УДК 549.892.2 DOI: 10.19110/geov.2026.9.3

Нетипичный сукцинит из Дании

О. В. Мартиросян[1], **М. А. Богдасаров**[2], **Е. А. Голубев**[3]

[1] Геологический институт РАН, Москва, Россия, *mov@ginras.ru*
[2] Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, Брест, Беларусь, *bahdasarau@gmail.com*
[3] Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, *golubev@geo.komisc.ru*

Методами инфракрасной спектроскопии и дифференциального термического анализа впервые изучен образец ископаемой смолы из Дании. Показано, что ископаемая смола идентифицируется как сукцинит, но имеет отличные от него термические характеристики. Повышенная степень окисленности и смещение температурных максимумов позволяют предположить, что образец претерпел меньшую степень постдиагенетической трансформации, что может быть связано с его более молодым возрастом и/или длительным поверхностным окислением. Актуальность работы обусловлена отсутствием систематических физико-химических исследований ископаемой смолы из Дании и нерешённостью вопроса о ее происхождении и соотношении с другими сукцинитами Европы. Полученные результаты расширяют представления о внутривидовой изменчивости сукцинитов в зависимости от возраста и условий захоронения.

Ключевые слова: *ископаемая смола, сукцинит, ИК-спектроскопия, ДТА*

Atypical succinite from Denmark

O. V. Martirosyan[1], **M. A. Bogdasarov**[2], **E. A. Golubev**[3]

[1] Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2] Brest State University named after A. S. Pushkin, Brest, Belarus
[3] Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

For the first time, a fossil resin sample from Denmark has been studied by infrared spectroscopy and differential thermal analysis. It is shown that the fossil resin is identified as succinite but with different thermal characteristics. The elevated degree of oxidation and the shift of temperature maxima suggest that the sample underwent a lower degree of post-diagenetic transformation, which may be related to its younger age and/or prolonged surface oxidation. The relevance of this study is due to the lack of systematic physicochemical investigations of fossil resins from Denmark and the unresolved questions regarding their origin and relationship to other succinites in Europe. The obtained results expand the understanding of intraspecific variability of succinites depending on age and burial conditions.

Keywords: *fossil resin, succinite, IR spectroscopy, DTA*

Введение

Ископаемые смолы встречаются на территории Королевства Дания с древнейших времён, в том числе в её арктической части — на острове Гренландия (Мартиросян, 2025). Уже в эпоху неолита (IV тысячелетие до н. э.) «янтарь» занимал важное место в материальной и духовной культуре местных племён. Об этом говорят масштабные находки: близ Рандерса обнаружено более 4 тысяч обработанных бусин общим весом свыше 8 кг, а на севере Ютландии, в Моллерупе, — до 12 тысяч янтарных бусин (Bortolotti, 1993; Bech et al., 2018).

Однако происхождение смолоносных отложений, из которых могли быть вымыты ископаемые смолы, в настоящее время неизвестно. Основным регионом их нахождения и сбора является западное побережье Ютландии. Согласно С. Г. Ларссону (Larsson, 1978), именно здесь береговой «янтарь» находили в значительных количествах от о. Фанё до фьорда Ниссум-Бреднинг, причём большая часть была собрана на участке между Блаванндсшуком и Хвидесанде. О. Е. Хайе (Haie, 1967) также подтверждает, что большинство датского янтаря происходит именно с этой части побережья. Кроме того, ископаемые смолы находят на побережье островов Фанё, Лесё (Simonsen, 2008), Борнхольм (Langenheim, 1969; Larsson, 1978), в формации Фур в районе Лим-фьорда (Pedersen, Pedersen, 2013), в среднеэоценовой глине близ Мариагер-фьорда (Nørregaard, 1903), близ Копенгагена (в песчаных карьерах на Вальбю Бакке) совместно с бурым углем и растительными остатками (Sarauw, 1897), а также на побережье пролива Каттегат (Ravn, 1897) (рис. 1).

С. Г. Ларссон (Larsson, 1962; 1978) предположил, что датская ископаемая смола была переотложена в миоценовые лигниты Ютландии из эоценовых лесов южной Швеции (юго-западных территорий Фенноскандии). Это означает, что датская ископаемая смола имеет обособленное географическое происхождение и не связана с переотложением в районе Гданьского залива (Drohojowska et al., 2024). Отложение данной ископаемой смолы в Ютландии могло произойти не

Для цитирования: Мартиросян О. В., Богдасаров М. А., Голубев Е. А. Нетипичный сукцинит из Дании // Вестник геонаук. 2026. 9(381). С. 30–37. DOI: 10.19110/geov.2026.9.3

For citation: Martirosyan O. V. , Bogdasarov M. A., Golubev E. A. Atypical succinite from Denmark. Vestnik of Geosciences, 2026, 9(381), pp. 30–37. DOI: 10.19110/geov.2026.9.3

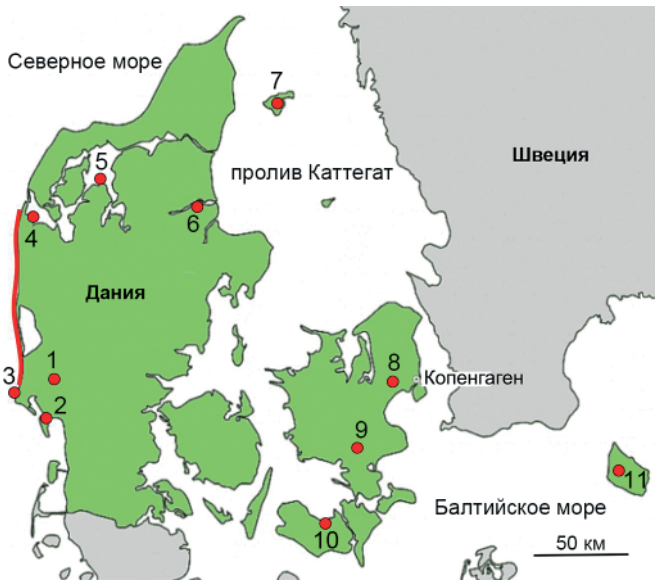


Рис. 1. Места находок ископаемых смол Дании: 1 — г. Варде, 2 — о. Фанё, 3 — маяк Блаванндсшук, 4 — Ниссум-Бреднинг-фьорд, 5 — Лим-фьорд, 6 — Маригер-фьорд, 7 — о. Лесё, 8 — Вальбю Бакке, 9 — г. Могенструп, 10 — Файё, 11 — о. Бранхёльм

Fig. 1. Localities of fossil resin occurrences in Denmark: 1 — Varde; 2 — Fanø Island; 3 — Blåvandshuk Lighthouse; 4 — Nissum Bredning Fjord; 5 — Limfjord; 6 — Mariager Fjord; 7 — Læsø Island; 8 — Valby Bakke; 9 — Mogenstrup; 10 — Fejø; 11 — Brantholm Island

ранее миоцена, поскольку до этого периода устье «Балтийской реки» не находилось на территории Германии и Дании (Tshernyshev et al., 2025). Гипотеза С. Г. Ларссона о южно-шведском происхождении датского янтаря долгое время не получала широкого признания; доминирующей оставалась концепция единого источника для всего «балтийского янтаря» (Szwedo, Sontag, 2009). Однако новейшие палеоэнтомологические исследования (Nadein et al., 2016; Simutnik et al., 2020) вновь подтвердили её обоснованность. В пользу этого свидетельствуют и данные по ископаемой фауне (Heie, 1967, 1972; Heie, Wegierek, 2011; Nadein et al., 2016). При этом фауна, найденная в датской ископаемой смоле, демонстрирует большее сходство с ровенской ископаемой смолой (Украина), чем со смолой из Пальмникенского месторождения (Калининград) (Perkovsky, 2016, 2017).

Датскую ископаемую смолу традиционно относят к «балтийской группе» сукцинита (Baltik amber) — собирательному термину для сукцинитов из разных мест, наиболее известными из которых являются Калининград (Россия) и Гданьск (Польша). «Балтийский сукцинит» является одним из самых распространенных и наиболее изученных видов ископаемых смол (Фракей, 1990; Rice, 1999). В настоящее время инфракрасная спектроскопия позволяет безошибочно идентифицировать сукцинит, и его характеристика широко обсуждалась в научной литературе, начиная с первых работ С. С. Савкевича и К. В. Бека (Савкевич, Шакс, 1964; Beck et al., 1965).

Однако кроме сукцинита на территории Дании могут встречаться и другие виды ископаемых смол, которые в своем химическом составе не имеют янтарную кислоту и, возможно, относятся к группе ретинитов. Это ископаемая смола из миоценовой слюдистой глины, найденная в карьере кирпичного завода Хессельхё к северу от г. Варде (Nørregaard, 1903), и олигоценовая смола из Могенструпа (Madsen, 2012). По данным последней работы, ИК-спектр показал отсутствие «балтийского плеча», но авторы не привели сам ИК-спектр, и более точной информации не имеется.

Ископаемые смолы из Дании остаются наименее изученными среди европейских ископаемых смол (Nadein et al., 2016). До настоящего времени систематические физико-химические исследования ископаемых смол из Дании фактически отсутствуют, а имеющиеся сведения ограничиваются палеоэнтомологическими описаниями. Настоящая работа восполняет этот пробел, впервые представляя данные инфракрасной спектроскопии и дифференциального термического анализа для ископаемой смолы из Дании.

Материалы и методы

Описанный в данной работе экземпляр (МБ-041) взят из коллекции С. С. Савкевича. Сбор произведен в современной пляжевой россыпи на территории Дании, точное местонахождение на этикетке не указано. Образец ископаемой смолы желто-коричневого цвета, полупрозрачный. Для сравнительного анализа были привлечены сукциниты из эталонных местонахождений: Пальмникенского (Калининградская область, Россия), Клесовского (Ровненская область, Украина) и Биттерфельдского (Саксония-Анхальт, Германия) месторождений (табл. 1, рис. 2).

ИК-спектроскопия. Для определения молекулярных особенностей ископаемых смол применялся метод инфракрасной спектроскопии (ИКС). ИК-спектры поглощения изученных образцов смол получены в Институте геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар). Образцы предварительно перетирали с бромидом калия, при помощи пресса изготавливали таблетки, которые исследовали на ИК-Фурье спектрометре «Инфралюм ФТ-801» фирмы «Люмэкс-Сибирь» (Россия) в диапазоне 4000—500 $см^{-1}$ с разрешением 4 $см^{-1}$, числом сканирований 32. Образцы готовили прессованием 1.5—8.0 мг смолы с 800 мг оптически чистого KBr (диаметр обоймы 20 мм) с вакуумированием и использованием гексахлор-1.3-бутодиена для снижения гигроскопичности. Оптическую плотность полос (D) определяли методом базисных линий по высоте пиков. Оптическая плотность — это безразмерная величина, равная десятичному логарифму отношения потока излучения F_0, падающего на слой вещества, к потоку прошедшего излучения F, ослабленного в результате поглощения и рассеяния: $D = \lg(F/F_0)$. Расшифровку ИК-спектров проводили, ссылаясь на результаты подобных исследований (Kosmowska-Ceranowicz, 1999; Pagacz et al., 2020; Natkaniec-Nowak et al., 2023), а также в соответствии с данными, приведенными в специальной литературе по ИКС (Беллами, 1971). В табл. 2 представлена расшифровка значений встречаемых на ИК-спектре исследуемых ископаемых смол характеристических частот.

Дифференциальный термический анализ. К числу свойств, структурно-чувствительных к особенностям молекулярного состава ИС, относятся их теплофизические свойства. ДТА природных смол может обе-

Таблица 1. Образцы ископаемых смол
Table 1. Samples of fossil resins

Образец / Sample	Происхождение / Origin	Цвет / Color	Возраст / Age
МБ-041	Дания Denmark	Желто-коричневый, полупрозрачный Yellow-brown, subtransparent	?
МБ-030	Биттерфильд (Германия) Bitterfield (Germany)	Желтый, полупрозрачный Yellow, subtransparent	Олигоцен-миоцен Oligocene-Miocene
АБ-044	Пальмникен (Россия) Palmnicken (Russia)	Жёлтый, полупрозрачный Yellow, subtransparent	Эоцен-олигоцен Eocene-Oligocene
АБ-041	Клесов (Украина) Klesov (Ukraine)	Желтый, полупрозрачный Yellow, subtransparent	Эоцен-олигоцен Eocene-Oligocene

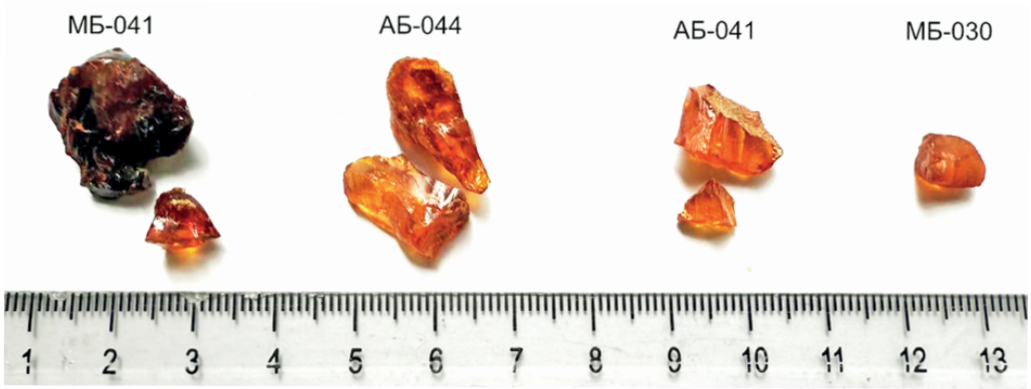


Рис. 2. Изученные образцы ископаемых смол
Fig. 2. The studied fossil resin samples

спечить альтернативный подход к изучению процессов их созревания. Дифференциальный термический анализ порошковых материалов проводили в ЦКП Института химии ФИЦ Коми НЦ Уро РАН на синхронном термоанализаторе STA-409 PC/4/H Luxx (NETZCH GMBH, Германия). Образцы нагревали в платинородиевом тигле в температурном интервале: 25—1000 °C при скорости нагрева 0.01—100 °C/мин. Полное сгорание ископаемых смол заканчивалось при температуре около 600 °C.

Обсуждение результатов

Инфракрасная спектроскопия. Все изученные образцы демонстрируют идентичный качественный состав функциональных групп, что подтверждает их принадлежность к одному типу ископаемых смол, а именно сукциниту. Диагностическое значение имеет область 1250–1120 $см^{-1}$. Ключевым спектральным признаком сукцинита является характерный «балтийский зубец»: широкая горизонтальная площадка в диапазоне 1250—1195 $см^{-1}$, переходящая в острый пик максимумом около 1160 $см^{-1}$ с резким спадом поглощения (1250 < 1160 $см^{-1}$) (рис. 3). Эта особенность наблюдается и на спектре датского образца.

Кроме того, присутствуют алифатические CH_2- и CH_3-группы, что подтверждается полосами валентных колебаний в области 2800—3000 $см^{-1}$. Плоскостные деформационные колебания δ(CH) этих групп проявляются в интервале 1340–1450 $см^{-1}$. О наличии ненасыщенных связей C=C в структуре смол свидетельствует полоса 1640 $см^{-1}$, обусловленная валентными колебаниями этой связи υ (C=C), а также полосы при 3080 $см^{-1}$, вызванные соответственно валентными υ (CH) и неплоскими деформационными υ (CH) колебаниями =CH- и $=CH_2$-групп при ненасыщенной C=C-связи. Важно отметить, что в анализируемых образцах ароматические соединения отсутствуют — нет характерных интенсивных полос в интервалах 650–800 $см^{-1}$ и 1480—1600 $см^{-1}$.

В составе изученных образцов представлены разные кислородосодержащие группы. О наличии карбоксильных групп можно судить по интенсивной полосе в области 1700—1730 $см^{-1}$. Сложный контур этой полосы обусловлен наложением колебаний υ(C=O) сложноэфирной (1730 $см^{-1}$) и карбоксильной (1700 $см^{-1}$) групп. Интенсивности этих полос могут быть равными либо обычно доминирует сложноэфирная компонента (1730 $см^{-1}$). Сложноэфирные группировки помимо полосы υ (C=O) дают полосы υ (C–O) кислот и эфиров, положение которых в значительной степени зависит от соседних в молекуле групп и связей и находится в диапазоне 1160—1240 $см^{-1}$. Спиртовые OH-группировки обуславливают поглощение в области 3400 $см^{-1}$ — валентные колебания υ (OH). Наличие водородных связей возможно и определяет трехмерный характер структуры ископаемых смол.

Сравнение ИК-спектров сукцинитов из разных местонахождений показало, что различия между образцами касаются лишь содержания функциональных групп (табл. 3). Образец МБ-041 является наиболее окисленным по сравнению с другими сукцинитами (АБ-044 и АБ-041). Высокое содержание алифатических групп указывает на то, что он содержит больше

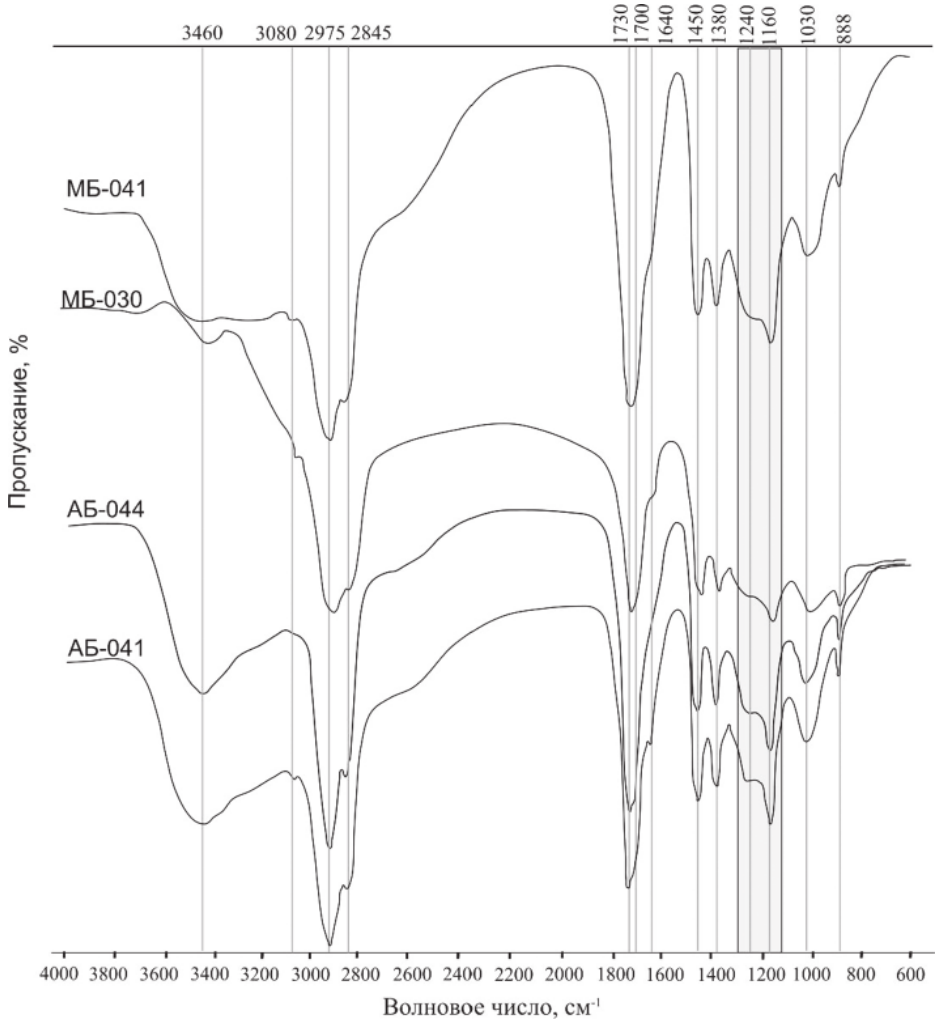


Рис. 3. ИК-спектры сукцинитов

Fig. 3. IR spectra of succinites

длинных алкильных заместителей. Образцы АБ-044 и АБ-041 имеют меньшую степень окисления, а именно содержание карбоксильных эфирных групп почти в два раза меньше МБ-044.

Дифференциальный термический анализ. Основу структуры сукцинита составляет полилабдановый скелет, образованный из смоляных карбоксильных кислот (коммунола, коммуновой и янтарной кислот) (Anderson et al., 1995). Наличие янтарной кислоты (3—8 %), которая вшита в структуру сукцинита в виде сложноэфирных связей, дополнительно укрепляет его полимерное строение, образуя густую сетку поперечных связей. Возможно, именно поэтому на кривой нагревания в основном представлены экзоэффекты (рис. 4).

Термические превращения изученных ископаемых смол выражаются довольно однообразной серией термических эффектов — эндотермического и нескольких экзотермических (см. табл. 4). При этом датский сукцинит несколько выделяется более узкими и интенсивными экзотермическими пиками № 1 и 2.

Для сукцинитов характерна серия из трех экзотермических событий. Первое — слабое и широкое, оно наблюдается при 20—270 °С и объясняется процессами испарения воды и летучих компонентов и низкомолекулярных соединений (Nissenbaum, Yaker, 1995; Feist et al., 2007). Известно, что при температуре выше 200—

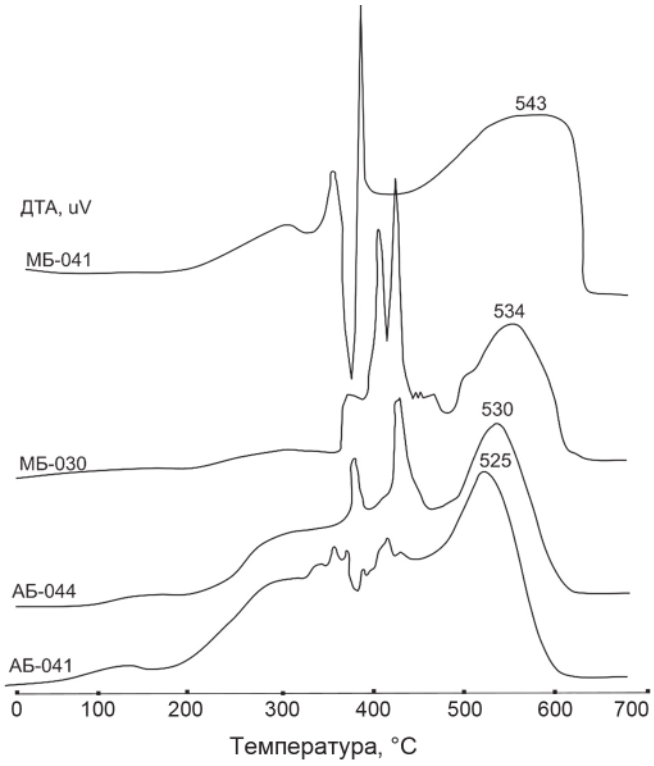


Рис. 4. Кривые нагревания сукцинитов

Fig. 4. Heating curves of succinites

Таблица 2. Характеристика полос поглощения различных функциональных групп
Table 2. Features of absorption bands for different functional groups

Частота, $см^{-1}$ Frequency, cm^{-1}	Характеристика полос поглощения Characteristics of absorption bands
3644—3200	Валентные колебания связанной OH в фенольных, спиртовых и карбоксильных группах Stretching vibrations of bound OH in phenol, alcohol, and carboxyl groups
3080	Валентные колебания и неплоские деформационные колебания =CH_ и $=CH_2$-групп при ненасыщенной C=C-связи Stretching vibrations and out-of-plane deformation vibrations of =CH_ and $=CH_2$-groups with unsaturated C=C bonds
2940—2960	Валентные симметричные колебания групп CH_3 Symmetrical stretching vibrations of CH_3 groups
2850 и 2930	Валентные симметричные колебания групп CH_2 Symmetrical stretching vibrations of CH_2 groups
1722—1736	Валентные колебания C=O в эфирах, >C=C-OOR Stretching vibrations of C=O in esters, >C=C-OOR
1700—1710	Валентные колебания C=O карбоновых кислот Stretching vibrations of C=O in carboxylic acids
1640—1645	Валентные колебания ненасыщенных связей C=C-типа $R_1HC=CHR_2$ в терпеноидах Stretching vibrations of unsaturated C=C bonds of the $R_1HC=CHR_2$ type in terpenoids
1452—1458	Антисимметричные деформационные колебания групп CH_3 Antisymmetric deformation vibrations of CH_3 groups
1377—1385	Симметричные деформационные колебания групп $–C–(CH_3)_2$ Symmetrical deformation vibrations of $–C–(CH_3)_2$ groups
1250—1230	Валентные колебания C–O карбоновых кислот Stretching vibrations of C–O of carboxylic acids
1160—1180	Валентные колебания C–O в сложных эфирах и деформационные колебания OH в карбоксильных кислотах Stretching vibrations of C–O in esters and deformation vibrations of OH in carboxylic acids
1010—1030	Перекрывающие полосы колебаний связей C–O в фенольных гидроксилах и S=O в сульфоксидных группах Overlapping bands of vibrations of C–O bonds in phenolic hydroxyls and S=O in sulfoxide groups
888	Внеплоскостные деформационные колебания C–H в экзоциклической ненасыщенной связи $>C=CH_2$ в терпеноидах Out-of-plane deformation vibrations of C–H in the exocyclic unsaturated bond $>C=CH_2$ in terpenoids

235 °C расплавленная янтарная кислота, отдавая воду, переходит в янтарный ангидрид, что выражается началом экзотермического подъема на кривой ДТА, который заканчивается при температуре 270 °C. Потеря массы за этот интервал составляет менее 3 %.

Второе — основное — наблюдается при 270–470 °C и отвечает за активное окисление ископаемых смол, декарбоксилирование жирных и смоляных кислот. При температуре > 400 °C они легко отщепляют воду и углекислый газ, превращаясь в углеводороды разной молекулярной массы (этот процесс идёт и при низких температурах). Смоляные кислоты очень легко окисляются, образуя стойкие нелетучие продукты (наряду с летучими). Потеря массы составляет от 40 до 60 %.

Выгорание стойких нелетучих продуктов преимущественно высокомолекулярных веществ, основными из которых являются конденсированные ароматические углеводороды, происходит на третьем — финальном — этапе при 460–600 °C. Наличие конденсированных ароматических соединений подтверждается экспериментально (Мартиросян, Богдасаров, 2014). При нагревании сукцинита в атмосфере кислорода до 450 °C на их ИК-спектрах появляется ряд полос, свойственных ароматическим структурам, а также полосы, характерные для конденсированных соединений с пятью и шестью конденсированными ядрами (пицен, фульминен). Потеря массы на этом этапе составляет до 30 %.

Заметим, что образец из Дании отличается от остальных изученных сукцинитов наличием в области 350—400 °C резкого эндотермического эффекта. Такое поведение говорит о том, что, возможно, в структуре образца из Дании присутствуют вещества с более низкой молекулярной массой (или наименее сшитые фрагменты); они плавятся при нагревании, поглощая энергию (эндоэффект). В других преобладает, вероятно, жесткая, сшитая полимерная сетка, которая не плавится, а сразу разлагается экзотермически.

Полученные данные позволяют предложить, что исследуемый образец сукцинита из Дании в течение длительного времени подвергался воздействию окислительной среды (находился на поверхности), что привело к его частичной деструкции. Длительное окисление привело к тому, что часть длинных полимерных цепей сукцинита разрушилась (деполимеризовалась) и образовались низкомолекулярные фрагменты, которые при нагревании плавятся. Последующий мощный экзотермический пик обусловлен реакцией окис-

ления (горения): терморазпада основной полимерной матрицы, активно взаимодействующей с кислородом воздуха.

Кроме того, датский образец может иметь более молодой геологический возраст, чем эоцен-олигоценовые сукциниты. Тем более что миоцен-олигоценовые смолы встречаются на территории Дании (Nørregaard, 1903; Madsen, 2012). За более короткое геологическое время его полимерная структура не успела достичь высокой степени поперечной сшивки, характерной для зрелых сукцинитов. В пользу этого предположения свидетельствуют параметры кривых нагревания (табл. 5).

Для датского образца наблюдается смещение главного экзотермического пика в область более низких температур (393 °C) по сравнению с образцами из Биттерфельда (425 °C), Пальмникена (434 °C) и Клесова (418 °C). Одновременно с этим температура полного сгорания датского образца, напротив, выше (543 °C), чем у более зрелых (530—534 °C). Подобная тенденция была замечена ранее для других образцов ископаемых смол (Мартиросян, Богдасаров, 2025, 2026).

Таким образом, совокупность данных ИК-спектроскопии и ДТА свидетельствует о том, что датский образец, сохраняя все диагностические признаки сукцинита (включая «балтийский зубец»), претер-

Таблица 3. Содержание химических групп в молекулярном составе сукцинитов

Table 3. Content of chemical groups in the molecular composition of succinites

Образец Sample	3400 OH	3080 C=C	Алифатические группы Aliphatic groups (CH_2/CH_3)	1730 C=O эфир esther	1700 C=O кислота acid	1640 C=C	1250 C–O эфир esther	1160 C–O кислота acid	1010 C-O	888 $=CH_2$
МБ-041	0.37	0.39	4.62	1.03	0.96	0.29	0.49	0.96	0.31	0.17
АБ-044	0.33	0.19	4.19	0.96	0.85	0.21	0.37	0.52	0.28	0.17
АБ-041	0.38	0.25	4.23	0.78	0.68	0.25	0.34	0.48	0.26	0.15
МБ-030	0.30	0.15	4.20	0.95	0.83	0.20	0.35	0.46	0.27	0.15

Примечание: *алифатические группы — сумма оптических плотностей полос при 2975, 2845, 1460, 1450, 1380 $см^{-1}$.

Note: *aliphatic groups — sum of optical densities of the bands at 2975, 2845, 1460, 1450, 1380 cm^{-1}.

Таблица 4. Температуры термических экстремумов на кривых нагревания сукцинитов, °C

Table 4. Temperatures of thermal extrema on DTA heating curves of succinites, °C

Максимумы термических эффектов Thermal effect maxima	Объекты / Objects				Характеристика эффектов* Effect characteristics*	Интерпретация авторов Authors' interpretation
	Дания Denmark	Пальмникен (Россия) Palmnicken (Russia)	Клесов (Украина) Klesov (Ukraine)	Биттерфильд (Германия) Bitterfield (Germany)		
Эндотермический Endothermic	170—175	170—200	170—200	171	Дегидратация органического вещества Dehydration of organic matter	Первое экзотермическое событие First exothermic event
Экзотермический широкий Wide exothermic	300	300	295	295	Пик 1 —выгорание термически нестойкого органического вещества (липидного) Peak 1 — burnout of thermally unstable organic matter (lipid)	Второе экзотермическое событие — выгорание относительно нестойких органических веществ Second exothermic event — burnout of relatively unstable organic matter
Экзотермический узкий № 1 Narrow exothermic No. 1	365	376	370	360—385 (двойной) (double)		
Экзотермический узкий № 2 Narrow exothermic No. 2	400	421 и 436 (двойной) (double)	473	415	Пик 2 — выгорание термически относительно стойкого органического вещества (белкового) Peak 2 — thermal burnout of relatively stable organic matter (Protein)	
Экзотермический широкий (финальный) Wide exothermic (final)	513	534	530	525		Третье экзотермическое событие — выгорание стойких органических веществ Third exothermic event — burnout of stable organic matter

Примечание: *опыт термических исследований ископаемого органического вещества.

Note: *experience with thermal studies of fossil organic matter.

Таблица 5. Основные характеристики кривых нагревания сукцинитов
Table 5. Main characteristics of DTA curves of succinites

Образец Sample	Возраст Age	Главный пик, °С Main Peak, °С	Температура полного сгорания, °С Complete combustion temperature, °С
МБ-041	?	393	543
МБ-030	Олигоцен-миоцен / Oligocene-Miocene	425	534
АБ-044	Эоцен-олигоцен / Eocene-Oligocene	434	530
АБ-041		418	525

пел меньшую степень постдиагенетической трансформации по сравнению с другими образцами сукцинитов, что может быть связано с его более молодым возрастом и/или специфическими условиями захоронения.

Заключение

Комплексное исследование датского образца ископаемой смолы методами ИК-спектроскопии и дифференциального термического анализа позволило подтвердить его принадлежность к сукцинитам и одновременно выявить отличия от балтийских аналогов.

Установлено, что, несмотря на идентичный молекулярный состав, характерный для сукцинитов (включая диагностический «балтийский зубец» в области 1250—1160 $см^{-1}$ и набор алифатических, карбоксильных и сложноэфирных групп), датский образец демонстрирует другое термическое поведение. В отличие от типичных сукцинитов, разлагающихся исключительно экзотермически, без стадии плавления, на его ДТА-кривой зафиксирован эндотермический эффект в интервале 350—400 °С. Это свидетельствует о наличии в структуре низкомолекулярных или слабосшитых фрагментов, способных к плавлению.

Повышенная степень окисленности образца, установленная по данным ИК-спектроскопии, указывает на длительное воздействие окислительной среды, что привело к деструкции полимерных цепей и накоплению низкомолекулярных продуктов. Сопоставление температурных параметров ДТА (смещение главного пика в низкотемпературную область и более высокая температура полного сгорания) позволяет предположить, что датский сукцинит претерпел меньшую степень постдиагенетической трансформации, что может быть обусловлено его более молодым возрастом по сравнению с изученными в данной работе эоцен-олигоценовыми сукцинитами.

Полученные результаты существенно расширяют представления о внутривидовой изменчивости сукцинитов и демонстрируют, что даже в пределах одной группы ископаемых смол термические и спектральные характеристики могут сильно варьировать в зависимости от возраста и условий захоронения. Планируется дальнейшее изучение данного образца другими физико-химическими методами.

Работа выполнена в рамках темы НИР Геологического института РАН (FMMG-2023-0009), экспериментальная часть работы — в рамках темы НИР Института геологии им. Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН ГР № 122040 600009-2. Дифференциальный термический анализ порошковых материалов проводили в ЦКП Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Литература / References

Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. М.: Мир, 1971. 318 с.
Bellamy L. New Data on IR Spectra of Complex Molecules. Moscow: Mir; 1971. 318 p. Russian.

Мартиросян О. В. Мел-палеогеновые ископаемые смолы арктической части Дании (о. Гренландия) // Вестник геонаук. 2024. № 5(353). С. 29—35. DOI: 10.19110/geov.2024.5.3
Martirosyan O. V. Cretaceous–Paleogene fossil resins from the Arctic part of Denmark (Greenland). Vestnik of Geosciences. 2024;5(353):29—35. Russian.

Мартиросян О. В., Богдасаров М. А. Ископаемые смолы: диагностика, классификация и структурные преобразования в условиях термального воздействия // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 4. С. 10–15.
Martirosyan O.V., Bogdasarov M.A. Fossil resins: diagnostics, classification and structural transformations under thermal impact. Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. 2014;(4):10—15. Russian.

Мартиросян О. В., *Богдасаров М. А.* Молекулярный состав и термические свойства ископаемых смол Карско-Хатангской смоленосной субпровинции // Записки РМО. 2025. Ч. 154. № 5. С. 96—118. DOI:10.7868/S2658435225050063
Martirosyan O. V., Bogdasarov M. A. Molecular composition and thermal properties of fossil resins from the Kara-Khatanga resin-bearing subprovince. Proceedings of the Russian Mineralogical Society. 2025;154(5):96—118. Russian.

Мартиросян О.В., Богдасаров М.А. Ископаемые смолы из меловых отложений полуострова Таймыр: молекулярный состав и термические свойства // Литология и полезные ископаемые. 2026. № 1. С. 57—73. DOI: 10.7868/S3034537526010048
Martirosyan O. V., Bogdasarov M. A. Fossil resins from the Cretaceous deposits of the Taimyr Peninsula: molecular composition and thermal properties. Lithology and Mineral Resources. 2026;(1):57—73. DOI: 10.1134/S002449022570035X

Савкевич С. С., Шакс И. А. Инфракрасные спектры поглощения балтийского янтаря (сукцинита): Ч. 1—3 // Журнал прикладной химии. 1964: Ч. 1. № 4. С. 930—931.; Ч. 2. № 5. С. 1120-1122.; Ч. 3. № 12. С. 1515-1520.
Savkevich S. S., Shaks I. A. Infrared absorption spectra of Baltic amber (succinite): Parts 1—3. Journal of Applied Chemistry. 1964;1(4):930—931; 2(5):1120—1122; 3(12):1515—1520. Russian.

Фракей Э. Янтарь. М.: Мир, 1990. 198 с.
Frakey E. Amber. Moscow: Mir, 1990. 198 p.

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 resinites. Organic Geochemistry. 1992;18:829—841. DOI: 10.1016/0146-6380(92)90051-X

Beck C. W., Wilbur E., Meret S., Kossove D., Kermani K. The infrared spectra of amber and the identification of Baltic amber. Archaeometry. 1965;8:96—109.

Bech J.H., Kristiansen K., Eriksen B.V. Bronze Age settlement and land-use in Thy, Northwest Denmark. Højbjerg: Jutland Archaeological Society; 2018. 278 p.

Bortolotti G. Northern gold: trade and spread of amber in antiquity. Universo. 1993.73(4):442—458.

Drohojowska J., Śladowska J., Szwedo J. First whiteflies from the Eocene amber of Denmark. Acta Palaeontologica Polonica. 2024;69(4):649—676. DOI: 10.4202/app.01173.2024

Heie O. E. Studies on fossil aphids (Homoptera: Aphidoidea). Spolia Zoologica Musei Hauniensis. 1967;26:1—274.

Heie O. E. Some new fossil aphids from Baltic amber in the Copenhagen collection (Insecta, Homoptera: Aphididae). Steenstrupia. 1972;2:247—262.

Heie O. E., Wegierek P. A list of fossil aphids (Hemiptera, Sternorrhyncha, Aphidomorpha). Monographs of the Upper Silesian Museum. 2011;6:1—82.

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;14(2):73—117.

Krause K. Die Bernsteininsel Fanø. Fossilien. 2007;(5):304—308.

Langenheim J. H. Amber: a botanical inquiry. Science. 1969;163:1157—1169. DOI: 10.1126/science.163.3872.1157

Larsson S. G. The Copenhagen collection of amber-fossils. Entomologiske Meddelelser. 1962;31:323—326.

Larsson S. G. Baltic Amber: A Paleobiological Study (Entomograph). Vol. 1. Klampenborg: Scandinavian Science Press Ltd.; 1978. 192 p.

Madsen H. Fund fra Oligocæn og miocæn i Thy, Salling og på Mors. https://www.vestjyskstenklub.dk/galleri/Alt%202012/OLIGOCAEN/Andet/Rav%20teksten.html

Nadein K. S., Perkovsky E. E., Moseyko A. G., Labandeira C. C. New late Eocene Chrysomelidae (Insecta: Coleoptera) from Baltic, Rovno and Danish ambers. Papers in Palaeontology. 2016;2:117—137. DOI: 10.1002/spp2.1034

Natkaniec-Nowak L., Drzewicz P., Stach P. The overview of analytical methods for studying of fossil natural resins. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2023;21:1—23. DOI: 10.1080/10408347.2023.2200855

Nissenbaum A., Yaker D. Stable isotope composition of amber. In: Amber, Resinite, and Fossil Resins. Washington: ACS; 1995. p. 32—42.

Nørregaard E. M. Rav og Retinit fra danske Tertiæraflejringer. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening. 1903;(9):67—69.

Pagacz J., Naglik B., Stach P., Drzewicz P., Natkaniec-Nowak L. Maturation process of natural resins recorded in their thermal properties. Journal of Materials Science. 2020;55(10):4504—4523. DOI: 10.1007/s10853-019-04302-0

Pedersen G. K., Pedersen S.A.S. Geology of the early Eocene Fur Formation, a unique deposit in the North Sea Basin. Excursion guide to geological key localities on Mors and Fur, northern Denmark. Prepared for Wintershall Norge AS. GEUS. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport. 2013;47:1—55. https://doi.org/10.22008/gpub/29566

Perkovsky E. E. Tropical and Holarctic ants in late Eocene ambers. Vestnik Zoologii. 2016;50:111—122. DOI: 10.1515/vzoo-2016-0014

Perkovsky E. E. Comparison of biting midges of the early Eocene Cambay amber (India) and late Eocene European ambers supports the independent origin of European ambers. Vestnik Zoologii. 2017;51:275—284. DOI: 10.1515/vzoo-2017-0033

Ravn J. P. J. Nogle Bemærkninger om danske tertieraflejringers alder? Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening. 1897;1(4):1—16.

Rice P. C. Amber: the golden gem of the ages. 3rd ed. Geoscience Press; 1999. 289 p.

Sarauw G.F.L. Cromer-skovlaget i Frihavnen og trælevningerne i de ravførende sandlag ved København. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening. 1897;1(4):17—44.

Simonsen S. Bernsteinsuche auf der Insel Fanø. Arbeitskreis Paläontologie Hannover. 2008;36:122—128.

Simutnik S. A., Perkovsky E. E., Vasilenko D. V. Efesus trufanovi Simutnik gen. et sp.n. (Hymenoptera: Chalcidoidea: Encyrtidae) from late Eocene Danish amber. Russian Entomological Journal. 2020;29(3):298—302. DOI: 10.15298/rusentj.29.3.10

Szwedo J., Sontag E. The traps of the «amber trap». Amber-trapped insects trap scientists with enigmas. In: Berning B., Podenas S., eds. Amber: Archive of the Deep Time. Denisia. 2009;26:155—169.

Tshernyshev S. E., Alekseev V., Bukejs A., Vasilenko D. V., Legalov A. A., Perkovsky E. E. First record of the family Melyridae (Coleoptera: Cleroidea) in late Eocene European ambers with description of a new tribe, a new genus and seven new species. Zootaxa. 2025;5696(4):542—566. DOI: 10.11646/zootaxa.5696.4.5

Поступила в редакцию / Received 29.07.2026