

УДК 533.9.082.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯНТАРЯ (СУКЦИНИТА) МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Я.И. Верховская^{a,b}, В.Т. Прокопенко^b, Н.П. Сапунова^b

^a Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, 191186, Российская Федерация

^b Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: yana_rus@inbox.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 30.10.17, принята к печати 28.12.17

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-15-23

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Верховская Я.И., Прокопенко В.Т., Сапунова Н.П. Исследование оптических свойств янтаря (сукцинита) методом инфракрасной спектроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 1. С. 15–23. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-15-23

Аннотация

Предмет исследования. Предложено решение проблемы идентификации янтаря (сукцинита) как природного полимерного материала органического происхождения на основе получения его инфракрасных спектров поглощения методом инфракрасной спектроскопии. Предложенный метод позволяет получить как его вещественный, так и элементный составы. В условиях растущего спроса на применение подобных композиционных (сложносоставных) материалов в промышленном масштабе и недостаточности существующих методов по определению их состава предложенный метод может стать новым решением проблемы идентификации. **Метод.** Основу предлагаемого метода исследования сукцинита с использованием инфракрасной спектроскопии составляет просвечивающая спектроскопия с измерением зеркального и диффузного отражения. Для исследования использованы инфракрасный Фурье-спектрометр VERTEX 70 (BRUKER), интерферометр RockSolid™ с микроскопом HYPERION 1000B. В качестве исследуемых объектов использованы образцы янтаря Пальмникенского месторождения, полученные в городе Калининграде Российской Федерации. Подобраны образцы различной степени прозрачности и термической обработки. **Основные результаты.** Получены и представлены в сравнении данные инфракрасных спектров сукцинита, полученные предложенным способом инфракрасной спектроскопии. Показаны отличительные характеристики в четырех основных группах спектров: $1700\text{--}1735\text{ см}^{-1}$, 1640 см^{-1} , $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, $3400\text{--}3480\text{ см}^{-1}$, вне зависимости от характеристик прозрачности материалов. На полученных инфракрасных спектрах экспериментально выделены пять основных связей, которые могут быть использованы как характерные признаки для идентификации и диагностики сукцинита Пальмникенского месторождения по вещественному составу. Влияние термической обработки янтаря на дифференциацию его структуры, в частности, перестроение группы C–O, затрудняет идентификацию в термически обработанных материалах и требует дальнейшего исследования. **Практическая значимость.** Предложенный метод может представлять интерес в области теории материаловедения и в исследованиях, связанных с процессами идентификации, обработки и изготовления продукции из янтаря. Выполненные исследования могут найти применение при синтезе высокомолекулярных соединений, а также в вопросах, связанных с развитием и распространением различных областей применения материалов органического происхождения, в частности, сукцинита.

Ключевые слова

инфракрасные спектры, методы спектроскопии, янтарь, сукцинит, спектроскопия, спектрометрия, спектры поглощения

Благодарности

Авторы выражают благодарность за привнесенный вклад и всестороннюю поддержку при подготовке и проведении настоящего исследования директору Института декоративно-прикладного искусства СПГУПТД, д.т.н., проф. Л.Т. Жуковой, заведующему кафедрой минералогии, кристаллографии и петрографии Горного университета, д.г.-м.н., проф. М.А. Иванову, ведущему инженеру кафедры минералогии, кристаллографии и петрографии Горного университета, к.г.-м.н. Е.А. Васильеву, заведующему кафедрой приборостроения Горного университета, д.т.н., проф. А.И. Потапову.

STUDY OF AMBER (SUCCINITE) OPTICAL PROPERTIES BY IR-SPECTROSCOPY METHOD

Ya.I. Verkhovskaya^{a,b}, V.T. Prokopenko^b, N.P. Sapunova^b

^a Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, 191186, Russian Federation

^b ITMO University, Saint Petersburg, 1097101, Russian Federation

Corresponding author: yana_rus@inbox.ru

Article info

Received 30.10.17, accepted 28.12.17

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-15-23

Article in Russian

For citation: Verkhovskaya Ya.I., Prokopenko V.T., Sapunova N.P. Study of amber (succinite) optical properties by IR-spectroscopy method. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 15–23 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-15-23

Abstract

Subject of Research. We propose a solution for amber identification problem (succinite) as an example of natural polymeric material of organic origin. The solution is based on obtaining its infrared absorption spectra by infrared spectroscopy. The advanced method makes it possible to obtain both real and elemental compositions. In the conditions of growing demand for the use of such composite (complexly composed) materials on an industrial scale and the lack of existing methods for determination of their composition, the proposed method can become a new solution to the identification problem. **Method.** The basis of the proposed method for succinite study by infrared spectroscopy is transmission spectroscopy with the measurement of specular and diffuse reflection. We used the infrared Fourier spectrometer VERTEX 70 (BRUKER), the RockSolid™ interferometer with the HYPERION 1000V microscope for the study. Amber samples from the Palmniken deposit, obtained in the city of Kaliningrad, Russian Federation, were used as the researched objects. Samples of various degrees of transparency and heat treatment were selected. **Main Results.** We have obtained and compared the data of infrared succinite spectra by the proposed infrared spectroscopy method. The distinctive characteristics are shown in the four main spectra groups: 1700–1735 cm⁻¹, 1640 cm⁻¹, 2800–3000 cm⁻¹, 3400–3480 cm⁻¹, regardless of material transparency characteristics. Five main links on the obtained IR spectra have been experimentally identified, which can be used as characteristic features for the identification and diagnosis of the succinite from the Palmniken deposit in terms of material composition. The influence of amber thermal processing on the differentiation of its structure, in particular, the restructuring of the C-O group makes it difficult to identify in heat-treated materials and requires further investigation of this phenomenon. **Practical Relevance.** The proposed method may be of interest in the field of the theory of knowledge of materials science, research related to identification processes, processing and manufacturing of products from amber. The carried out studies can find application at synthesis of high-molecular compounds, in issues connected with the development and distribution of various cases of application of organic nature materials, succinite, in particular.

Keywords

infrared spectra, spectroscopy methods, amber, succinite, spectroscopy, spectrometry, absorption spectra

Acknowledgements

The authors are grateful to: Director of Decorative and Applied Arts Institute, Prof. Zhukova L.T., Head of Mineralogy, Crystallography and Petrography Department of Mining University Prof. Ivanov M.A., leading engineer of Mineralogy, Crystallography and Petrography Department of Mining University, PhD Vasilyev E.A., Head of Instrument Engineering Department of Mining University, Prof. Potapov A.I. for the contribution brought and full support in the organizing and research practice.

Введение

Рост научного интереса к физическим, химическим, механическим и технологическим свойствам материалов янтарной промышленности обусловлен несколькими факторами:

- высокая и постоянно растущая стоимость янтаря как в сырье, так и в обработанном виде;
- ограниченность природных ресурсов янтаря и истощаемость его запасов при неизменно высоком потребительском спросе;
- широкое практическое применение янтаря не только в различных отраслях науки и техники, но и в художественных, культурных, парфюмерных целях, где выбор материалов и их качество является одним из наиболее важных критериев;
- недостаточная изученность янтаря как композиционного материала с неоднородной структурой и сложным компонентным составом.

Известен ряд отечественных [1–3] и зарубежных [4, 5] научных работ, посвященных изучению оптических свойств янтаря. В них рассматриваются методы инфракрасной (ИК) спектроскопии на образцах как обработанного, так и необработанного янтаря месторождений Болгарии и Польши. Однако в этих работах не исследовались образцы сукцинита Пальмникенского месторождения. В частности, не изучены структурные преобразования таких образцов в результате механической, термической и физико-химической обработки, в том числе при прессовании, давлении, а также при применении лакокрасочных и защитных покрытий. Настоящая работа позволяет получить новые научно-методические данные для анализа оптических свойств полимерных материалов органического происхождения методом ИК спектроскопии на примере янтаря (сукцинита).

Научно-методическая база исследования

К настоящему времени в мире выделено более 100 видов ископаемых смол, однако степень их изученности при помощи ИК спектроскопии недостаточна. Результаты большинства работ по изучению образцов материалов различных месторождений [6–13] представлены лишь в обобщенном виде, без детального описания полученных характеристик ИК спектров. В то же время спектральный анализ в ИК диапазоне является одним из универсальных способов получения максимально полной информации о вещественном и структурном составе исследуемых материалов.

При проведении системного и сравнительного анализа существующих классификаций янтарных материалов [14–17] можно выделить четыре основных их направления:

1. классификация по структурному строению, основанная на 30 видах ископаемых смол [14, 15]: «янтареподобные» или «аморфные» полимерного типа (копалиты, сукциниты, ретиниты, шрауфиты, пироретиниты) и «кристаллические» (бензое, т.е. фластафтиты, ксилоретиниты, фихтелиты);
2. классификация по строению углеродного скелета макромолекулярной структуры смолы [15, 16], состоящая из 5 классов, к первому из которых отнесен Балтийский (сукцинит) и доминиканский янтарь с лабдановой решеткой (скелетом);
3. классификация по степени прозрачности янтаря, которая связана с неодинаковой концентрацией микроскопических пустот (полостей): «прозрачный» – без пустот, высшего качества, «облачный» – полупрозрачный, с плотностью пустот 600 мм^{-2} , «бастард» – непрозрачный, с плотностью пустот 2500 мм^{-2} , «костяной» – непрозрачный, напоминающий по цвету слоновую кость, с плотностью пустот $900\,000 \text{ мм}^{-2}$; «пенистый» – непрозрачный, внешне напоминающий морскую пену, с разнообразными полостями (от мельчайших до весьма крупных, в несколько миллиметров). Выделяют также «вскрышной янтарь», отличающийся толстой коркой выветривания и обнаруживаемый в более поздних пластах залегания, чем типично несущий слой; «гнилой янтарь» – разновидность, являющаяся переходной от сукцинита к геданиту (гедано-сукцинит), иногда его ошибочно называют геданит или «незрелый янтарь» – крантцит [17];
4. классификация по цвету, приобретаемому за счет присутствия посторонних по отношению к смоле веществ, минералов, а также условий формирования, что и объясняет столь широкий цветовой диапазон. Эта классификация основана на визуальном, органолептическом или литературном анализе исследовательских работ без применения лабораторного оборудования, колориметрического, спектрального или иного методов анализа.

Существует достаточно большое количество спектральных коллекций органических материалов различной степени информативности [18–20], используемых в качестве методических руководств для спектрального анализа элементов и структур, но все они имеют ограниченную базу данных по структурному составу применительно к ископаемым смолам. В ряде других работ [21–29] существуют ограничения по набору исследуемых элементов и лабораторному комплексу. Особенно важно подчеркнуть, что ни в одной из упомянутых коллекций нет карт и расшифровок спектров янтарных материалов. В то же время, если объединить работы по классификации янтарных материалов под руководством Н.А. Орлова [14] и К. Андерсона [15, 16], обогатить их экспериментальными данными ИК спектров структурного и вещественного состава, то может быть получена база для идентификации янтарных материалов на основе инфракрасной спектроскопии.

Этим пробелом в исследованиях продиктована цель настоящей работы – использование метода ИК спектроскопии для исследования оптических свойств неоднородных полимерных материалов органического происхождения с анизотропными физико-механическими характеристиками на примере янтаря.




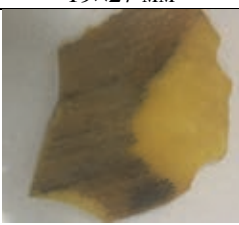


В задачи исследования входят:

- получение ИК спектров поглощения янтаря;
- систематизация полученных данных и выделение из полученных ИК спектров существенных признаков, характеризующих янтарь и янтареподобные смолы и позволяющих провести их идентификацию в материалах;
- определение особенностей организации структур органических полимерных материалов на примере янтаря;
- проведение сравнительного анализа полученных данных ИК спектров поглощения по виду и интенсивности в зависимости от прозрачности и термической обработки янтаря.

Объектом исследования является химический и вещественный состав, микро- и макромолекулярные структурные образования янтаря.

Предметом исследования определен сукцинит Пальмниченского месторождения г. Калининграда Российской Федерации.

Материальной базой экспериментального исследования выбраны образцы янтаря (сукцинита) Пальмниченского месторождения г. Калининграда, Российская Федерация (таблица).

№ образцов (рис. 1–3)	Морфология			Фото образцов
	Описание	Цвет	Прозрачность, блеск	
1.	Прозрачный необработанный янтарь, светло-желтый, поверхность полированная, равномерная прозрачность	Желтый	Прозрачный, блеск на корке – стеклянный	 7×10 мм
2.	Непрозрачный, облачный янтарь, поверхность полированная, местами корка	Желтый-медовый	Облачный, бастард, блеск на сколе – стеклянный, на корке – отсутствует	 43×37 мм
3.	Обработанный янтарь, костяной, с элементами корки, излом матовый, пористый	Белый	Бастард, блеск на сколе – восковой	 19×27 мм
4.	Частично обработанный янтарь, с коркой, характерными параллельными направлениями, непрозрачный с облачной текстурой	Желтый-медовый	Облачный, блеск на сколе – стеклянный, на корке – восковой	 37×42 мм
5.	Янтарь непрозрачный, костяной, светлый с элементами корки, поверхность полированная	Белый	Бастард, костяной, блеск на сколе – восковой	 13×21 мм
6.	Непрозрачный янтарь, светло-желтого цвета, с диагональными глубокими трещинами	Светло-желтый	Бастард-костяной, блеск на сколе – восковой	 19×27 мм






7.	Непрозрачный янтарь, неравномерной структуры и окраса, с глубокими трещинами, ломкий, шлифованная поверхность	Белый, светло-желтый	Костяной, блеск на сколе – восковой	 18×54 мм
8.	Непрозрачный янтарь, светло-желтого медового цвета, с облачной текстурой, элементами корки	Желтый, медовый	Бастард, облачный, скол – стеклянный, восковой	 18×58 мм
9.	Прозрачный янтарь с характерными корками, местами шлифованный	Желтый	Прозрачный, скол – стеклянный	 38×56 мм
10.	Светло коричневый мутный, полупрозрачный в тонком слое янтарь (термическая обработка?) шлифованная поверхность	Светло-коричневый, карамель	Непрозрачный, скол – стеклянный	 37×38 мм
11.	Светло-желтый непрозрачный янтарь с белыми разводами, с элементами корки	Светло-желтый	Бастард, скол – восковой	 18×54 мм

Таблица. Исследуемые образцы сукцинита Пальменикенского месторождения

Методика и описание эксперимента

При проведении исследования образцов сукцинита методом ИК-спектроскопии применялись технологии просвечивающей спектроскопии, а также зеркального и диффузного отражения. Использовано следующее оборудование: ИК Фурье-спектрометр VERTEX 70 (BRUKER) и предварительно откалиброванный интерферометр RockSolid™ с микроскопом HYPERION 1000.

ИК Фурье-спектрометр VERTEX 70 (BRUKER) (рис. 1) представляет собой стационарный автоматизированный прибор, основой которого является двухлучевой интерферометр, в котором при перемещении одного из зеркал происходит изменение разности хода между интерферирующими лучами. Для уменьшения влияния внешних воздействий прибор построен по схеме с зеркалами в виде уголкового светоотражателя. Спектр (в шкале волновых чисел) получается после выполнения специальных математических расчетов (обратного преобразования Фурье) интерферограммы. Движение зеркала в интерферометре осуществляется линейно с помощью прецизионного механизма. Точное положение зеркала (разность хода в интерферометре) определяется с помощью референтного канала с лазером. Нулевое значение разности хода (основной максимум интерферограммы) определяется расчетным путем. Для исключения влияния внешних воздействий (наличие паров воды в атмосфере и двуокиси углерода) имеется приспособление для продувки сухим воздухом или азотом.

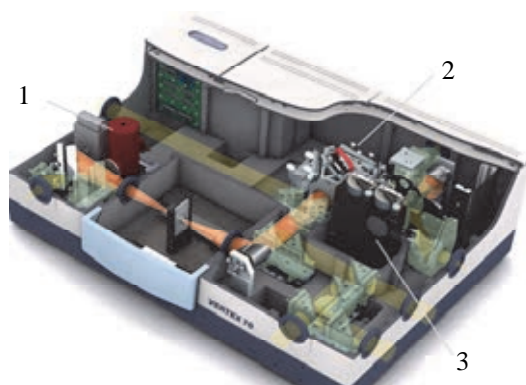


Рис. 1. ИК Фурье-спектрометр VERTEX 70 (BRUKER): 1 – детектор позиционирования – DigiTest; 2 – твердотельный интерферометр; 3 – внутренний источник

Управление процессом измерения осуществляется от внутреннего контроллера и внешнего компьютера с помощью программного обеспечения OPUS, предназначенного для наиболее полного использования всех возможностей Фурье-спектрометров.

С помощью программного обеспечения осуществляется настройка прибора, оптимизация его параметров, управление его работой, Фурье-преобразование интерферограммы, обработка выходной информации, в том числе построение градуировочных графиков, печать результатов и сохранение результатов анализа. Программный пакет OPUS обеспечивает возможность использования измерительной информации другими программами для подготовки документов с результатами измерений. Защита программного обеспечения от непреднамеренных и преднамеренных изменений соответствует среднему уровню согласно Р 50.2.077-2014¹. Измерения проводились в спектральных диапазонах $7500\text{--}370\text{ см}^{-1}$ ($1,3\text{--}25\text{ мкм}$) и $25000\text{--}8500\text{ см}^{-1}$ ($400\text{--}1200\text{ нм}$) с спектральным разрешением измерений $0,4\text{--}32\text{ см}^{-1}$. Скорость сканирования составила 10 сканов в секунду при разрешении 8 см^{-1} , фотометрическая точность 0,1% Т. Отношение сигнал/шум при времени накопления 5 с и разрешении 4 см^{-1} превышало 7000:1. Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений по шкале волновых чисел (по парам воды в атмосфере на длине волны $1554,353\text{ см}^{-1}$) составили $\pm 0,5\text{ см}^{-1}$.

При исследовании коэффициентов поглощения была проведена специальная подготовка образцов. А именно, для исследования собственного поглощения первого порядка применялась «пробоподготовка» – истирание образца и прессование таблетки на основе КВг. Такая «пробоподготовка» позволяет получить тонкий слой материала размером несколько микрон и усреднить спектры по всем возможным ориентациям, компенсируя анизотропию.

Основные результаты

В результате эксперимента получены ИК спектры поглощения сукцинита Пальмникенского месторождения (рис. 2) и выделены их характерные участки (рис. 3).

¹ Р 50.2.077– 2014. Испытания средств измерений в целях утверждения типа. М.: Стандартинформ, 2014.

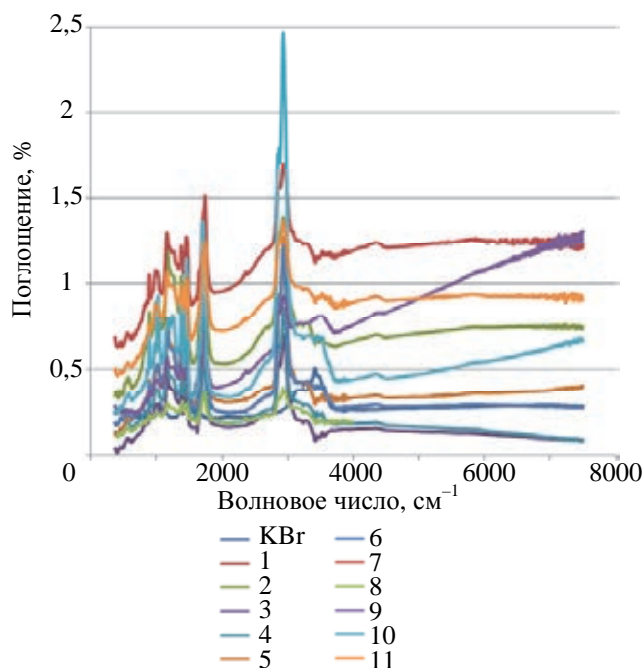


Рис. 2. ИК спектры поглощения образцов сукцинита (янтаря) Пальменикенского месторождения

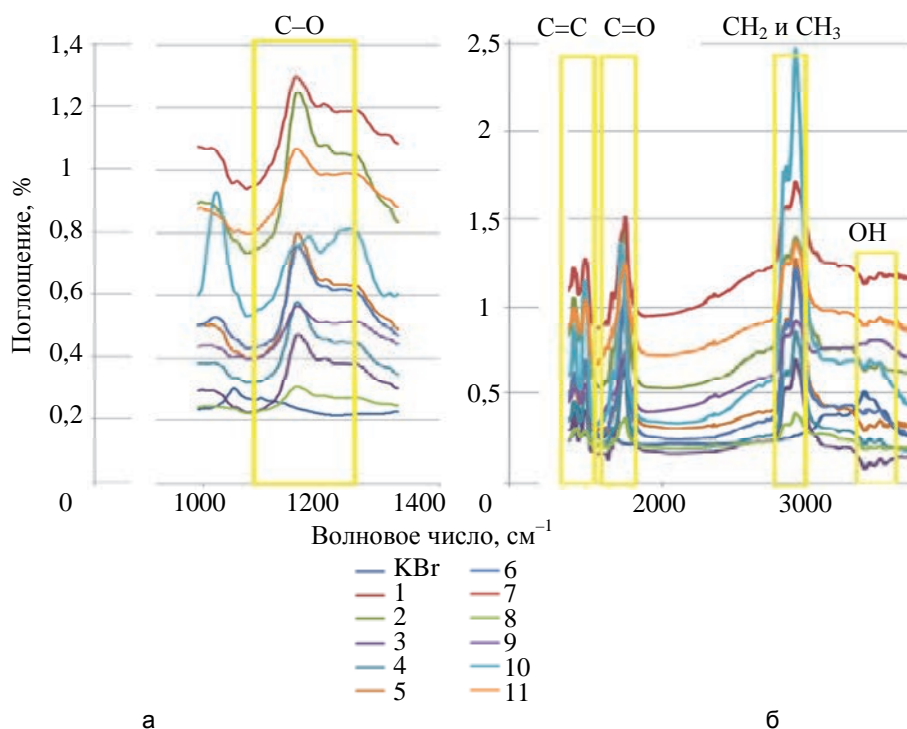


Рис. 3. Характерные участки ИК спектров поглощения образцов сукцинита (янтаря) Пальменикенского месторождения: ИК спектры на участке $1000\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ (а); ИК спектры на участке $1000\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ (б)

Анализ полученных данных позволил выделить особенности сукцинита Пальменикенского месторождения, кратко изложенные ниже.

1. Наиболее информативные участки спектров сосредоточены в диапазонах $1700\text{--}1735\text{ см}^{-1}$, 1640 см^{-1} , $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, $3400\text{--}3480\text{ см}^{-1}$, независимо от характеристик прозрачности материалов, что позволяет сделать вывод о том, что количество пузырьков в составе янтаря не может быть доминирующей характеристикой для классификации физических свойств янтаря.
2. Сравнительная оценка поведения спектров в выделенных диапазонах показывает, что дифференциация между смесями и соединениями на основе спектральных характеристик затруднена. В связи с этим в работе предложено при анализе ИК спектров учитывать химический состав материала. На полученных ИК спектрах экспериментально выделены пять основных связей (рис. 3) – соединения

групп карбоксильных и кислородосодержащих $C=O$ ($1700\text{--}1735\text{ см}^{-1}$), ненасыщенных связей $C=C$ (1640 см^{-1}), CH_2 и CH_3 -групп ($2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$), гидроксильных групп OH ($3400\text{--}3480\text{ см}^{-1}$). Показано (рис. 3), что они могут быть использованы как характерные признаки для идентификации и диагностики сукцинита Пальмникенского месторождения по вещественному составу.

- Следует учитывать, что в результате термической обработки янтаря может произойти дифференциация его структуры, в частности, перестроение группы $C-O$, что затрудняет идентификацию в термически обработанных материалах. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Заключение

Получение инфракрасных спектров янтаря Пальмникенского месторождения с использованием образцов различной прозрачности и термической обработки представляет не только теоретический, но и практический интерес. Результаты работы могут быть использованы при разработке научно-методического руководства по переработке, обработке и изготовлению янтарной продукции, каталогизации янтарных материалов, методов и способов их хранения, идентификации изделий из сукцинита. Особый интерес исследование может представлять в развитии новых направлений использования композиционных материалов органического происхождения, которые открывают новые возможности применения макромолекулярных материалов при изготовлении изделий и деталей для более широких областей использования – например, в изделиях ювелирной промышленности и декоративно-прикладного искусства, где художественная выразительность изделий из янтаря за счет оптических свойств материалов может иметь определяющее значение.

Представленные данные свидетельствуют о сложности полимерных органических соединений и о необходимости проведения дальнейших исследований в данной области.

Литература

- Мартirosyan O.V., Bogdasarov M.A. Ископаемые смолы: диагностика, классификация и структурные преобразования в условиях термального воздействия // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 4(232). С. 10–15.
- Богдасаров М.А., Богдасаров А.А., Мартirosyan O.V. Инфракрасная спектроскопия ископаемых смол из меловых отложений Болгарии // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 4. С. 15–17.
- Коноваленко С.И., Богдасаров М.А. ИК-спектроскопия ископаемых смол Балтийско-Днепровской и Чулымско-Енисейской субпровинций Северной Евразии // Вестник Том. гос. ун-та. 2008. № 314. С. 201–203.
- Kosmowska-Ceranowicz B. Atlas widm w podczerwieni żywic kopalnych świata, subfosylnych i niektórych imitacji bursztynu [Infrared spectra atlas of fossil resins, subfossil resins and selected imitations of amber] / In: Widma IR żywic świata. Charakterystyka ich holotypów [ATLAS Infrared spectra of the World's resins. Holotype Characteristics]. Warszawa: Wyd. PAN Muzeum Ziemi, 2015. P. 5–210.
- Kosmowska-Ceranowicz B, Wagne-Wysiecka E., Całka S. Diagnostyczne pasma IRS po modyfikacji bursztynu [Diagnostic IRS bands in modified amber]. Prace Muzeum Ziemi, 2012. N 50. P. 57–65.
- Богдасаров М.А. Ископаемые смолы Северной Евразии. Брест: БрГУ, 2005. 180 с.
- Савкевич С.С. Янтарь. Л.: Недра, 1970. 192 с.
- Alekseeva I.A., Samarina L.A. The question of the chemical structure of amber // Chemistry of Natural Compounds. 1966. V. 2. N 6. P. 351–356. doi: 10.1007/BF00564222
- Beck C.W., Wilbur E., Meret S. Infra-red spectra and the origin of amber // Nature. 1964. V. 201. N 4916. P. 256–257. doi: 10.1038/201256a0
- Hummel D.O., School F. Infrared Analysis of Polymers Resin and Additives, An Atlas. NY, Wiley, 1969. V. 1. Pt. 2.
- Kosmowska-Ceranowicz B. Succinite and some other fossil resins in Poland and Europe (deposits, finds, features and differences in IRS) // Estudios del Museo de ciencias naturales de Alava. 1999. V. 14. N 2. P. 73–117.
- Shashoua Y. Degradation and Inhibitive Conservation of Baltic Amber in Museum Collections. The National Museum of Denmark, 2002. 44 p.
- Virgolici M., Petroviciu I., Teodor E.D., Litescu S.C., Manea M.M., Medvedovici A., Ponta C.C. TD/CGC/MS and FT-IR characterization of archaeological amber artefacts from Romanian collections (Roman age) // Revue Roumaine de

References

- Martirosyan O.V., Bogdasarov M.A. Fossil resins: diagnostics, classification and structural transformation under the thermal influence. *Vestnik of the Institute of Geology of the Komi Science Centre UB RAS*, 2014, no. 4, pp. 10–15. (In Russian)
- Bogdasarov M.A., Bogdasarov A.A., Martirosyan O.V. Infrared spectrometry of fossil resins from cretaceous deposits of Bulgaria. *Vestnik of the Institute of Geology of the Komi Science Centre UB RAS*, 2011, no. 4, pp. 15–17. (In Russian)
- Konovaleiko S.I., Bogdasarov M.A. Infrared spectrometry of fossil resins of the Baltic-Dnieper and Chulyum-Yenisey subprovinces of Northern Eurasia. *Tomsk State University Journal*, 2008, no. 314, pp. 201–203. (In Russian)
- Kosmowska-Ceranowicz B. Atlas widm w podczerwieni żywic kopalnych świata, subfosylnych i niektórych imitacji bursztynu [Infrared spectra atlas of fossil resins, subfossil resins and selected imitations of amber]. In *Widma IR żywic świata. Charakterystyka ich holotypów* [ATLAS Infrared spectra of the World's resins. Holotype Characteristics]. Warszawa, Wyd. PAN Muzeum Ziemi, 2015, pp. 5–210.
- Kosmowska-Ceranowicz B, Wagne-Wysiecka E., Całka S. Diagnostyczne pasma IRS po modyfikacji bursztynu [Diagnostic IRS bands in modified amber]. *Prace Muzeum Ziemi*, 2012, no. 50, pp. 57–65.
- Bogdasarov M.A. *Fossil Resins of Northern Eurasia*. Brest, Russia, BrSU Publ., 2005, 180 p. (In Russian)
- Savkevich S.S. *Amber*. Leningrad, Nedra Publ., 1970, 192 p. (In Russian)
- Alekseeva I.A., Samarina L.A. The question of the chemical structure of amber. *Chemistry of Natural Compounds*, 1966, vol. 2, no. 6, pp. 351–356. doi: 10.1007/BF00564222
- Beck C.W., Wilbur E., Meret S. Infra-red spectra and the origin of amber. *Nature*, 1964, vol. 201, no. 4916, pp. 256–257. doi: 10.1038/201256a0
- Hummel D.O., School F. *Infrared Analysis of Polymers Resin and Additives, An Atlas*. NY, Wiley, 1969, vol. 1, pt. 2.
- Kosmowska-Ceranowicz B. Succinite and some other fossil resins in Poland and Europe (deposits, finds, features and differences in IRS). *Estudios del Museo de ciencias naturales de Alava*, 1999, vol. 14, no. 2, pp. 73–117.
- Shashoua Y. *Degradation and Inhibitive Conservation of Baltic Amber in Museum Collections*. The National Museum of Denmark, 2002, 44 p.
- Virgolici M., Petroviciu I., Teodor E.D., Litescu S.C., Manea M.M., Medvedovici A., Ponta C.C. TD/CGC/MS and FT-IR

- Chimie. 2010. V. 55. P. 349–355.
14. Орлов Н.А., Успенский В.А. Минералогия каустобиолитов. М.; Л.: АН СССР, 1936. 198 с.
 15. Anderson K.B., Winans R.E., Botto R.E. The nature and fate of natural resins in the geosphere – II. Identification, classification and nomenclature of resinates // *Organic Geochemistry*. 1992. V. 18. N 6. P. 829–841. doi: 10.1016/0146-6380(92)90051-X
 16. Anderson K.B., Crelling J.C. Amber, Resinite and Fossil Resins. ACS Symposium Series. 1996. V. 617. 297 p. doi: 10.1021/bk-1995-0617
 17. Янтарь. Геологический словарь: в 2-х томах / Под ред. К.Н. Паффенгольца и др. М.: Недра, 1978.
 18. Fawcett A.H. *Polymer Spectroscopy*. NY: John Wiley & Sons, 1996. 400 p.
 19. Field L.D., Sternhell S., Kalman J.R. *Organic Structures from Spectra*. 4th ed. Wiley, 2008. 454 p.
 20. Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 7th ed. Wiley, 2005. 550 p.
 21. Беллами Л.Дж. Инфракрасные спектры сложных молекул / Под ред. Ю.А. Пентина. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. 592 с.
 22. Дехант Я., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. М.: Химия, 1976. 471 с.
 23. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М.: Высшая школа, 1971. 264 с.
 24. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. М.: Техносфера, 2013. 696 с.
 25. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965. 216 с.
 26. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольгер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. М.: Мир, 2006. 438 с.
 27. Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений. М.: Мир, 1977. 592 с.
 28. Тегер А.А. Физико-химия полимеров: 2-е изд. М.: Химия, 1968. 536 с.
 29. Тарутина Л.И., Позднякова Ф.О. Спектральный анализ полимеров. Л.: Химия, 1986. 248 с.
 - characterization of archaeological amber artefacts from Romanian collections (Roman age). *Revue Roumaine de Chimie*, 2010, vol. 55, pp. 349–355.
 14. Orlov N.A., Uspenskii V.A. *Mineralogy of Caustobioliths*. Moscow, Leningrad, AS USSR Publ., 1936, 198 p. (In Russian)
 15. Anderson K.B., Winans R.E., Botto R.E. The nature and fate of natural resins in the geosphere – II. Identification, classification and nomenclature of resinates. *Organic Geochemistry*, 1992, vol. 18, no. 6, pp. 829–841. doi: 10.1016/0146-6380(92)90051-X
 16. Anderson K.B., Crelling J.C. *Amber, Resinite and Fossil Resins*. ACS Symposium Series, 1996, vol. 617, 297 p. doi: 10.1021/bk-1995-0617
 17. *Amber. Geological Dictionary*, 2 volumes. Eds. K.N. Paffengol'ts et al. Moscow, Nedra Publ., 1978. (In Russian)
 18. Fawcett A.H. *Polymer Spectroscopy*. NY, John Wiley & Sons, 1996, 400 p.
 19. Field L.D., Sternhell S., Kalman J.R. *Organic Structures from Spectra*. 4th ed. Wiley, 2008, 454 p.
 20. Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 7th ed. Wiley, 2005, 550 p.
 21. Bellamy L.J. *The Infra-Red Spectra of Complex Molecules*. Wiley, 1975, 433 p.
 22. Dechant J., Danz R., Kimmer W., Schmolke R. *Ultrarotspektroskopische Untersuchungen an Polymeren*. Berlin, Akademie, 1972, 516 p.
 23. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. *Application of UV, IR and NMR Spectroscopy in Organic Chemistry*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1971, 264 p. (In Russian)
 24. Kuptsov A.Kh., Zhizhin G.N. *Fourier-Raman Spectra and Fourier-IR Spectra of Polymers*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2013, 696 c. (In Russian)
 25. Nakanishi K. *Infrared Absorption Spectroscopy*. San-Francisco, Holden-Day, 1962, 223 p.
 26. Pretsch E., Bullmann P., Affolter C. *Structure Determination of Organic Compounds. Tables of Spectral Data*. Springer, 2000, 404 p.
 27. Silverstein R., Bassler G.C., Morrill T.C. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Wiley, 1974, 340 p.
 28. Tager A.A. *Physicochemistry of Polymers*. 2nd ed. Moscow, Khimiya Publ., 1968, 536 p. (In Russian)
 29. Tarutina L.I., Pozdnyakova F.O. *Spectral Analysis of Polymers*. Leningrad, Khimiya Publ., 1986, 248 p. (In Russian)

Авторы

Верховская Яна Ивановна – старший преподаватель, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, 191186, Российская Федерация; аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; ORCID ID: 0000-0002-6521-8196, yana_rus@inbox.ru

Прокопенко Виктор Трофимович – доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 7102390810, ORCID ID: 0000-0001-5037-4252, prokopenko@mail.ifmo.ru

Сапунова Наталия Петровна – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-7760-4935, modernns@yandex.ru

Authors

Yana I. Verkhovskaya – Senior lecturer, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, 191186, Russian Federation; postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 1097101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-6521-8196, yana_rus@inbox.ru

Victor T. Prokopenko – D.Sc., Full Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 1097101, Russian Federation, Scopus ID: 7102390810, ORCID ID: 0000-0001-5037-4252, prokopenko@mail.ifmo.ru

Natalia P. Sapunova – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 1097101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0001-7760-4935, modernns@yandex.ru