

Окаменелое дерево с острова Сахалин: НОВЫЙ ВИД ювелирно-поделочного материала

Д. А. Петроченков¹, Е. Ю. Барабошкин²

¹Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия)

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (Москва, Россия)

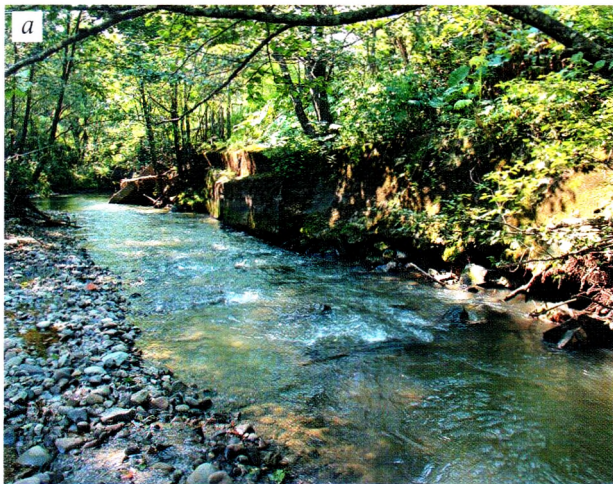
Окаменелое дерево относится к группе флорогенных ювелирно-поделочных материалов и широко используется для изготовления разнообразных видов изделий. В статье впервые приведены результаты детального геммологического, минерального и геохимического изучения образцов окаменелого дерева ювелирно-поделочного качества с о. Сахалин из сантонских и кампанских отложений верхнего мела. По минеральному составу, декоративным и технологическим характеристикам выделяется два типа образцов. В первом типе исходный органический состав древесины практически полностью замещен кварцем и в меньшем количестве кальцитом с включениями пирита, доломита, микроклина и каолинита. Во втором типе существенно возрастает роль кальцита и снижается содержание кварца. Фрагменты окаменелого дерева имеют большие размеры, положительные декоративные, технологические, экологические характеристики. Оно может собираться в руслах рек с другими видами ювелирно-поделочных материалов без значительных материальных затрат и без нарушения сохранности окружающей среды.

Ключевые слова: окаменелое дерево, ювелирно-поделочные камни, верхнемеловые отложения, кальцит, кварц, о. Сахалин.

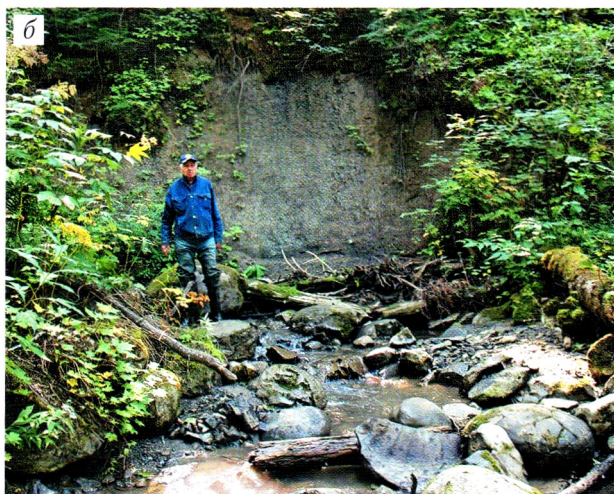
Окаменелое дерево относится к группе флорогенных ювелирно-поделочных материалов [1]. В процессе минерального замещения сохраняется текстура древесины и часть деталей ее строения. Это придает окаменелому дереву, как поделочному камню, высокую декоративность, а в сочетании с хорошей полируемостью ставит его в ряд популярных видов ювелирно-поделочного сырья. Всемирной известностью пользуется национальный парк «Окаменелый лес» в штате Аризона (США), в котором стволы араукариевых сосен возрастом 200 млн лет и высотой более 3 м замещены халцедоном и опалом [1]. В России также известны многочисленные объекты окаменелого дерева ювелирно-поделочного качества (Ульяновская, Камчатская, Кировская и Новгородская области, Пермский, Красноярский и Приморский край и др.). Встречается окаменелое дерево и на о. Сахалин [1, 2]. Здесь оно связано с отложениями мелового периода.

До конца мезозойского времени территория современного Сахалина представляла собой морской бассейн на краю Тихого океана. Начиная с ме-

лового периода отдельные участки поднимались выше уровня моря, на что указывают многочисленные находки меловой флоры. В конце мелового периода на месте центральной части Сахалина существовали два морских прогиба, которые различались по характеру осадконакопления. В Восточном прогибе происходили «аккреция» (тектоническое соскабливание осадков с земной коры, погружавшейся под Сахалин) и вулканическая деятельность. В Западном — накапливалась мощная толща песчано-глинистых отложений. Глубоководные океанические условия осадконакопления сменялись более мелководными морскими, а затем и прибрежно-морскими. Активное накопление морских отложений с остатками морских животных проходило во второй половине мелового периода. Позднемеловые морские отложения богаты ископаемыми раковинами моллюсков, в том числе гигантских головоногих моллюсков — аммонитов, двустворчатых моллюсков — иноцерамов и брюхоногих моллюсков — гастропод. Практически повсеместно с ними встречается и окаменелое дерево [3]. При размыве всех этих отложений ракви-



Дмитрий Александрович Петроченков, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой минералогии и геммологии Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе. Многократный победитель и призер международных соревнований по огранке цветных камней. Эксперт чемпионатов профессионального мастерства World Skills Russia по компетенции «Огранка ювелирных вставок». Область научных интересов — геммология, минералогия, огранка минералов. Постоянный автор «Природы». e-mail: p-d-a@mail.ru



Евгений Юрьевич Барабошкин, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры региональной геологии и истории Земли геологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Лауреат премии имени И. И. Шувалова. Председатель Меловой комиссии Межведомственного стратиграфического комитета. Область научных интересов — палеонтология, седиментология, палеогеография мезозоя. e-mail: EJBaraboshkin@mail.ru

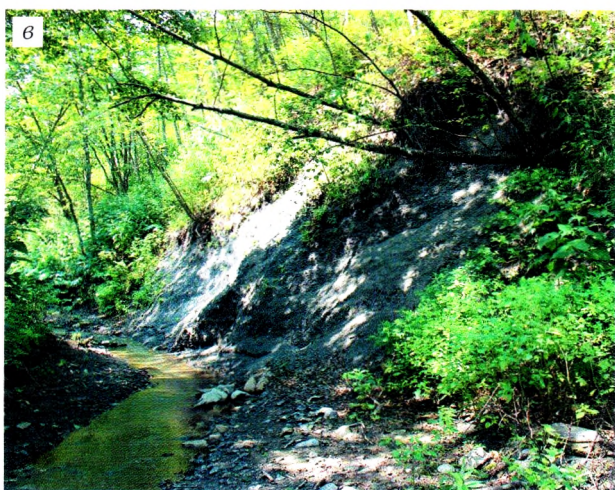


Рис. 1. Места сбора окаменелого дерева на о. Сахалин. Окрестности поселка Синегорск: р. Сусуя (а) и ее левый приток (б) с выходами верхнемеловых отложений, с конкрециями, содержащими раковины аммонитов, септариями и окаменелым деревом; русло ручья Найденова в окрестности поселка Быков (в).

Здесь и далее фото авторов

ны фоссилий, обычно заключенные в конкрециях, и фрагменты окаменелого дерева концентрируются в руслах рек.

Среди ископаемых в качестве декоративных и коллекционных образцов в небольших количествах собираются только раковины аммонитов. Цель проведенных нами исследований — изучение окаменелого дерева в качестве ювелирно-поделочного материала. Мы собрали фрагменты окаменелого дерева размером от 5 до 20 см в руслах р. Сусуи и ее левого притока в окрестностях поселка Синегорск (образцы СД-1), ручья Найденова (правого притока р. Найбы) в окрестностях поселка Быков (образцы СД-2) из сантонских и кампанских отложений верхнего мела (рис. 1, 2).

Комплекс исследований окаменелого дерева был проведен в лабораториях Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Всесоюзного института минерального сырья (ВИМС) и Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН). Он включал определение микротвердости, плотности, люминесценции, оптико-петрографический

анализ, определение минерального и химического состава, электронно-зондовые исследования.

Количественное определение химического состава окаменелого дерева выполнялось методом рентгеновского флуоресцентного анализа на вакуумном спектрометре последовательного действия «Axios MAX Advanced». Оптико-петрографический и минералогический анализ проводились с использованием микроскопа «Полам Р-112» и «Leica DMRX». Микротвердость определялась на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и выдержкой 15 с. Плотность образцов измеряли гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G 150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с длиной волны (λ) 254 и 365 нм. Минеральный состав определялся количественным рентгенофазовым анализом на дифрактометре «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондовые исследования проводились на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получать химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа и выполнять анализ образцов в обратнорассеянных электронах и в характеристическом рентгеновском излучении. Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Определение радиационных характеристик окаменелого дерева проведено в лаборатории изотопных методов анализа ВИМС.

Геммологические характеристики окаменелого дерева

Окаменелое дерево представляет собой плотную породу, которая раскалывается с раковистым неровным изломом поперек исходной текстуры дерева и с относительно ровной поверхностью вдоль нее.

По декоративным и технологическим характеристикам были выделены два типа окаменелого дерева. Первый тип (СД-1) — образцы черного цвета с прожилками белого и светло-серого цвета (рис. 3, а). Второй тип — образцы черного и темно-серого цвета с включениями светло-серого мергеля. Последний выполняет сверления корабельных червей — ископаемых представителей двустворчатых моллюсков, питающихся древесиной, родственников современных *Teredo*. Эти сверления формируют большое количество концентрических трубок шириной 1–8 мм светло-серого цвета (рис. 3, б, в).

Первый минеральный тип (I) окаменелого дерева. Для таких образцов характерен достаточно ровный черный цвет, на фоне которого отчетливо проявлены светлые прожилки, часто прерывистые, шириной от 0.2 до 5 мм. Они выполнены тонкозернистым кварцем и кальцитом. Кварц бесцветный



Рис. 2. Фрагмент окаменелого дерева.

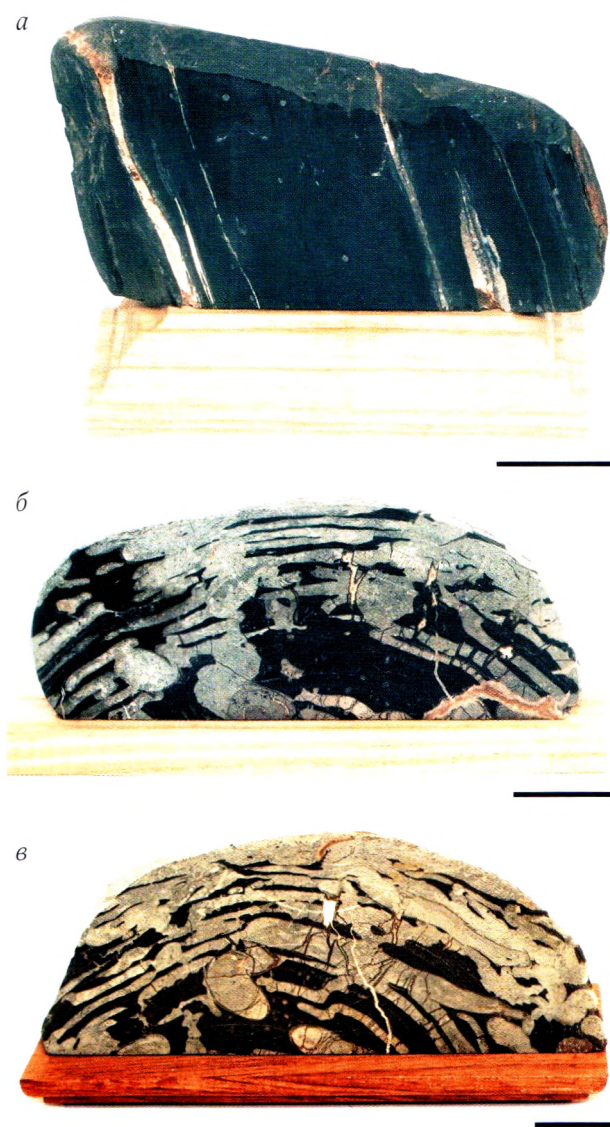


Рис. 3. Полированные спилы окаменелого дерева: а — из бассейна р. Сусуи, б–в — из русла ручья Найденова. Длина масштабной линейки 2 см. Коллекция Д. А. Петровича.

просвечивающий, кальцит прозрачный белого цвета. Текстура древесины проявлена не отчетливо (см. рис. 3, а), текстура окаменелого дерева — полосчатая при распиле вдоль ствола и полосчато-кольцевая поперек него.

Исходный органический состав древесины в образцах первого типа полностью замещен кварцем

Таблица 1
Минеральный состав окаменелого дерева
по данным рентгеновского количественного фазового анализа

№ образца	Минеральный состав	Содержание, масс. %
СД-1	кварц	84.1
	кальцит	14.9
	пирит	0.4
	микроклин	0.3
	доломит	0.2
	каолинит	0.1
СД-2	кальцит	79.7
	кварц	8.2
	альбит	3.5
	апатит	2.8
	иллит	2.5
	пирит	1.2
	каолинит	1.1
	доломит	0.6
	сфалерит	0.4

и кальцитом с включениями пирита и доломита (табл. 1). Незначительное количество микроклина и каолинита связано с терригенной породой, выполняющей трещинки и поры. Высокие (76.07 масс. %) содержания SiO_2 , по данным рентгеновского флуоресцентного анализа, подтверждают преимущественно кварцевый состав окаменелого дерева. Сумма CaO и потерь при прокаливании (20.42 масс. %) указывает на значительное количество кальцита, Fe и S — на присутствие пирита. Mg, Mn, Fe могут входить в структуру кальцита и доломита. Na, Al и K связаны с алюмосиликатами. Отметим повышенные (0.09 масс. %) содержания P_2O_5 , говорящие о присутствии апатита (см. табл. 1). Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Ba, Sr, V, Zn, As (табл. 2).

Плотность окаменелого дерева составляет 2.23–2.28 г/см³. Микротвердость колеблется в широком диапазоне и определяется минеральным составом. Прожилки и фрагменты, выполненные кальцитом, обладают микротвердостью 125–170 кг/мм², кварцем — 950–1119 кг/мм², пиритом — 1070–1214 кг/мм². Люминесценция в желтовато-белесых тонах слабо проявлена в прожилках кальцита. Окаменелое дерево достаточно хорошо полируется до стекляннo-го блеска. Но значительное различие в твердости минералов осложняет получение ровной поверхности, нередко в прожилках наблюдаются мелкие каверны, связанные с выкрашиванием включений пирита и с продуктами его окисления.

Второй минеральный тип (II) окаменелого дерева характеризуется большим разнообразием цветовых оттенков и рисунков прожилков. Основная часть дерева серого и темно-серого цвета, выполнена преимущественно кальцитом. Исходная текстура древесины не проявлена. Присутствуют неболь-

Таблица 2
Химический состав окаменелого дерева по данным рентгеновского флуоресцентного анализа

№ образца	Основные компоненты, масс. %														
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe _{общ}	P ₂ O ₅	S _{общ}	ппп ¹			
СД-1	0.12	0.18	0.35	76.07	0.07	11.68	0.02	0.16	0.73	0.09	0.41	8.74			
СД-2	0.20	0.51	2.80	12.29	0.49	43.24	0.17	1.26	2.17	1.69	0.66	34.22			
	Элементы-примеси, мг/кг (× 10 ⁻⁴ масс. %)														
	Cr	V	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	Zr	Y	La	U	Th	Pb	As
СД-1	<10	11	<10	<10	15	<10	82	90	14	<5	<10	<5	<5	<10	34
СД-2	17	17	30	14	34	24	333	179	25	31	21	<5	<5	<10	40

¹Потери при прокаливании.



Рис. 4. Кабошоны и кулон из окаменелого дерева. Длина масштабной линейки 1 см. Коллекция Д. А. Петроченкова.

шие фрагменты черного цвета, которые в основном выполнены кварцем, как и в первом типе. В таких фрагментах исходная текстура древесины не отчетливо просматривается. Мергель, выполняющий трещины и сверления в окаменелом дереве, — тонкозернистый. В нем в небольшом количестве присутствуют мелкие включения пирита. В отдельных фрагментах (размером до 5 мм) их концентрация возрастает. Такие фрагменты выделяются на полированной поверхности сильным металлическим блеском. В целом, включения пирита на декоративность окаменелого дерева не влияют. В образцах присутствует большое количество тонких (менее 1 мм) разноориентированных кальцитовых прожилков белого и коричневого цвета. Они пересекают более широкие сверления моллюсков. На их пересечении иногда образуются белые выделения кальцита размером 2–5 мм. Текстура окаменелого дерева полосчатая, полосчато-кольцевая, фрагментами миндалевидная, пятнистая (см. рис. 3, б, в).

По минеральному составу этот тип образцов существенно отличается от первого типа (см. табл. 1). В нем возрастает роль кальцита (79,7 масс. %) и снижается содержание кварца, в заметных количествах присутствуют апатит, пирит, появляется сфалерит. Отметим повышенные содержания TiO_2 (0,17 масс. %), свидетельствующие о присутствии минералов титана, которые характерны для прибрежно-морских отложений. Значительно возросли содержания Mg, Mn и Fe, что, скорее всего, говорит об их вхождении в структуру кальцита (см. табл. 2). В образцах этого типа возросло разнообразие и содержание элементов-примесей (см. табл. 2), что связано с существенно более высоким содержанием алюмосиликатов (в составе мергеля), пирита, апатита и сфалерита (см. табл. 1).

Плотность окаменелого дерева второго типа — $2,57\text{--}2,69\text{ г/см}^3$. Микротвердость также колеблется в широком диапазоне. Фрагменты дерева, выполненные кальцитом, имеют значения $107\text{--}130\text{ кг/мм}^2$, кварцем — $394\text{--}900\text{ кг/мм}^2$, пиритом — 600 кг/мм^2 .

Кальцитовые прожилки обладают микротвердостью 171 кг/мм^2 , а мергель — $92\text{--}128\text{ кг/мм}^2$.

Люминесценция в светло-желтых тонах в тонких кальцитовых прожилках белого цвета проявлена не отчетливо. Образцы этого типа окаменелого дерева полируются хуже, что обусловлено составом минералов, которые сильно различаются по твердости. Труднее всего достигается высокое качество полировки мергеля. В нем присутствуют твердые (кварц, пирит, альбит) и мягкие (кальцит, иллит, каолинит) минералы. Тем не менее, при правильно выбранной технологии обработки можно получить зеркальную ровную поверхность.

Окаменелое дерево обоих типов может широко использоваться при изготовлении разнообразных видов ювелирных украшений (рис. 4), а большие (до 30 см) фрагменты с малым количеством трещин и пор позволяют изготавливать и крупные декоративные изделия.

Оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования

Из образцов окаменелого дерева обоих типов были изготовлены и изучены прозрачные шлифы и аншлифы (рис. 5).

Окаменелое дерево кварцевого (I) минерального типа (см. рис. 5, а) под оптическим микроскопом при параллельных николях (неполяризованный свет) светло-серого, серого, коричневатого-серого цвета с пятнистым распределением оттенков. Для кварца при скрещенных (поляризованный свет) николях характерны белая и серая интерференционная окраски первого порядка и изотропность для срезов, перпендикулярных оптической оси (рис. 6). Кальцит при скрещенных николях хорошо выделяется высокой интерференционной окраской, а при параллельных — резким рельефом, шагреновой поверхностью и псевдоабсорбцией (см. рис. 6, а).

Исходная структура древесины отчетливо проявляется в поляризованном свете во фрагментах,

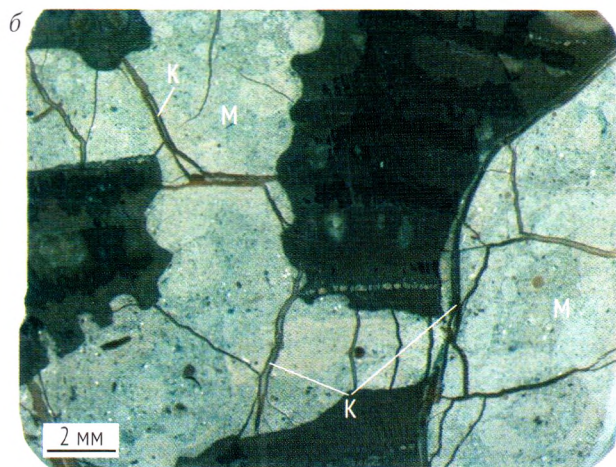
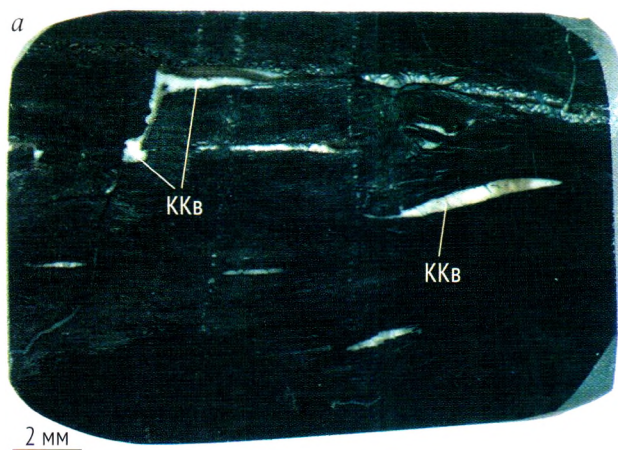


Рис. 5. Аншлифы окаменелого дерева: *а* – продольный спил кварцевого минерального типа (I) с прожилками кальцит-кварцевого (ККВ) состава; *б* – поперечный спил кальцитового минерального типа (II) с кальцитовыми прожилками (К) и сверлениями моллюсков, выполненными мергелем (М).

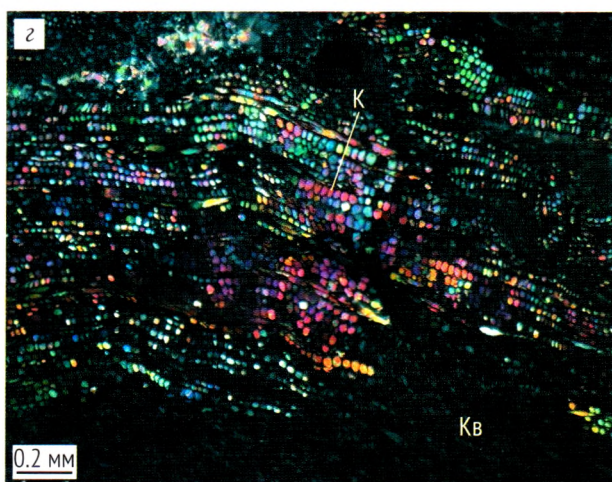
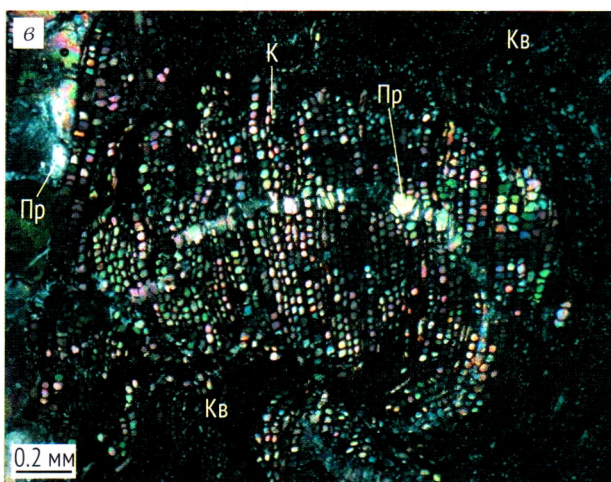
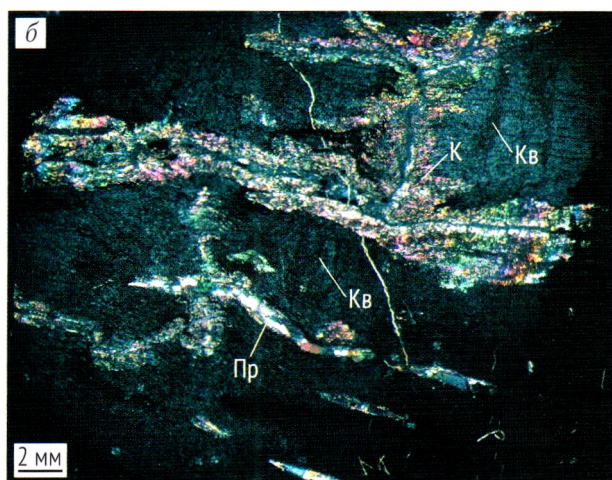
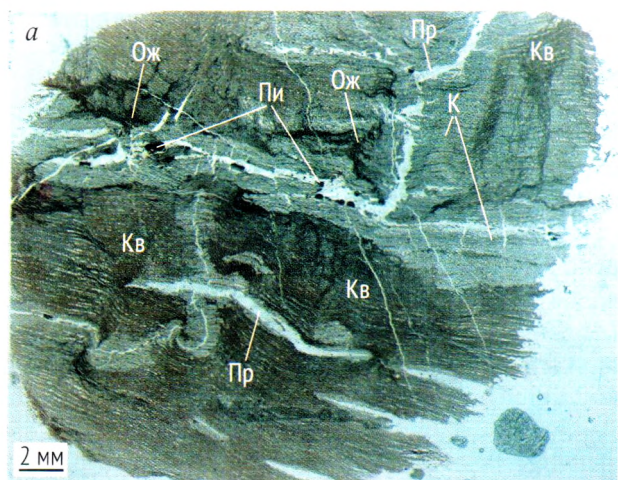


Рис. 6. Прозрачный шлиф продольного спила окаменелого дерева (*а, б*) с фрагментами детализации (*в, г*), включающими участки, выполненные преимущественно кальцитом (К) и кварцем (Кв); прожилки, выполненные кальцитом и кварцем (Пр) и зоны ожелезнения (Ож); *а* – николи параллельны, *б–г* – скрещены.

выполненных преимущественно кальцитом (см. рис. 6, б–г). Кальцит здесь замещает органическое вещество растительных клеток с образованием изометричных, близкой ориентировки кристаллов размером около 0.03 мм. Кристаллы располагаются длинными параллельными цепочками, создавая сотовую структуру. Кварц замещает кальцит, образуя на начальной стадии кайму вокруг его кристаллов, а затем и выполняя значительные по размеру фрагменты окаменелого дерева. Размер кристаллов кварца менее 0.03 мм.

Более темные, коричневатые оттенки характерны для фрагментов, выполненных преимущественно кварцем. Светлые же фрагменты, с более крупными кристаллами, образованы преимущественно кальцитом.

В образцах присутствуют разноориентированные прерывистые, зигзагообразные, с неровным контуром прожилки белого и светло-серого цвета шириной до 0.5 мм. Встречаются и тонкие (менее 0.1 мм) нитевидные прожилки, пересекающие относительно широкие, что указывает на их более позднее образование (см. рис. 5, а; 6, а).

Прожилки выполнены кальцитом и кварцем. Кристаллы кальцита в относительно широких прожилках изометричной формы, размером менее 0.4 мм. Кристаллы кварца выражены нечетливо, располагаются по контурам кристаллов кальцита и образуют мономинеральные выделения. Широкие прожилки обрамляются зонами окаменелой древесины, замещенной преимущественно кальцитом. Ширина таких зон до 2 мм (см. рис. 6, а, б). В прожилках фиксируются редкие включения пи-

рита размером до 0.4 мм округлой и удлиненной призматической формы (см. рис. 6, а). Пирит окисляется с образованием по микротрещинкам зон темно-коричневого, бурого цвета (см. рис. 6, а).

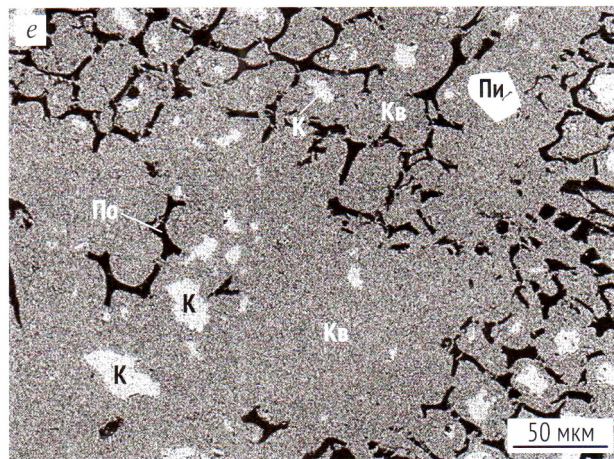
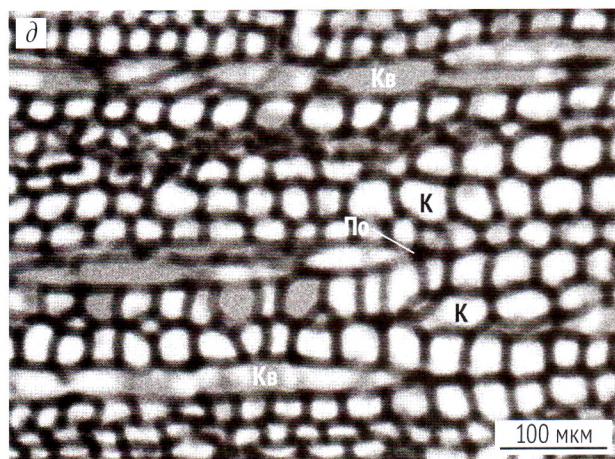
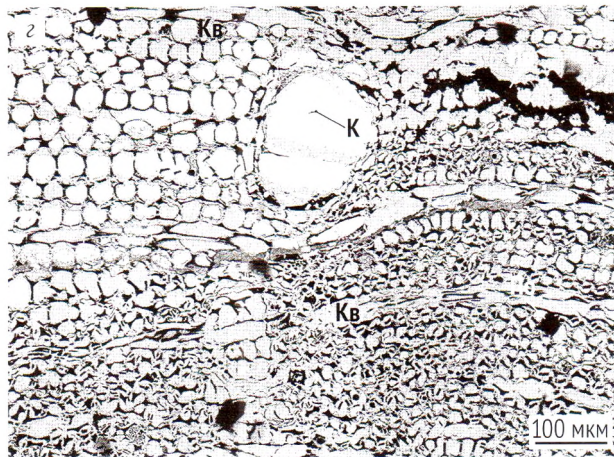
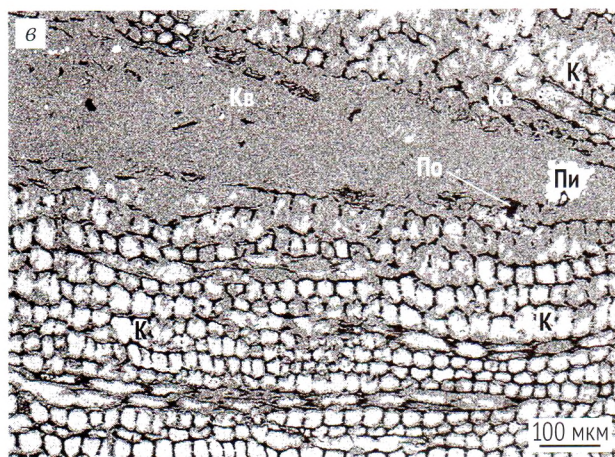
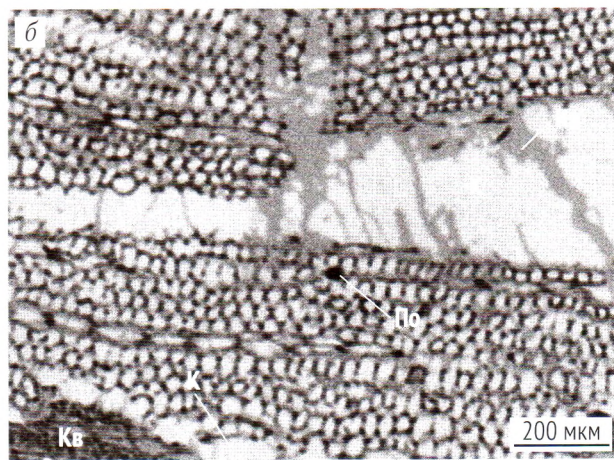
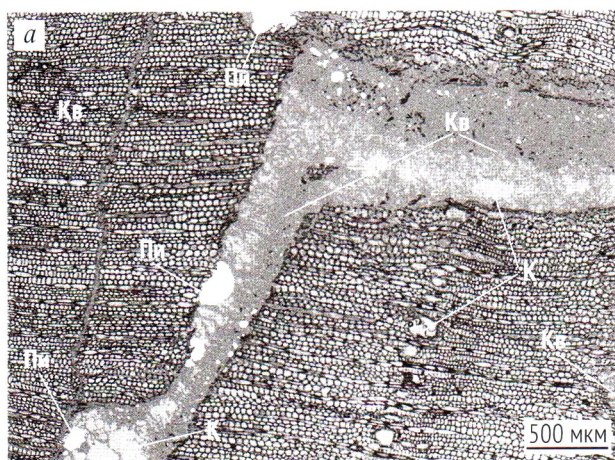
При микрозондовом изучении в обратнорассеянных электронах отчетливо проявляется структура древесины и разнообразный минеральный состав образца (рис. 7, а–е). В характеристическом рентгеновском излучении фиксируются участки с высоким содержанием Са, говорящие о присутствии кальцита; участки с Si, связанные с кварцем, и точечные высокие содержания S, указывающие на включения пирита (рис. 7, ж). Кальцит замещает органическое вещество растительных клеток дерева, образуя изометричные включения в виде ячеек размером 20–40 мкм (см. рис. 7, а–д) и более крупные структурные элементы размером 160 мкм (рис. 7, з), а также заполняет образовавшиеся в древесине трещинки шириной 30–350 мкм (см. рис. 7, в, з). Выделения кальцита, выполняющие растительные клетки, расположены последовательно в виде параллельных цепочек, образуя структуру окаменелого дерева. В отдельных фрагментах соседние включения сливаются, приобретая вытянутые формы (см. рис. 7, б, в, д).

По данным рентгеноспектрального микроанализа, химический состав кальцита, выполняющего прожилки и клетки древесины, различается по содержанию элементов-примесей (табл. 3). В прожилках наблюдаются относительно высокие содержания Fe, а в древесине — повышенные содержания Mn и Fe. Во всех спектрах фиксируется кремний, что указывает на тесное срастание кальцита с кварцем.

Таблица 3
Химический состав кальцита в окаменелом дереве по данным рентгеноспектрального микроанализа

Тип образцов	Положение кальцита	Содержание элемента, масс. %					
		Mg	Mn	Fe	Ca	O	C
I кварцевый	прожилки (6)	$\frac{0.00-0.14}{0.06}$	0.00	$\frac{1.04-1.82}{1.44}$	$\frac{37.85-39.96}{38.35}$	$\frac{45.25-47.44}{46.29}$	$\frac{10.07-11.62}{10.81}$
	древесина (6)	$\frac{0.00-0.13}{0.04}$	$\frac{0.53-1.18}{0.79}$	$\frac{0.44-1.80}{1.08}$	$\frac{37.84-39.39}{38.59}$	$\frac{45.64-46.53}{45.97}$	$\frac{10.25-11.20}{10.70}$
II кальцитовый	прожилки (4)	$\frac{0.00-0.22}{0.09}$	$\frac{0.35-1.26}{0.79}$	$\frac{0.00-0.49}{0.22}$	$\frac{38.18-39.68}{39.12}$	$\frac{45.20-47.06}{45.97}$	$\frac{10.29-11.09}{10.71}$
	древесина (11)	$\frac{0.00-0.23}{0.10}$	$\frac{0.97-1.60}{1.23}$	$\frac{0.22-1.36}{0.65}$	$\frac{37.09-39.65}{38.29}$	$\frac{44.88-47.71}{45.61}$	$\frac{10.48-11.91}{11.12}$
	мергель (5)	$\frac{0.00-0.20}{0.04}$	$\frac{0.85-1.39}{1.13}$	$\frac{0.00-0.83}{0.36}$	$\frac{35.93-39.99}{38.95}$	$\frac{44.72-46.57}{45.68}$	$\frac{10.78-11.83}{11.32}$

Примечание: в скобках указано число спектров; над чертой приведены крайние значения, под чертой — средние.



ЖС

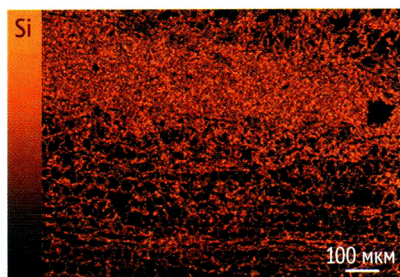
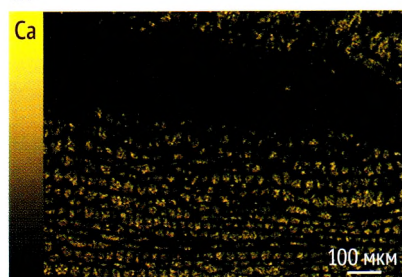


Рис. 7. Фрагменты окаменелого дерева (показанного на рис. 5, а), содержащие участки, которые выполнены преимущественно кальцитом (К) и кварцем (Кв) с включениями пирита (Пи), По — поры. Микрофотографии в обратнорассеянных электронах (а–е) и распределение элементов в характеристическом рентгеновском излучении (ж). Аналитик Д. С. Аввакумова

Кварц образовался позже кальцита и замещает его как в древесине, так и в прожилках (см. рис. 7). Элементы-примеси в кварце не фиксируются. В отдельных спектрах отмечаются заметные содержания Са, что также говорит о срастании кварца с кальцитом (см. табл. 3).

Включения пирита размером до 250 мкм многочисленны (см. рис. 7, а, в, е). Они расположены преимущественно в кварце. Формирование относительно крупных включений происходило, как правило, в результате слияния и перекристаллизации мелких кристаллов (см. рис. 7, в). Пирит образовался позже кальцита, одновременно с кварцем. В отдельных спектрах отмечается до 2.78 масс. % кислорода, что указывает на частичное окисление пирита.

В образцах окаменелого дерева присутствует большое количество микропор шириной 3–10 мкм (см. рис. 7, д, е). Они обрамляют включения кальцита и кварца, занимающие положение растительных клеток древесины. В зонах, выполненных кварцем или кварцем и кальцитом, размер микропор возрастает до 50–80 мкм. Они образуют протяженные цепочки, а изредка располагаются вдоль контактов прожилков (см. рис. 7, в, з).

Окаменелое дерево кальцитового (II) минерального типа (см. рис. 5, б) при параллельных николях светло-коричневого, коричневого цвета. Образцы преимущественно состоят из кальцита с тонкими (менее 0.1 мм) черными прожилками пирита, которые ориентированы как вдоль, так и поперек текстуры древесины. В подчиненном количестве присутствует мергель светло-серого цвета с включениями пирита, распределенными в нем неравномерно. Многочисленные прожилки белого и светло-серого цвета выполнены кальцитом. Встречаются разноориентированные с неровным извилистым контуром трещинки шириной от менее 0.1 до 1 мм, а также — поры (рис. 8, а).

Окаменелая древесина состоит из цепочек изометричных кристаллов кальцита близкой ориентировки размером около 0.03 мм. Они образуют параллельно-слоистую структуру, наследующую текстуру дерева. Кварц присутствует в небольшом количестве, замещая кальцит с образованием каймы вокруг его кристаллов. В отдельных фрагментах кальцитовые цепочки разделены прерывистыми тонкими (менее 0.03 мм) прожилками и включениями пирита (рис. 8, б–д). Глобулярные выделения (менее 0.015 мм) пирита при срастании образуют

сплошные массы, а затем — и прожилки длиной до 0.6 мм. Включения пирита сформировались сингенетично с кальцитом, а далее — и с кварцем. Микропрожилки пирита сложной зигзагообразной формы пересекают слои и кристаллы кальцита, что говорит об их более позднем образовании. Выделения пирита окисляются с образованием гидроксидов железа, которые окрашивают фрагменты окаменелой древесины в коричневые и бурые цвета (см. рис. 8, в–д).

Мергель пелитовой структуры, состоящий из кальцита, алюмосиликатов, кварца, пирита, в образцах этого типа выполняет сверления (размером до 11 мм по удлинению) (см. рис. 8, з, е). Зерна кварца (до 0.05 мм) изометричной формы равномерно распределены в мергеле. Выделения алюмосиликатов — изометричной и удлиненной формы размером менее 0.05 мм. Включения пирита многочисленны. Мелкие (менее 0.01 мм) глобулярные кристаллы при срастании формируют включения (до 0.3 мм) округлой и удлиненной формы с неровным контуром. Образование пирита происходило одновременно с кальцитом мергеля. В экзогенных условиях пирит частично окислился с образованием гидроксидов железа, которые окрашивают в бурые цвета небольшие части мергеля. Кристаллики кальцита (0.005–0.01 мм), входящие в цемент мергеля (см. рис. 8, е), образуют скопления размером до 0.5 мм (см. рис. 8, б, в). В мергеле присутствует небольшое количество пор размером до 0.1 мм (см. рис. 8, е). Изредка видны сохранившиеся кальцитовые трубки древоточцев, выделяемые мантией моллюсков и укреплявшие стенки сверлений, впоследствии перекристаллизованные (см. рис. 3, б; 8, а, б).

Прожилки в окаменелом дереве этого типа также многочисленны, разноориентированы, выполнены кальцитом. Ширина их от 0.03 до 1.5 мм. Они пересекают окаменелую древесину и мергель. Количество пор в прожилках невелико, их размер не превышает 0.1 мм. Часть из них связана с изготовлением шлифов (см. рис. 8, б). В самом окаменелом дереве присутствуют трещины шириной от 0.2 до 1.5 мм и крупные (до 2 мм) поры (см. рис. 8, а).

При микрозондовом изучении в обратнорассеянных электронах (рис. 9, а–е) в отдельных фрагментах окаменелой древесины отчетливо проявляется ее исходная структура с годовыми кольцами, в других — она частично или полностью утрачена (см. рис. 9, з, д). В характеристическом рентгеновском излучении элементы Са, Si и S отражают

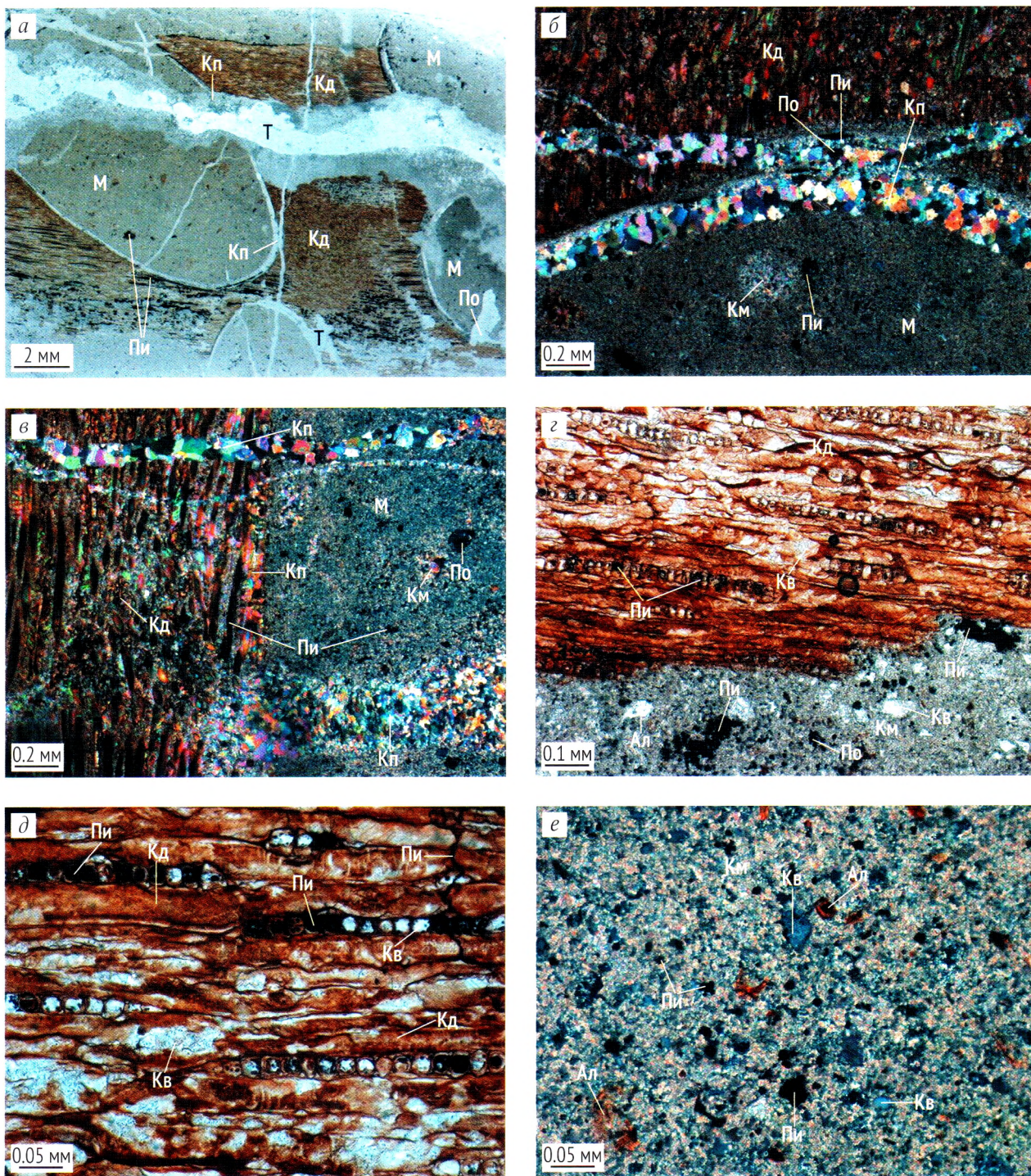
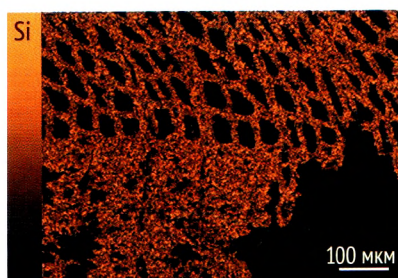
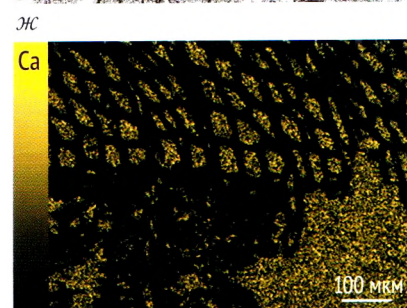
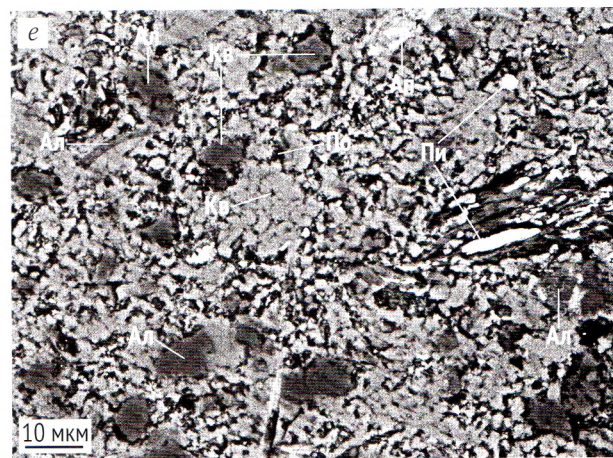
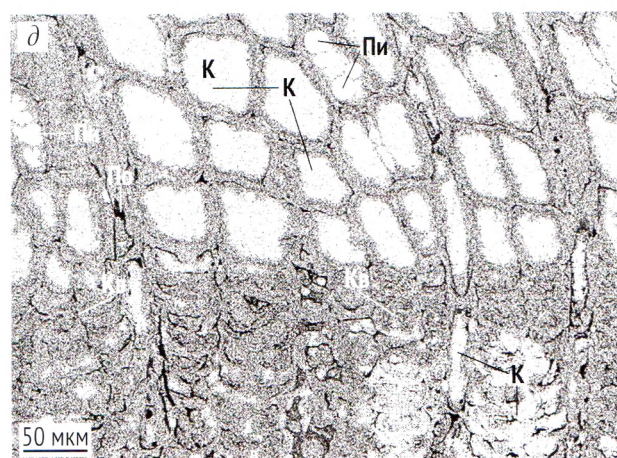
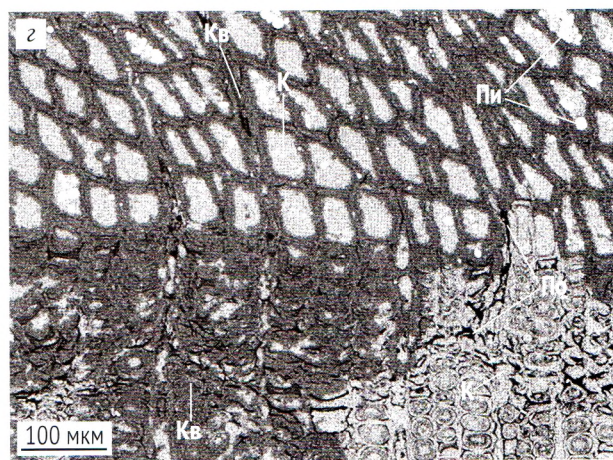
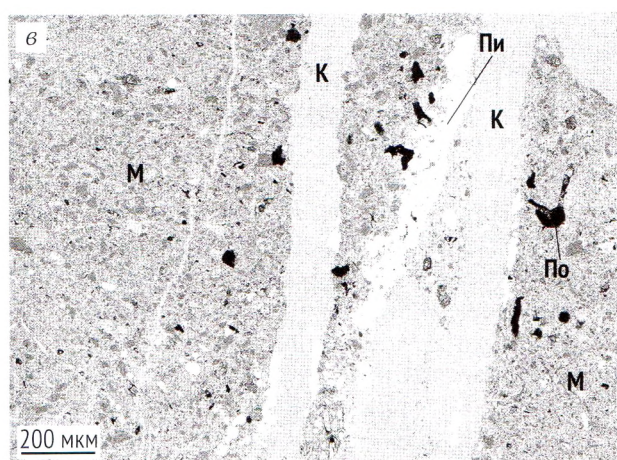
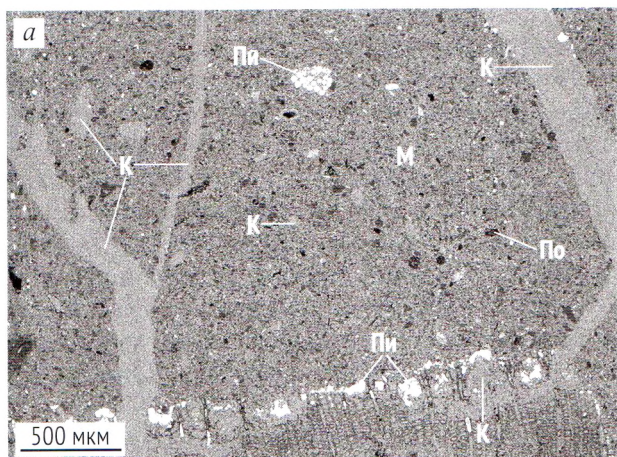


Рис. 8. Прозрачные шлифы продольного спила окаменелого дерева (а) с детализацией (б–е), которая показывает участки древесины, выполненные кальцитом (Кд), мергелем, заполняющим сверления древоточцев (М), прожилки кальцита и его псевдоморфозы по раковинам древоточцев (Кп). Км – кальцит, выполняющий мергель; Пи – пирит, Кв – кварц, Ал – алюмосиликаты, Т – трещина, По – поры. Николи параллельны – а, скрещены – б–е.

Рис. 9. Фрагменты окаменелого дерева (показанного на рис. 5, б), которые включают участки, выполненные преимущественно кальцитом (К), кварцем (Кв), мергелем, заполняющим сверления древоточцев (М), с включениями алюмосиликатов (Ал); кварца (Кв), сцементированных кальцитом (Км); прожилки кальцита (Кп), включения пирита (Пи), апатита (Ап), поры (По). Микрофотографии в обратнорассеянных электронах (а–е) и распределение элементов в характеристическом рентгеновском излучении (ж). Аналитик Д. С. Аввакумова.



минеральный состав, представленный кальцитом и кварцем с включениями пирита (рис. 9, ж). Фрагменты с четко выраженной структурой образованы включениями кальцита (20–80 мкм) с кварцевым обрамлением, занимающими центральную часть растительных клеток. Как и в образце I типа, окаменелое дерево здесь имеет сотовую структуру, в которой кварц замещает кальцит (см. рис. 9, з, д).

В табл. 3 приводятся содержания (по данным рентгеноспектрального микроанализа) элементов-примесей в кальците и из образца окаменелого дерева II типа. По сравнению с образцом I типа, здесь отмечаются более высокие содержания Mn и более низкие Fe. В большинстве спектров также фиксируется Si, указывающий на тесное срастание кальцита с кварцем. В отдельных спектрах отмечается P, что подтверждает наличие апатита, который был определен при помощи рентгеновского фазового анализа (см. табл. 1).

Кварц в окаменелом дереве этого типа содержится в меньшем количестве по сравнению с образцами первого типа, а в прожилках отсутствует полностью. Он образовался позже кальцита и замещает его в древесине (см. рис. 9, а, б, з, д). По высоким содержаниям Na среди алюмосиликатов мергеля можно выделить альбит, K — микроклин, а Fe — глауконит.

Включения пирита относительно образца I типа многочисленны. Здесь они присутствуют в замещивших древесину кальците и кварце, в кальцитовых прожилках и мергеле (см. рис. 9). В отдельных спектрах фиксируются низкие содержания кислорода, которые также свидетельствуют об окислении пирита, а заметные количества Ca, Al, Si говорят о его срастании с кальцитом и алюмосиликатами. В одном спектре зафиксировано высокое содержание углерода (23.14 масс. %), что может указывать на присутствие органического вещества.

Как мы уже говорили, во втором типе окаменелого дерева (образец СД-2) определяющую роль в минеральном составе играет кальцит. Одни фрагменты древесины замещены кальцитом и кварцем, другие — выполнены полностью кальцитом. Кальцит образовался на первом этапе диагенеза, а впоследствии кварц его частично заместил.

Оценка экологической опасности окаменелого дерева

Ювелирные и интерьерные изделия постоянно находятся в соприкосновении с человеком, что обуславливает повышенные требования к их экологическим характеристикам. Окаменелое дерево для о. Сахалин представляет собой новый вид кам-

несамоцветного сырья. Его экологическая оценка ранее не проводилась.

Нормативные документы по допустимым содержаниям канцерогенных элементов для ювелирных и интерьерных изделий из природного камня до сих пор не утверждены. В связи с этим были использованы общие требования безопасности к игрушкам (ГОСТ ИСО 8124-3-2001, редакция от 2006.06.01). В окаменелом дереве в отдельных образцах фиксируются повышенные содержания As — до 40 мг/кг (см. табл. 2), которые превышают установленные нормы (25 мг/кг). Как показали данные рентгеноспектрального микроанализа, мышьяк (до 1.80 масс. %) может концентрироваться в пирите и входить в его структуру. По данным рентгеновского количественного фазового анализа, пирит в окаменелом дереве составляет не более 1.2 масс. % (см. табл. 1). Таким образом, повышенные содержания мышьяка характерны для окаменелого дерева с повышенным содержанием пирита. Реальную экологическую опасность представляют подвижные формы нахождения токсичных веществ с высокими миграционными возможностями. В окаменелом же дереве канцерогенные элементы находятся в устойчивой минеральной форме и безопасны.

По результатам испытания радиационных характеристик образцов окаменелого дерева удельная активность радионуклидов (Бк/кг) составила: $^{226}\text{Ra} \leq 20$, $^{228}\text{Ra} \leq 20$, $^{224}\text{Ra} \leq 20$, $^{232}\text{Th} \leq 20$, $^{40}\text{K} = 163$, а удельная эффективная активность $A_{\text{эфф}} = 62$, при норме < 740 Бк/кг. Испытания показали, что окаменелое дерево удовлетворяет требованиям СП 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников излучения» пункту 4.5.1 «...изделия художественных промыслов и предметов интерьера из природного камня...», что допускает использования его без ограничения по радиационному фактору. Содержания радиоактивных элементов U и Th, по данным рентгеновского флуоресцентного анализа, ниже чувствительности метода (см. табл. 2), что подтверждает сделанный вывод.

* * *

Таким образом, проведенные оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования детализировали минеральный и химический состав и структурные особенности окаменелого дерева различных типов.

В первом типе (образец СД-1) определяющую роль в минеральном составе играет кварц, который вместе с кальцитом замещает исходную древесину и выполняет прожилки. На первом этапе диагенеза образовался кальцит, который заместил органи-

ческое вещество древесины. В результате образовались параллельные цепочки кристаллов, размер которых соответствовал растительным клеткам (около 0.03 мм), причем исходная текстура древесины сохранилась, а окаменелое дерево приобрело сотовую структуру.

На втором этапе кальцит замещался кварцем, который сначала формировал кайму вокруг его кристаллов, а затем заполнял их полностью. В результате образовались значительные по размеру фрагменты, преимущественно выполненные кварцем и утратившие текстуру древесины.

Установленные минеральный и химический состав и структурные особенности окаменелого

дерева позволяют проводить его идентификацию, оценивать факторы, определяющие декоративные и технологические характеристики, которые необходимо учитывать при его обработке.

Окаменелое дерево о. Сахалин имеет достаточно большие размеры, характеризуется положительными декоративными, технологическими и экологическими характеристиками, что позволяет изготавливать из него широкий ассортимент изделий. Оно попутно с другими видами ювелирно-поделочных материалов может собираться в руслах рек, без горных выработок и без значительных материальных затрат, не нарушая сохранность окружающей среды.

Литература / References

1. Буканов В. В. Цветные камни и коллекционные минералы. Энциклопедия. СПб., 2014. [Bukanov V. V. Colored Stones and Collectible Minerals. Encyclopedia, Saint Petersburg, 2014. (In Russ.).]
2. Петроченков Д. А. Минеральный состав и геммологические характеристики окаменелого дерева Ульяновской области. Известия вузов. Геология и разведка. 2018; 6: 18–23. [Petrochenkov D. A. Mineral composition and gemological characteristics of a Petrified wood of the Ulyanovsk region. Izvestiya Vuzov. Geology and Exploration. 2018; 6: 18–23 (In Russ.).]
3. Матюшков Г. В., Соловьев А. В., Мельников О. А. Геологическое прошлое острова Сахалин. Южно-Сахалинск, 2014. [Matyushkov G. V., Soloviev A. V., Melnikov O. A. Geological Past of Sakhalin Island. Yuzhno-Sakhalinsk, 2014. (In Russ.).]

Petrified Tree of Sakhalin Island: A New Type of Jewelry and Ornamental Material

D. A. Petrochenkov¹, E. Yu. Baraboshkin²

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (Moscow, Russia)

²Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Petrified wood belongs to the group of florogenic jewelry and ornamental materials. It is widely used for the manufacture of various types of products. The paper presents first results of a detailed gemological and mineral-geochemical study of the petrified wood of jewelry and ornamental quality from Sakhalin Island. The petrified wood is associated with the Santonian and Campanian deposits of the Late Cretaceous age. According to the mineral composition and decorative and technological characteristics, two types of petrified wood can be distinguished. The first type of petrified wood is characterized by almost complete replacement of the wood original organic compounds mainly by quartz and, to a lesser extent, by calcite with inclusions of pyrite, dolomite, microcline, and kaolinite. In the second type, the role of calcite increases significantly, while the quartz content decreases. Fragments of petrified wood are of large size and good decorative, technological, and ecological characteristics. It can be collected in the rivers with other types of jewelry and ornamental materials at little costs and without destroying the environment.

Keywords: petrified wood, jewelry and ornamental stones, Upper Cretaceous deposits, calcite, quartz, Sakhalin Island.