клад находится в собрании Государственного Владимиро-Суздальского историко-художественного и архитектурно-музея-заповедника.

В начале 2000-х годов фрагмент коричневатосерого волокнистого вещества из найденногоклада был отдан на анализ в лабораторию физико-химических исследований ГосНИИ реставрации. “В результате гистохимического, химического анализа и тонкослойной хроматографии, проведенных ведущим научным сотрудником, кандидатом исторических наук В.Н. Киреевой, была подтверждена близость исследуемого образца к природной по происхождению бензольной смоле или ладану ближневосточного или аравийского происхождения” [1].

Изучение древних реликвий с использованием современных естественно-научных методов значительно расширяет возможности получения уникальной информации, в том числе, в области христианской археологии и позволяет разработать надежные подходы к идентификации их содержимого.

В рамках проекта ИА РАН по изучению средневековых христианских древностей Суздальского Ополья (Владимирская область) сотрудниками НИЦ “Курчатовский институт” при исследовании вложений крестов-энколпионов в трех крестах были обнаружены остатки вещества, представляющего смесь пчелиного воска и ладана, которая, вероятно, была использована для фиксации вложений и створок [8].

В связи с этим рабочей группой проекта было принято решение провести дополнительное исследование образца ладана из фондов Владимиро-Суздальского музея для сопоставления с ранее полученными данными.



Рис. 1. Внешний вид образца ладана.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Реагенты.** Все использованные растворители и реактивы имели квалификацию “х. ч.” или “для ВЭЖХ”. Для силилирования образцов использовали смесь Supelco Sylon HT (HMDS+TMCS, 3:1).

**Приготовление раствора образца музейного ладана (тест-раствор).** К образцу музейного ладана массой 16.9 мг добавляли 170 мкл метанола и обрабатывали на ультразвуковой бане (60 мин, 60°C). Полученную взвесь центрифугировали (15 мин, 4000 об./мин), надосадочную жидкость использовали для анализа.

**Приготовление растворов стандартных образцов.** К навеске образца современного ладана массой около 100 мг добавляли 1000 мкл метанола и обрабатывали на ультразвуковой бане (60 мин, 60°C). Полученную взвесь центрифугировали в течение (15 мин, 4000 об./мин), надосадочную жидкость использовали для анализа.

**Получение гексанового экстракта остатков музейного ладана.** К остаткам исследуемого образца после приготовления тест-раствора добавляли 200 мкл *n*-гексана и обрабатывали на ультразвуковой бане (60 мин, 60°C). Полученную взвесь центрифугировали (15 мин, 4000 об./мин), надосадочную жидкость использовали для анализа.

**Анализ образцов ладана методом тонкослойной хроматографии (ТСХ).** Испытания проводили с использованием пластин TLC silica gel F254 plate R (5–40 мкм). Мобильная фаза: безводная муравьиная кислота, гептан, этилацетат, толуол

**Таблица 1.** Описание образцов современного ладана

Образец	Шифр образца	Наименование продукта	Производитель, страна
1	Ладан-1	Ладан (НФ). Смола Босвеллии – олибанум	ООО “Церковная лавка онлайн”, Россия
2	Ладан-2	Ладан Афонский Традиционный (Смола Олибанум, крупная)	ООО “Фимиа”, Россия
3	Ладан-3	Ладан “Новая Фиваида. Иорданская купель”	Братство Пустыни Новая Фиваида, Русского монастыря святого великомученика Пантелеймона на Святой Горе Афон, Греция
4	Ладан-4	Ладан натуральный	Большой скит святой православной Анны, Афон, Греция
5	Ладан-5	Ладан Иерусалимский	Монастырь Герасима Иорданского, Иерусалим, Израиль
6	Ладан-6	Натуральная смола ладанного дерева Босвеллии	Кесария, Израиль

(3:10:20:80). Объем пробы 10 мкл. Детектирование – УФ-254.

*Анализ образцов ладана методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).* Анализ образцов проводили на хроматографе Agilent 1200 с диодно-матричным детектором. Колонка Orbit 100 C18 MZ-Analytical, 250 × 4.6 мм, заполненная октадецилсиликагелем (5 мкм). Подвижная фаза:

А – фосфорная кислота – вода (0.1:99.9);

В – фосфорная кислота – ацетонитрил (0.1:99.9).

Градиент подвижной фазы:

Время, мин	Мобильная фаза А	Мобильная фаза В
0 – 12.5	16 – 6	84 – 94
12.5 – 13.5	6 – 0	94 – 100
13.5 – 28	0	100

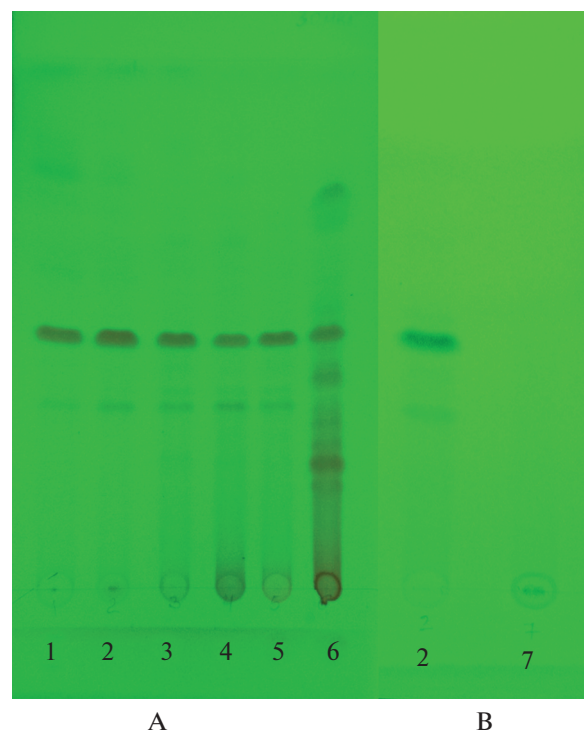
Скорость подвижной фазы 1.0 мл/мин. Длина волны детектирования – 250 нм. Объем пробы 20 мкл.

*Воспроизведение церковной процедуры каждения ладана.* Навеску образца современного ладана около 100 мг переносили в испарительную чашку, поджигали и выдерживали до окончания выделения ароматного дыма.

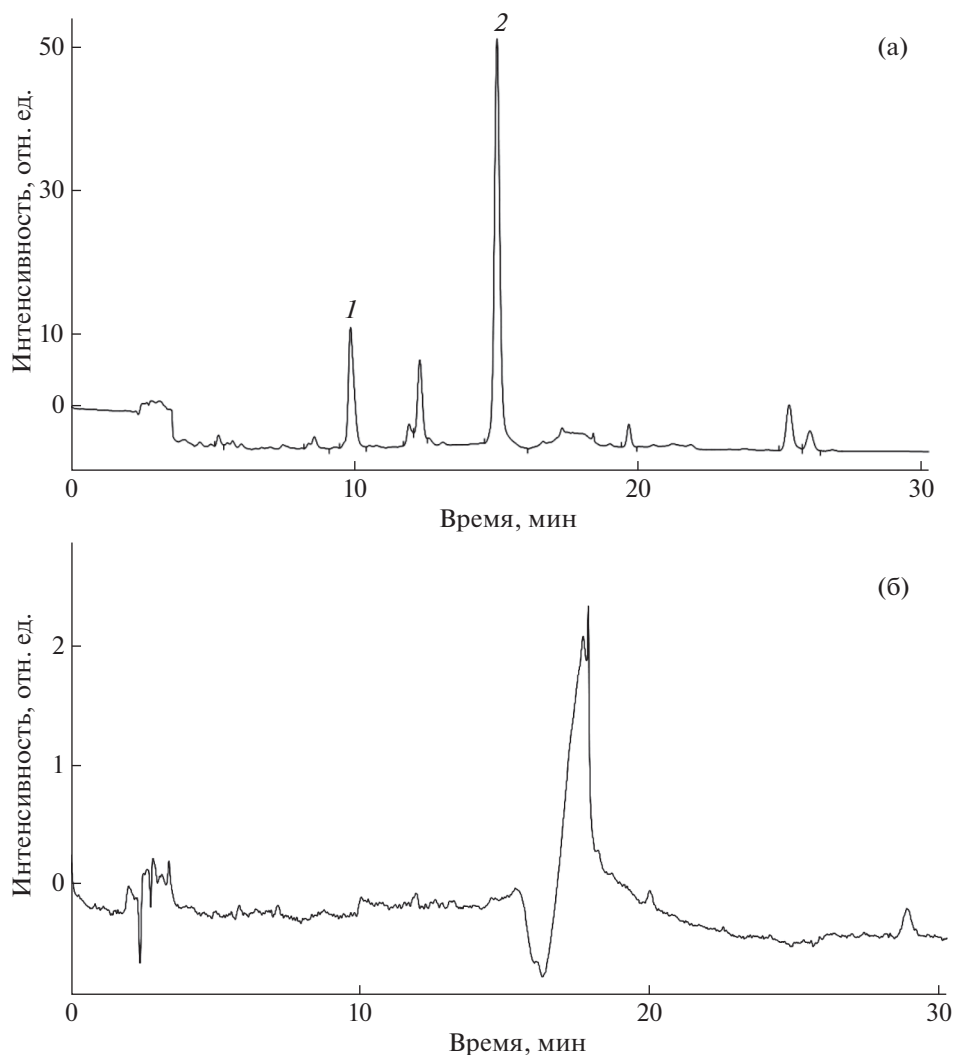
*Силилирование образцов ладана.* К навеске образца ладана массой около 30 мг добавляли 500 мкл пиридина и обрабатывали на ультразвуковой бане (60 мин, 60°C). К полученному раствору добавляли 500 мкл силилирующей смеси и выдерживали в плотно закрытых виалах (30 мин, 25°C). Растворитель удаляли до сухого остатка при слабом нагревании (<40°C) в токе азота. К сухому остатку добавляли 500 мкл метил-трет-бутилового эфира и обрабатывали на ультразвуковой бане (10 мин, 25°C). Полученную взвесь центрифугировали (15 мин, 4000 об./мин), надосадоч-

ную жидкость анализировали методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии (ГХ/МС).

*Анализ образцов методом ГХ/МС.* ГХ/МС-анализ проводили на хроматографе HP-6890 с масс-спектрометрическим детектором MSD 5975 фирмы Agilent Technologies. Условия хроматографирования: колонка капиллярная HP-5ms длиной 30 м и внутренним диаметром 0.25 мм, толщина пленки неподвижной фазы 0.25 мкм. Начальная



**Рис. 2.** Хроматограммы ТСХ стандартных и испытуемого образцов; А – стандартные образцы 1–6; В – стандартный 2 и испытуемый образец 7.



**Рис. 3.** Хроматограммы ВЭЖХ раствора стандартного образца 2 (а) и тест-раствора (б); 1 –  $\alpha$  и  $\beta$ -босвеллиевые кислоты; 2 – 3-О-ацетил-  $\alpha$  и  $\beta$ -босвеллиевые кислоты.

температура колонки 80°C (выдержка 4 мин); повышение температуры от 80 до 280°C со скоростью 4°C/мин. Выдержка при конечной температуре 10 мин. Газ-носитель – гелий, 1 мл/мин, деление потока 1:10. Температура испарителя 280°C, линии переноса детектора 280°C. Объем пробы 1 мкл. Детектирование проводили методом ионизации электронным ударом в режиме сканирования по полному ионному току в диапазоне 50–900 а.е.м. Скорость сканирования – 1.76 скан/с, энергия ионизации 70 эВ, температура квадруполя и источника ионов – 150 и 230°C.

Идентификацию соединений осуществляли с использованием масс-спектров базы данных NIST/EPA/NIH mass spectral library 2014.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ароматическая смола, известная как ладан или олибанум, с древних времен добывалась из

деревьев, принадлежащих к роду *Boswellia* (семейство *Burseraceae*) [9].

В настоящее время ладан поступает в продажу из трех географических регионов: Восточная Африка (Эритрея, Эфиопия, Сомали и Судан), южная часть Аравийского полуострова (Йемен и Оман) и северо-западная Индия. С точки зрения ботанического происхождения смол признаются четыре основных продуцирующих вида: *Boswellia sacra* (Аравийский полуостров), *B. serrata* (Индия), *B. frereana* (Сомали), *B. carteri* (или *B. sacra*) (Африка), а также *B. Papyrifera* (Восточная Африка) [10–14].

Ладан широко применяется в фармацевтике в качестве биологически активной субстанции и лекарственного средства, поэтому он включен в действующие Фармакопеи США, Европы, Индии и Китая [15–18]. В Фармакопеях Соединенных Штатов, Европы и Индии официальным ви-

**Таблица 2.** Идентификация основных соединений методом ГХ/МС в растворе исследуемого ладана (тест-раствор) и растворах стандартов (РС 1–3)

Пик на хроматограмме	Соединение	РС-1	РС-2	РС-3	Тест-раствор
1	24-норолеан-3,12-диен	✓	✓	✓	✓
2	24-норурса-3,12-диен	✓	✓	✓	✓
3	4-норлупа-3,20(29)-диен	✓	✓	✓	✓
4	3-эпи- $\alpha$ -амирин	✓	✓	✓	✓
5	3-эпи- $\beta$ -амирин	✓	✓	✓	–
6	$\alpha$ -амиренон	✓	✓	✓	–
7	$\beta$ -амиренон	✓	✓	✓	–
8	3-эпи- $\alpha$ -лупеол	✓	✓	✓	–
9	3-эпи- $\beta$ -лупеол	✓	✓	✓	✓
10	$\alpha$ -амирин	✓	✓	✓	–
11	$\beta$ -амирин	✓	✓	✓	✓
12	$\alpha$ -босвеллиевая кислота	✓	✓	✓	–
13	$\beta$ -босвеллиевая кислота	✓	✓	✓	–
14	3 $\alpha$ -гидрокси-луп-20(29)-ен-24-овая кислота	✓	✓	✓	✓
15	3-О-ацетил- $\alpha$ -босвеллиевая кислота	✓	✓	✓	–
16	3-О-ацетил- $\beta$ -босвеллиевая кислота	✓	✓	✓	–
17	3 $\alpha$ -О-ацетил-луп-20(29)-ен-24-овая кислота	✓	✓	✓	–

дом ладана является смола, получаемая из растения *Boswellia Serrata* (Индия). В Китайской Фармакопее признаны два других вида – *Boswellia Papyrifera* (Эфиопия) и *Boswellia Sacra* (Оман). Сравнительные исследования этих трех видов ладана методом ТСХ показали, что по составу специфических биомаркеров они не имеют принципиальных различий [19]. Фармакопее устанавливают два основных требования к ладану: “подлинность” (идентификация наличия биологически активных веществ) и “количественное определение” (определение содержания биологически активных веществ).

Авторы большинства работ, посвященных исследованию химического состава ладана различного географического или ботанического происхождения, отмечают наличие его главных составляющих: босвеллиевых кислот и их О-ацетатов [20]. Эти тритерпеновые соединения признаны химическими маркерами босвеллиевой смолы и могут быть полезны для определения присутствия ладана в археологическом смолистом материале.

Внешний вид музейного экспоната представлен на рис. 1.

Для исследования от фрагмента музейного ладана был отобран образец вещества массой 16.9 мг. Идентификацию наличия действующих веществ образца музейного ладана проводили методом ТСХ в соответствии с методикой, описан-

ной в разделе “Подлинность” Европейской фармакопее (ЕР 8.0) [16]. В качестве стандартов использовали образцы ладана, приобретенные в храмах и монастырях России, Израиля и Греции, а также смолу, собранную непосредственно на ладанном дереве. Описание образцов современного ладана приведено в табл. 1. Хроматограммы стандартных и испытуемого образцов представлены на рис. 2.

Из приведенных хроматограмм видно, что в отличие от стандартных в испытуемом образце не обнаруживаются основные соединения ладана – босвеллиевые кислоты и их ацетилированные производные. По требованиям Европейской фармакопее содержание босвеллиевых кислот и их ацетатов в ладане должно быть не менее 1% [16]. При длительных захоронениях босвеллиевые кислоты и их производные подвержены деградации. Метод ТСХ имеет невысокую чувствительность определения, которая, возможно, является недостаточной для обнаружения остатков этих соединений в музейном образце.

Для увеличения чувствительности определений тест-раствор и растворы стандартных образцов исследовали методом ВЭЖХ в соответствии с методикой “Количественное определение” ЕР 8.0 [16].

Хроматограммы тест-раствора и раствора одного из стандартных образцов представлены на рис. 3. Как видно из хроматограмм, в испытуемом

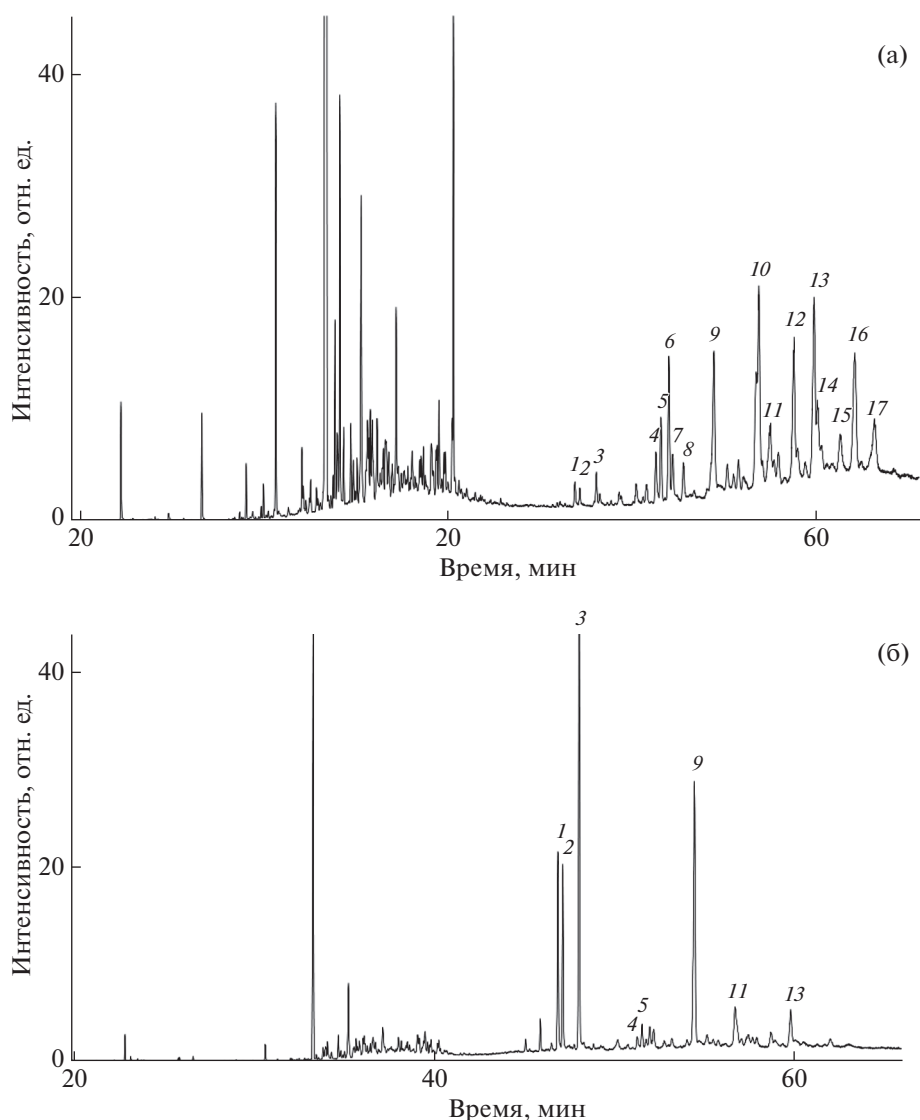


Рис. 4. ГХ/МС-хроматограммы стандартного образца 3 до (а) и после (б) термического воздействия. Отнесение пиков проведено в соответствии с табл. 2.

образце по-прежнему не обнаруживаются босвеллиевые кислоты и их ацетилированные производные.

В литературе описано несколько примеров обнаружения остатков ладана в археологических образцах [20, 21, 23]. В [20] был исследован образец черного смолоподобного материала из вазы, найденной в гробнице принцессы Сат-мер-Хаут, сестры фараона Аменемхата I (около 1897–1844 гг. до н.э., XII династия). Методом ГХ/МС были обнаружены несколько тритерпеноидов:  $\alpha$ - и  $\beta$ -босвеллиевые кислоты, их ацетаты, а также производные амирина, лупеола и продукты их деградации.

В [23] были исследованы тридцать пять археологических образцов смолоподобных материалов, найденных на раскопках религиозного ком-

плекса Кани (Йемен). Образцы датированы I–V веками н.э. В тринадцати археологических образцах методом ГХ/МС были идентифицированы тритерпеновые соединения: босвеллиевые и лупеоловая кислоты и их O-ацетильные производные, а также производные амирина. Исследованные археологические образцы имели характерный ароматический запах. Кроме этого, в отличие от исследуемого образца в их составе были идентифицированы характерные биомаркеры ладана:  $\alpha$ - и  $\beta$ -босвеллиевые кислоты и их O-ацетаты.

С учетом этого дальнейшие испытания образца музейного ладана проводили методом ГХ/МС. Результаты идентификации пиков основных соединений стандартных и музейного образцов ладана представлены в табл. 2.



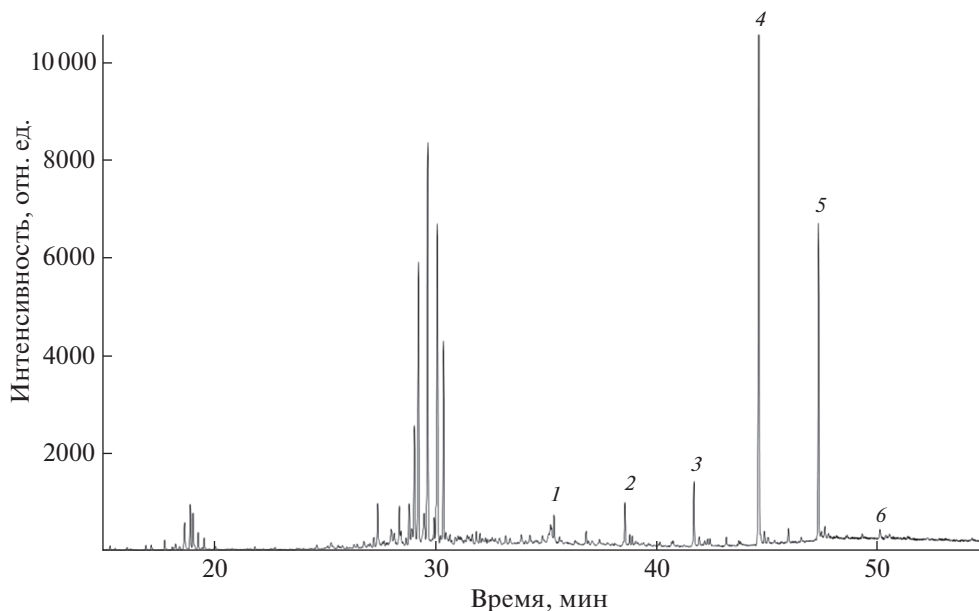


Рис. 5. Хроматограмма гексанового экстракта исследуемого образца. Пики 1–6 – *n*-алканы с числом углеродных атомов в молекуле 23, 25, 27, 29, 31, 33 соответственно.

Методом ГХ/МС в испытуемом образце обнаружены соединения, которые входят в состав современных образцов ладана: 3-эпи-лупеол,  $\beta$ -амиренон,  $\alpha$ - и  $\beta$ -амирины, но не выявлены основные биомаркеры – босвеллиевые кислоты и их ацетилированные производные. Кроме этого, в образце музейного ладана обнаружены 24-норлеан-3,12-диен, 24-норурса-3,12-диен и 4-норлула-3,20(29)-диен. Эти компоненты являются известными продуктами термического разложения ладана [19–22].

Археологические образцы ладана, описанные в литературе, обладали характерным запахом и содержали основные его биомаркеры – босвеллиевые кислоты и их ацетилпроизводные. В исследуемом образце отсутствовал запах, не обнаружены босвеллиевые кислоты и их ацетаты, но присутствовали другие более стабильные соединения ладана и продукты термического разложения. Это позволяет предположить, что музейный экспонат представляет собой ладан, подвергшийся сильному термическому воздействию.

Для подтверждения этой гипотезы образец современного ладана подвергали термическому воздействию, имитируя церковную процедуру каждения. Остатки после сжигания не обладали характерным запахом ладана. Их исследовали методом ГХ/МС. Хроматограммы современного ладана до и после термического воздействия представлены на рис. 4.

На хроматограмме остатков после каждения отсутствовали основные биомаркеры ладана – босвеллиевые кислоты и их ацетилпроизводные, но присутствовали более стабильные химические соединения ладана (3-эпи-лупеол,  $\beta$ -амиренон,  $\alpha$ - и  $\beta$ -амирины) и продукты термического разло-

жения (24-норлеан-3,12-диен, 24-норурса-3,12-диен и 4-норлула-3,20(29)-диен).

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что музейный экспонат представляет собой остатки древнего ладана, подвергшегося сильному термическому воздействию. Наиболее вероятно, служители церкви чистили кадильницу после богослужения, а остатки ладана собирали и хранили на “черный день”.

Как отмечалось ранее, при исследовании внутренних заполнений крестов методом ГХ/МС в трех энколпионах из Суздальского Ополя были обнаружены остатки смеси воска и ладана, которая была использована в качестве вложения или служила для дополнительной фиксации створок [8].

Для исследования наличия пчелиного воска остатки исследуемого образца после растворения в метаноле подвергали экстракции гексаном. Полученный экстракт анализировали методом ГХ/МС. Хроматограмма гексанового экстракта исследуемого образца представлена на рис. 5.

Как видно из хроматограммы, в образце присутствуют *n*-алканы с нечетным числом атомов углерода, которые являются биомаркерами пчелиного воска.

Таким образом, исследуемый музейный образец представляет собой смесь остатков ладана из кадильницы после церковного богослужения и пчелиного воска. Археологический контекст находки позволяет высказать гипотезу о возможном отношении ее хозяина к изготовлению “воскомастики” из остатков ладана и воска для фиксации вложений-реликвий и створок крестов-энколпионов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты исследования образца ладана, найденного в 1993 г. при раскопках в восточной части исторического ядра города Владимира (Ветчаный город).

Идентификация действующих веществ ладана в музейном образце методами ТСХ и ВЭЖХ не показала наличия основных биологически активных веществ ладана — босвеллиевых кислот и их ацетилированных производных.

ГХ/МС-анализ образца музейного ладана также не выявил наличия биологически активных маркеров, но обнаружил более стабильные соединения, входящие в состав современных ладанов: амиреноны и  $\beta$ -амирины, а также продукты термического разложения.

ГХ/МС-исследование образца современного ладана после термического воздействия, имитирующего церковную процедуру, показал отсутствие босвеллиевых кислот и их производных. В остатках после термообработки обнаружены более стабильные химические соединения ладана — амиреноны и амирины, а также продукты термического разложения ладана.

Исследование гексанового экстракта остатков исследуемого образца после растворения в метаноле методом ГХ/МС были обнаружены *n*-алканы с нечетным числом атомов углерода, которые являются биомаркерами пчелиного воска.

Согласно результатам проведенного исследования музейный экспонат представляет собой смесь пчелиного воска и остатков ладана из кадилницы после церковного богослужения.

Авторы выражают благодарность главному хранителю ФГБУК «Государственный Владимиро-Суздальский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник» И.В. Курниковой за предоставленный для исследований музейный образец, а также сотруднику Института археологии РАН А.В. Ворошилову за помощь в приобретении и сборе образцов современного ладана и смолы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-29-04100 и 17-29-04129 офи-м).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Липатов А.А., Медникова Е.Ю., Мусин А.Е., Пескова А.А.* // Христианская иконография Востока и Запада в памятниках материальной культуры Древней Руси и Византии: Памяти Татьяны Чуковой. СПб.: Петербургское востоковедение, 2006. 341 с.
2. *Медникова Е.Ю., Липатов А.А., Куликов В.Е.* // Реликвия. 2004. № 2. С. 16.
3. *Мирзоян А.С.* Византия и византийские традиции. СПб.: Гос. Эрмитаж, 1996. 218 с.
4. *Мусин А.Е.* Восточно-христианские реликвии. М.: Прогресс-Традиция. 2003. 656 с.
5. *Хрушкова Л.Г.* // Раннехристианские памятники восточного причерноморья. IV–VII вв. М.: Академиздатцентр «Наука», 2002. С. 363.
6. *Жарнов Ю.Э., Жарнова В.И.* // Древнерусское искусство. Византия и Древняя Русь. К 100-летию Андрея Николаевича Грабара (1896–1990). Т. 21. СПб.: Дмитрий Буланин, 1999. С. 451.
7. *Липатов А.А., Медникова Е.Ю., Мусин А.Е., Пескова А.А.* // Христианская иконография Востока и Запада в памятниках материальной культуры Древней Руси и Византии. СПб.: Петербургское востоковедение. 2006. С. 291.
8. *Макаров Н.А., Грешиников Э.А., Зайцева И.Е. и др.* // Краткие сообщения Института археологии. Вып. 258. М.: ИА РАН, 2020. С. 25.
9. *Clarkson J.J., Chase M.W., Harley M.M.* // *Kew Bull.* 2002. P. 183.  
<https://doi.org/10.2307/4110826>
10. *Tucker A.O.* // *Econ. Bot.* 1986. V. 40. № 4. P. 425.  
<https://doi.org/10.1007/BF02859654>
11. *Archier P., Vieillescazes C.* // *Analisis.* 2000. V. 28. № 3. P. 233.  
<https://doi.org/10.1051/analisis:2000112>
12. *Thulin M., Warfa A.M.* // *Kew Bull.* 1987. P. 487.  
<https://doi.org/10.2307/4110063>
13. *Duperon J.* // *Revue de cytologie et de biologie végétales, Le Botaniste.* 1993. V. 16. № 3–4. P. 185.
14. *Coppen J.J.W.* // *Food Agric. Org.: Rome.* 1995. P. 81.
15. The US Pharmacopeial Convention. *US Pharmacopoeia 38-National Formulary 33.* Baltimore: United Book Press. 2015.
16. The European Pharmacopoeia Commission. *European Pharmacopoeia. 8.0 Edition.* Strasbourg: European Directorate for the Quality Control of Medicine Press. 2008. V. 1. 1380 p.
17. The Indian Pharmacopoeia Commission. *Indian pharmacopoeia.* New Delhi: National Institute of Science Communication and Information Resources Press. 2010. V. 3. 1112 p.
18. The National Pharmacopoeia Committee. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China.* Beijing: Chemical Industry Press, 2010. V. 1. 1389 p.
19. *Paul M., Brüning G., Bergmann J., Jauch J.* // *Phytochem. Anal.* 2012. V. 23. P. 189.  
<https://doi.org/10.1002/pca.1341>
20. *Mathe C., Culioli G., Archier P., Vieillescazes C.* // *J. Chromatogr. A.* 2004. V. 1023. № 2. P. 277.  
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.10.016>
21. *Evershed R.P., Van Bergen P.F., Peakman T.M. et al.* // *Nature.* 1997. V. 390. P. 667.  
<https://doi.org/10.1038/37741>
22. *Van Bergen P.F., Peakman T.M., Leigh-Firbank E.C., Evershed R.P.* // *Tetrahedron Lett.* 1997. V. 38. № 48. P. 8409.  
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(97\)10234-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(97)10234-9)
23. *Connan J., Joliot C., Mathe C.* // *J. His. Arch. Anthropol. Sci.* 2018. V. 3. № 5. P. 696.  
<https://doi.org/10.15406/jhaas.2018.03.00153>