

Ювелирно-поделочные конкремции графства Дорсет, Англия. Минеральный состав, геммологические характеристики

Д. А. Петроценков¹, Е. Ю. Барабошкин^{2, 3}

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

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

³ Геологический институт РАН (Москва, Россия)

Конкремции, насыщенные раковинами фоссилий, ювелирно-поделочного качества недавно появились на мировом рынке, включая российский, и остаются геммологически слабо изученными. Авторами впервые детально изучены конкремции с раковинами аммонитов из графства Дорсет, Англия, в качестве камнесамоцветного сырья. Конкремции диаметром 5–10 см, известные в Англии как «coinstones» (камни-монеты), происходят из синемюрского яруса нижней юры. Проведенными исследованиями установлено, что они состоят из кальцита (88 масс.-%), присутствуют: арагонит, анкерит, доломит, пирит, кварц, апатит, каолинит, иллит, плагиоклаз. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr (0.0793 масс.-%). Раковины аммонитов небольшого размера, кальцитового минерального типа. Стенки и перегородки сохраняют частично арагонит. Неразрушенные гидростатические и жилые камеры выполнены известковым мергелем. Мергель конкремций и раковин тонкозернистый с пелитовой структурой. В нем присутствуют прожилки кальцита разного размера и структуры. Конкремции характеризуются высокой декоративностью и положительными технологическими характеристиками, позволяющими изготавливать широкий ассортимент изделий, включая ювелирные.

Ключевые слова: конкремции, аммониты, юра, камнесамоцветное сырье, арагонит, кальцит, Англия.

Конкремции, насыщенные раковинами фоссилий, в последние десятилетия используются в качестве ювелирно-поделочного материала. Примерами могут являться нижнемеловые конкрем-

ции с фоссилиями Ульяновской области (отложения готерива), республик Дагестан и Кабардино-Балкария (отложения апта) [1, 2]. Из конкремций изготавливают широкий ассортимент изделий:



Дмитрий Александрович Петроценков, 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, ведущий научный сотрудник Геологического института РАН. Лауреат премии И. И. Шувалова. Председатель Меловой комиссии Межведомственного стратиграфического комитета. Область научных интересов – палеонтология, седиментология, палеогеография мезозоя. e-mail: EJBaraboshkin@mail.ru



Рис. 1. Скол (а), полированная поверхность (б) конкреций с включениями раковин аммонитов; полированная поверхность известкового мергеля конкреции с прожилками кальцита (в).

Коллекция Д.А.Петроченкова

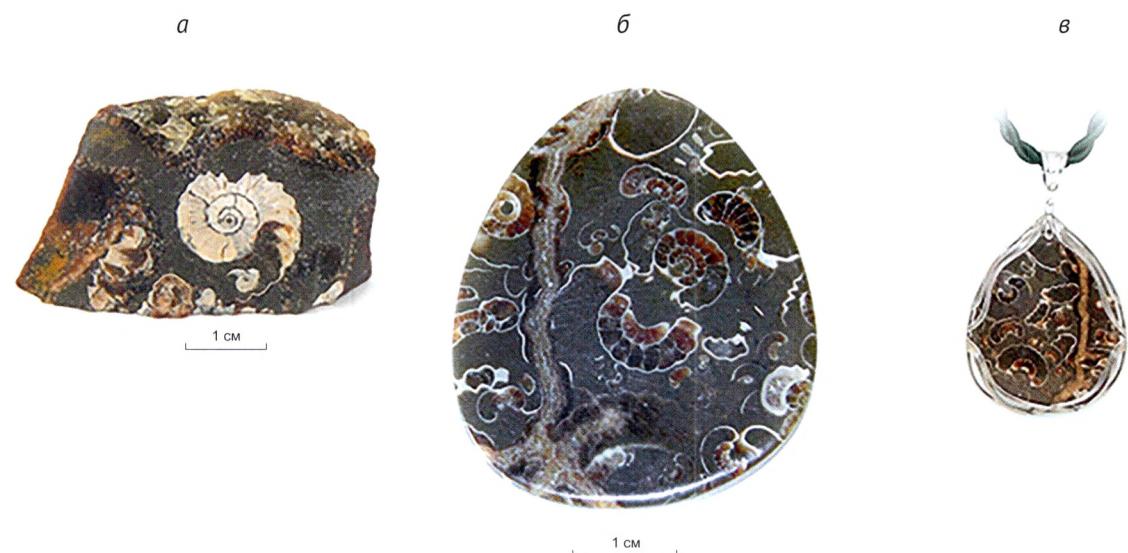


Рис. 2. Фрагмент конкреции с отпечатком раковины аммонита (а), кабошон (б) и кулон (в) с конкрециями, насыщенными раковинами аммонитов и прожилком кальцита.

Коллекция Д.А.Петроченкова

декоративные спилы-панно, шары, яйца, сферы, кабошоны для ювелирных изделий, которые вос требованы как на российском, так и на мировом рынках.

Из фоссилий в конкрециях ювелирно-поделочного качества преобладают раковины аммонитов, двустворок, реже белемнитов, которые и определяют их декоративные и технологические характеристики. В связи с этим конкреции с фоссилиями как вид полезного ископаемого – ювелирно-поделочные материалы, можно отнести в группу гидрогенных биоминеральных образований [3] или

биоминеральных агрегатов [4]. По мнению авторов, термин гидрогенные биоминеральные образования в большей степени соответствуют происхождению и минеральному составу конкреций с фоссилиями.

На мировом рынке цветных камней присутствуют конкреции с фоссилиями из графства Дорсет, Англия. Они добываются преимущественно из карьеров под инженерные сооружения и используются в качестве декоративных образцов и вставок в ювелирные украшения (рис. 1, 2). Конкремции впервые были детально изучены авторами



Рис. 3. Выходы нижнеюрских пород в районе Лайм-Риджес (а), содержащие многочисленные раковины аммонитов (б). 2009 г.

Фото Е.Ю. Барабошкина

в качестве ювелирно-поделочного материала, определены их минеральный, химический состав и геммологические характеристики.

В этом регионе существуют также и многочисленные выходы нижнеюрских пород, относящихся к «Голубому Лейасу» (Blue Lias) – традиционному местному стратиграфическому подразделению. Его разрез с многочисленными фоссилиями можно наблюдать в живописных обрывах «Юрского побережья» на территории природного заповедника в районе порта Лайм-Реджис (рис. 3, а, б). Общие представления о геологии и стратиграфии юрских отложений Юрского побережья и Дорсета можно найти в работах [5, 6].

Карбонатные конкреции с фоссилиями происходят из нижнеюрских отложений (нижний лейас). Конкреции сферической формы, диаметром 5–10 см, известные в Англии как «coinstones» (камни-монеты). В них присутствуют в больших количествах раковины аммонитов *Promicroceras marstonense*. Е.Ю. Барабошкиным установлены также *Promicroceras planicosta* (Sowerby, 1814), относящиеся к синемюрскому ярусу нижней юры (рис. 1, а). Раковины аммонитов высокой сохранности, с перламутровым слоем, размером 1–2 см. Раковины распределены в конкрециях неравномерно, имеют близкую ориентировку и в зависимости от плоскости среза на полированной поверхности присутствуют их продольные, поперечные или косые срезы (рис. 1, б; 2, б, в). Значительный объем конкреций может оказываться без раковин и не представлять коммерческого интереса (рис. 1, в). Эти факты необходимо учитывать при обработке конкреций.

Комплекс исследований конкреций проведен в лабораториях Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Всероссийского института минерального сырья (ВИМС), Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН), Минералогического музея имени А.Е. Ферсмана РАН. Он включал определение микротвердости, плотности, люминесценции, оптико-петрографический анализ, определение минерального и химического состава, электронно-зондовые исследования.

Количественное определение химического состава конкреций выполнено методом рентгеновского флуоресцентного анализа на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минералографический анализ выполнен с использованием микроскопов «Полам Р-112» и «Leica DMRX». Микротвердость определялась на микротвердометре «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и выдержкой 15 с. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G 150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с $\lambda = 254$ и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом на дифрактометре «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондовые исследования выполнены на рентгеновском микроанализаторе «Jeol JXA-8100», Superprobe JCXA-733 JEOL и на микрорентгенофлуоресцентном спектрометре EDAX Eagle III, позволившим получить хими-

ческий состав по данным рентгеноспектрального микронализа, провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах и характеристическом рентгеновском излучении. Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Изготовлены декоративные спили, кабошоны и ювелирные изделия. Проведено описание их декоративных и технологических характеристик.

Геммологические характеристики конкреций

Конкреции состоят преимущественно из кальцита – 88 масс.%. В них установлены, масс.%: арагонит – 5, анкерит – 2, пирит – 2, кварц – 2, апатит – 0.5, каолинит и иллит – следы (табл. 1). Из результатов анализа следует, что раковины аммонитов в значительной степени сохраняют исходный арагонитовый состав. Терригенный морской осадок представлен кварцем, каолинитом, иллитом, в сумме составляющими менее 3 масс.%. Новообразованные в процессе диагенеза и образовании конкреции минералы: кальцит, анкерит, пирит, апатит.

По данным рентгеновского флуоресцентного анализа, сумма CaO и потерь при прокаливании (ППП)

составляет 89.63 масс.%, подтверждая преимущественно карбонатный состав конкреций (табл. 2). Содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O и K_2O отражают присутствие кварца и алюмосиликатов. Наряду с установленными минералами вероятно присутствие и плагиоклаза. Содержания Fe и S связаны преимущественно с пиритом, P_2O_5 – с апатитом, MgO – с анкеритом и кальцитом. Отметим повышенные содержания TiO_2 – (0.10 масс.%), указывающие на присутствие минералов титана, характерных для прибрежно-морских отложений. Породу, образующую конкрецию, по минеральному составу можно отнести к известковому мергелю. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr – 0.0793 масс.%; а в интервале 0.001–0.01 масс.% – V, Ni, Cu, Rb, Ba (табл. 2). Содержания канцерогенных и радиоактивных элементов ниже чувствительности метода, что позволяет использовать конкреции без ограничения по экологическим факторам.

Конкреции плотные, раскалываются с раковистым изломом, часто по поверхности раковин аммонитов. Известковый мергель, образующий конкреции, тонкозернистый серого цвета, хорошо

Таблица 1

Минеральный состав конкреции с включениями раковин аммонитов по данным рентгеновского количественного фазового анализа

Минеральный состав		Содержание, масс.%
Кальцит		88
Арагонит		5
Анкерит		2
Пирит		2
Кварц		2
Апатит		0.5
Каолинит		следы
Иллит		следы

Таблица 2

Химический состав конкреции с включениями раковин аммонитов по данным рентгеновского флуоресцентного анализа

Основные компоненты, масс.%											
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	P_2O_5	$\text{S}_{\text{общ}}$	ППП^1
0.19	1.87	1.44	3.56	0.21	48.48	0.10	0.01	0.89	0.65	0.81	41.15
Элементы-примеси, мг/кг ($\times 10^{-4}$ масс.%)											
V	Ni	Cu	Rb	Sr	Ba	Y	U	Th	Pb	As	
11	15	12	18	793	77	9	<5	<5	<10	<10	

¹ – потери при прокаливании

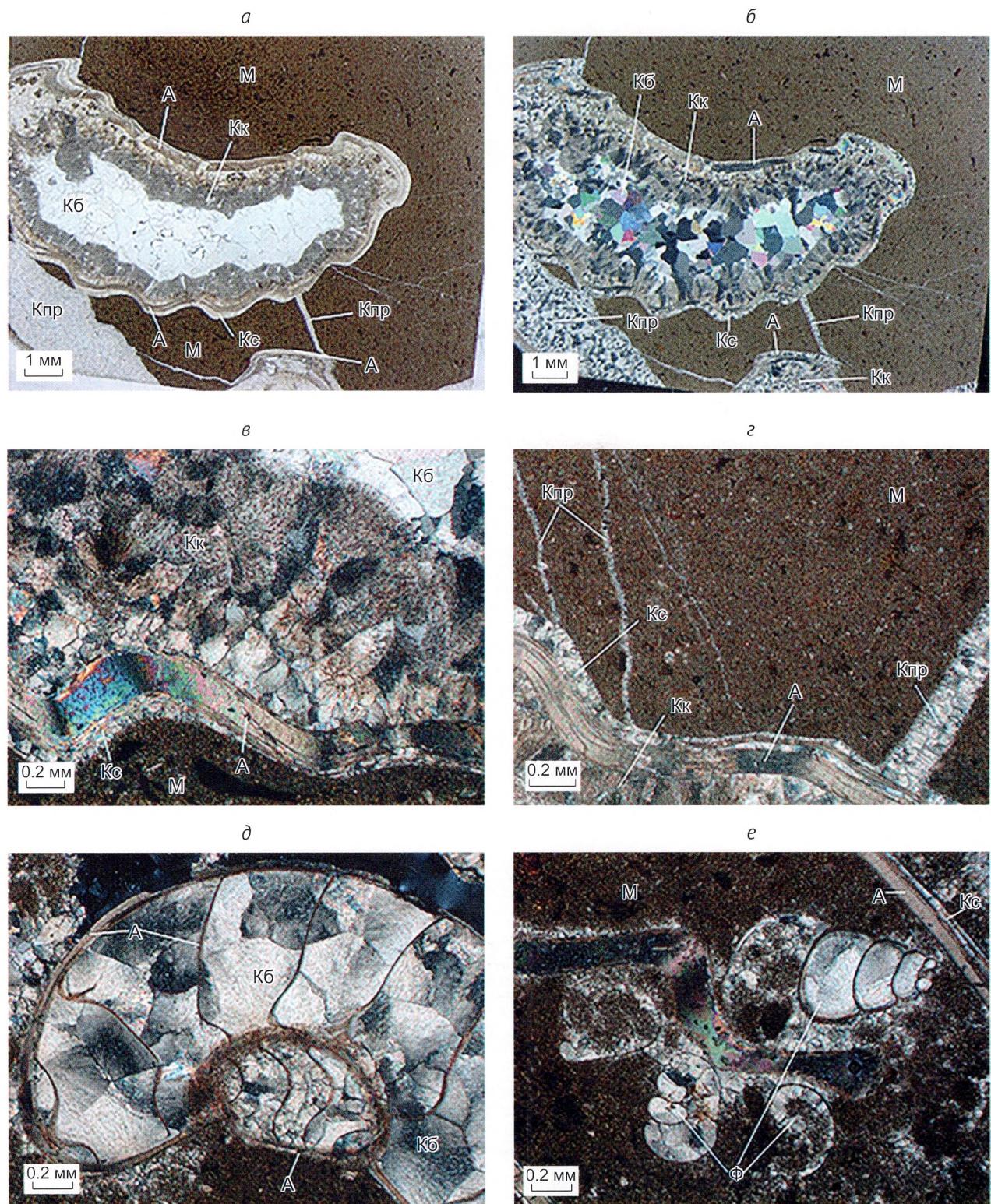


Рис. 4. Прозрачные шлифы фрагментов конкреций, включающие раковины аммонитов, известковый мергель с прожилками кальцита. Николи параллельны – а; скрещены – б–е. Обозначения: А – арагонит; Кк, Кб – кальцит просвечивающий, полупрозрачный, коричневый и прозрачный бесцветный, выполняющий камеры раковин; Кпр – кальцит прожилков; Кс – кальцит, выполняющий стенку; М – мергель; Пи – пирит; Ф – мелкие раковины фоссилий.

Таблица 3

Химический состав арагонита в раковинах аммонитов по данным рентгеноспектрального микроанализа

Содержание элемента, масс.%						
Mg	Mn	Fe	Na	Sr	Ca	O
0.00–0.21*	0.00	0.00	0.28–1.17	0.11–0.41	38.24–39.21	46.90–47.60
0.05			0.35	0.26	38.89	47.24

Примечание: над чертой приведены крайние значения, под чертой – средние по 12 спектрам

полируется до стеклянного блеска с ровной поверхностью (рис. 1, *в*). Плотность известкового мергеля около – 2.63 г/см³, микротвердость – 197 кг/мм². Люминесценция не проявлена.

Перламутровый слой раковин аммонитов тонкий (менее 0.25 мм), белого цвета с перламутровым и матовым блеском. Иризация проявлена слабо в желтых и зеленых тонах. Перламутровый слой при раскалывании конкреций легко отслаивается, а при распиловке – выкрашивается. Частично слои арагонита замещаются кальцитом светло-коричневого цвета, который иногда виден на сколах. Микротвердость арагонитового перламутрового слоя невысокая, около 138 кг/мм². На поверхности ядер иногда видны лопастные линии.

Стенки раковин толщиной менее 0.15 мм, при косых срезах до 0.3 мм, хорошо проявлены на полированных срезах (рис. 1, *б*). Перегородки из-за незначительной толщины хорошо видны только при увеличении, в ряде камер они разрушены. Гидростатические камеры выполнены просвечивающим до полупрозрачного кальцитом темно-коричневого и коричневого цвета. Жилые камеры выполнены известковым мергелем, аналогичным конкреции. Плотность раковин аммонитов около 2.64 г/см³. Микротвердость кальцита коричневого цвета около 151 кг/мм², а темно-коричневого возрастает до 266 кг/мм². Отчетливо проявлена люминесценция в желто-коричневых тонах кальцита темно-коричневого цвета.

В конкрециях в небольшом количестве присутствуют прожилки кальцита толщиной до 5 мм. Кальцит различной прозрачности, от светло-коричневого до темно-коричневого цвета (рис. 1, *в*; 2, *б*, *в*). В более крупных прожилках наблюдается зональное расположение слоев кальцита различной прозрачности и цвета. На контакте с известковым мергелем расположены просвечивающие до полупрозрачных слои темно-коричневого цвета. Центральные части прожилков выполнены непрозрачным, просвечивающим кальцитом коричневого цвета. В центральных частях крупных прожилков присутствуют небольшие фрагменты, выполненные

крупнокристаллическим полупрозрачным до прозрачного, бесцветным кальцитом. Прожилки могут пересекать раковины аммонитов, иногда их огибают. Плотность кальцитовых прожилков около 2.68 г/см³. Так же как и в раковинах аммонитов, фиксируется более высокая микротвердость темно-коричневого кальцита (около 260 кг/мм²) и более низкая светло-коричневого (около 170 кг/мм²). Люминесценция в желто-коричневых тонах проявлена в темно-коричневом кальците.

В целом конкреции хорошо полируются до стеклянного блеска с ровной поверхностью. Осложняет полировку выкрашивание перламутрового слоя.

Оптико-петрографические и электро-зондовые исследования

Изучены прозрачные шлифы (рис. 4, 5) и аншлифы (рис. 6) фрагментов конкреций, включающие раковины аммонитов, известковый мергель с прожилками кальцита.

При параллельных николях по цветовым оттенкам отчетливо проявлены стенки, камеры, выполненные различным по прозрачности и цвету кальцитом, мергель с прожилками кальцита (рис. 4, *а*). В характеристическом рентгеновском излучении по содержанию Ca, Al, Si в конкреции выделяются зоны, выполненные кальцитом и мергелем (рис. 7). Для конкреции характерны повышенные содержания Mg, который фиксируется как в кальците, так и в мергеле. Отметим отсутствие в конкреции Mn, характерного элемента для многих аналогичных объектов [1, 2]. Относительно высокие содержания Fe характерны для мергеля и непрозрачного коричневого кальцита, а для стенок отсутствие Mg, Mn и Fe. По точечным содержаниям Fe и S выделяется редкая вкрапленность пирита.

Стенки раковин аммонитов толщиной до 0.25 мм, перегородки до 0.06 мм выполнены арагонитом и кальцитом. Контакт стенок с мергелем и кальцитом, выполняющим камеры, ровный, четко выражен. Кальцит образует прерывистые слои шириной до 0.2 мм, преимущественно в краевых частях стенок.

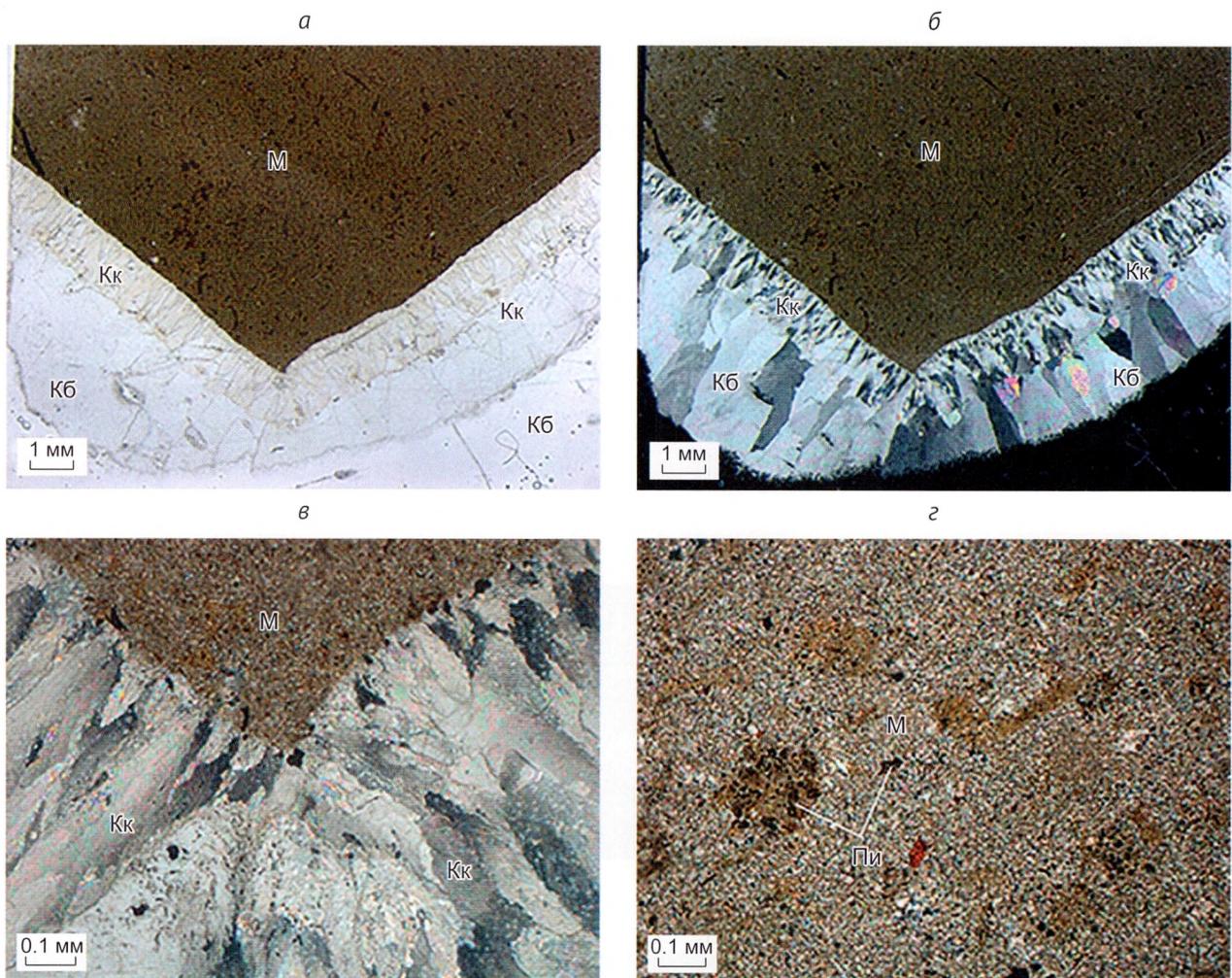


Рис. 5. Прозрачные шлифы фрагментов конкреций, включающие известковый мергель с прожилками кальцита, различной прозрачности и цвета. Николи параллельны – *а*; скрещены – *б–г*. Обозначения: Кб – слой полупрозрачного, прозрачного бесцветного кальцита; Кк – слой просвечивающего, полупрозрачного кальцита коричневого цвета; М – мергель; Пи – пирит.

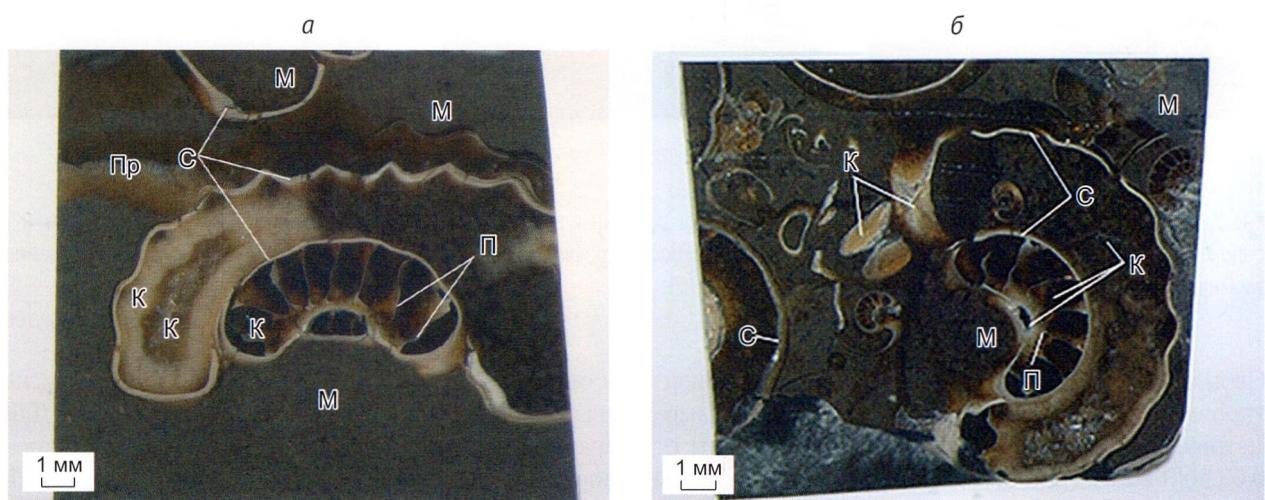


Рис. 6. Аншлифы конкреций с раковинами аммонитов. Обозначения: С – стенки и П – перегородки раковин аммонитов; К – кальцит различной прозрачности и цвета, выполняющий неразрушенные гидростатические камеры; М – известковый мергель; Пр – прожилок кальцита.

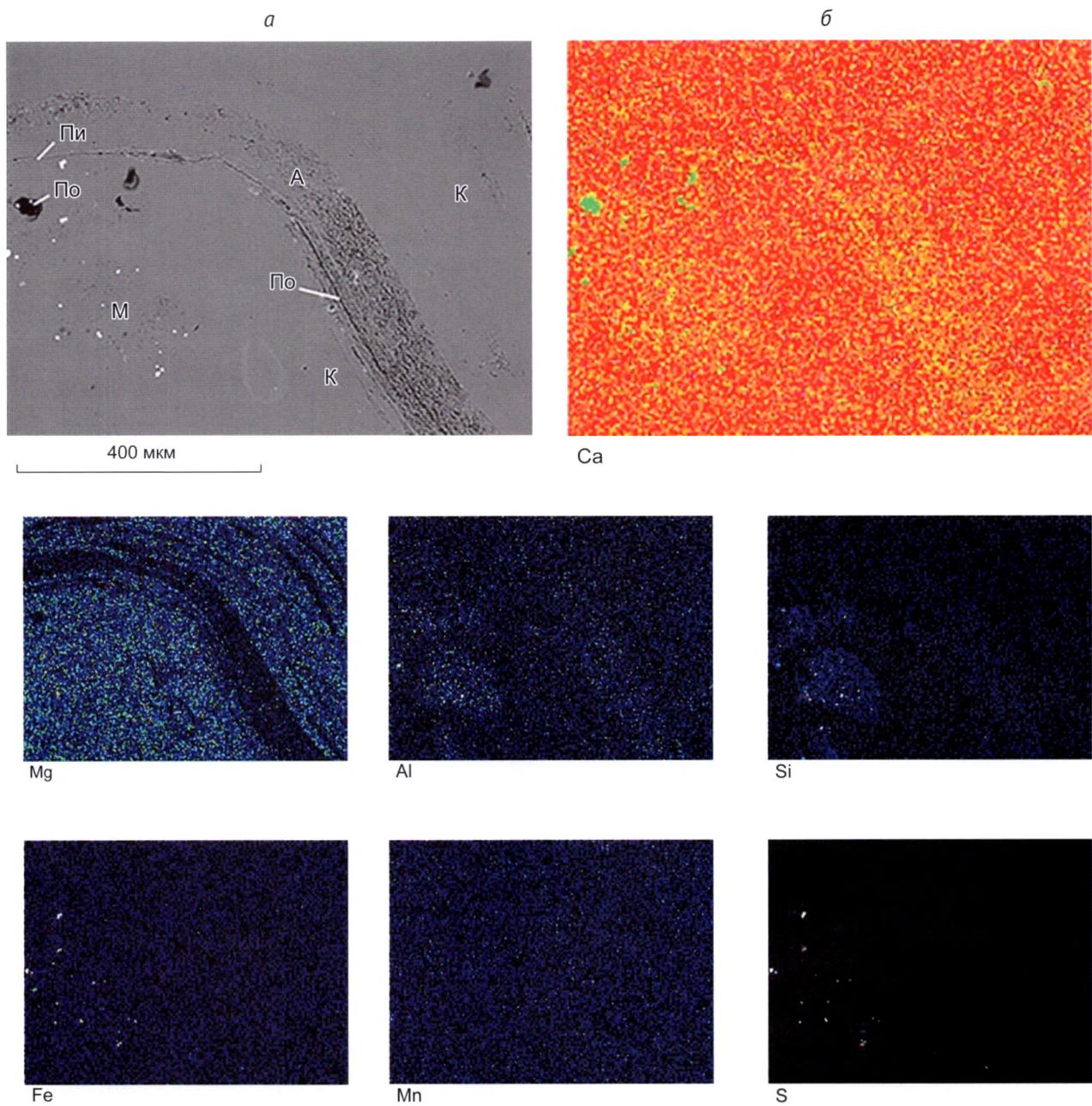


Рис. 7. Фрагмент конкреции (рис. 6, *а*), включающий стенку раковины аммонита, выполненную арагонитом (A) в кальците (K), с включениями мергеля (M) и пирита (Пи). По – поры. Микрофотографии в обратнорассеянных электронах (*а*) и распределение элементов в характеристическом рентгеновском излучении (*б*).

Аналитик Л.А. Паутов

Слои образованы плотно сросшимися, разноориентированными призматическими кристаллами, изометричной, реже удлиненной формы, размером от 0.03 до 0.20 мм (рис. 4, *в*, *г*). Удлиненные кристаллы ориентированы вдоль слоя и занимают всю его ширину. С увеличением ширины слоя увеличивается и размер кристаллов. В арагоните присутствуют микротрешинки, параллельные стенкам. Часть стенок

и особенно перегородок разрушены, а их фрагменты расположены как в кальците, так и в мергеле. Для арагонита характерно большое количество микропор, отдельные поры достигают 10 мкм (рис. 8, *а*, *б*; 9, *б*–*е*). Арагонит из элементов-примесей содержит в среднем, масс. %: Na – 0.35, Sr – 0.26, фиксируется Mg – 0.05 (табл. 3); в отдельных спектрах Р – до 0.13, указывающий на микроподключения апатита.

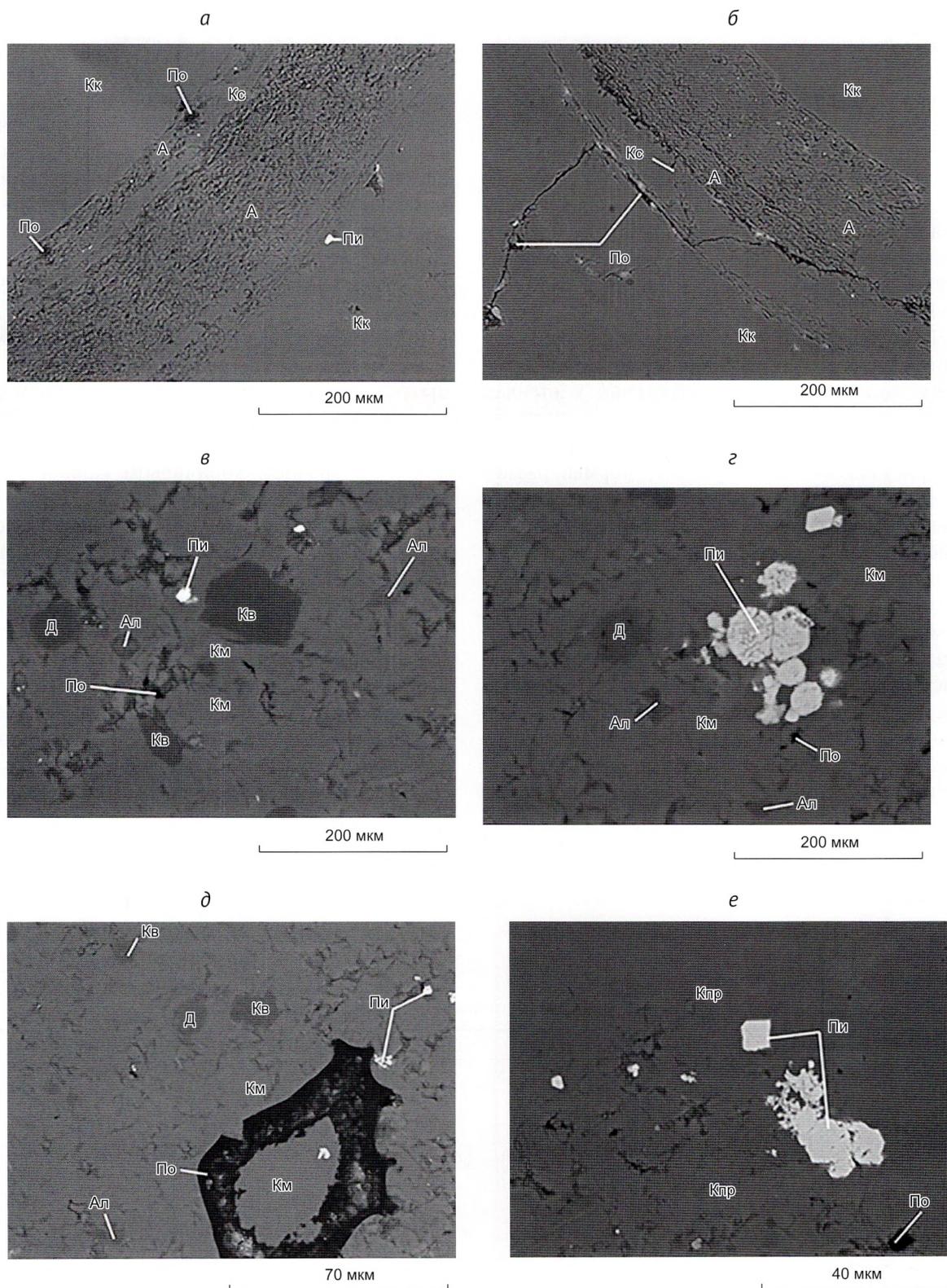


Рис. 8. Фрагменты конкреций (рис. 6, а), включающие: стенки раковин аммонитов, выполненные арагонитом (А) и кальцитом (Кс); камеры, выполненные кальцитом различной прозрачности и цвета (Кк) (а, б); мергель с включениями кварца (Кв), алюмосиликатов (Ал), доломита (Д), пирита (Пи), сцементированные кальцитом (Км) (в-д); прожилок кальцита (Кпр) (е). По – поры. Микрофотографии в обратнорассеянных электронах.

Аналитик Л.А. Паутов

В стенках присутствуют включения и тонкие (до 50 мкм) прерывистые слои кальцита, замещающего арагонит. Слои кальцита более плотные с небольшим количеством пор (рис. 8, *a*, *b*; 9, *e*). В них возрастает содержание Mg до 0.50 масс.% и фиксируется Fe – до 0.25 масс.%. В стенках фиксируются редкие включения пирита размером до 5 мкм (рис. 8, *a*). Включения апатита прослеживаются преимущественно по краям стенок в исходных конхиалиновых слоях раковин. На отдельных фрагментах они образуют слои шириной до 10 мкм с нечетко выраженным контуром (рис. 9, *a*, *b*, *e*).

Неразрушенные гидростатические камеры выполнены кальцитом с различной структурой и размером кристаллов. Непосредственно к стенкам примыкает тонкий (0.1–0.3 мм) слой, образованный плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами, изометричной формы, размер которых близок его ширине. На эти кристаллы без их коррозии и замещения нарастают плотно сросшиеся, разноориентированные кристаллы преимущественно удлиненной формы, размером до 0.6 мм по удлинению. Присутствуют кристаллы изометричной формы, размером до 0.5 мм с веерным угасанием, образованные в результате перекристаллизации тонкопризматических, игольчатых. Количество пор и минеральных включений в шлифе фиксируется незначительное количество (рис. 4, *в*, *г*). Описанный кальцит образует проплавляющий, полупрозрачный слой коричневого с различными оттенками цвета, шириной до 1.5 мм.

Центральные части камер выполнены плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами изометричной, реже удлиненной формы,

с ровным и волнистым угасанием, размером от 0.1 до 1 мм (рис. 4, *а*, *б*, *д*). Контакт с первоначальным слоем мелкозубчатый, волнистый, обусловленный окончаниями кристаллов. Это указывает, что выполнение центральной части камер происходило из многочисленных, разноориентированных центров кристаллизации, без замещения ранее образованных кристаллов. Количество пор и минеральных включений невелико, и они расположены по контурам кристаллов. В образце центральная часть камер прозрачная, бесцветная.

Структура кальцита, выполняющего камеры аммонита, в обратнорассеянных электронах не проявлена (рис. 8, *а*, *б*; 9, *а*–*д*). По данным рентгеноспектрального микроанализа содержание элементов-примесей в прозрачном бесцветном и полупрозрачном коричневом кальците близки и составляют в среднем, масс.%: Mg – 1.47, Mn < 0.01, Fe < 0.01 (табл. 4). В отдельных спектрах фиксируются содержания, масс.%: P – от 0.10 до 0.20; в единичных Na – от 0.28 до 0.31; Si – от 0.35 до 0.56; Al – от 0.21 до 0.36; S – от 0.12 до 0.33; в одном – Sr – 0.24. Содержания P указывают на присутствие микровключений апатита, Si – кварца, Si и Al-алюмосиликатов. Содержания S при отсутствии Fe могут быть связаны с микровключениями сульфатов. Na и Sr могут входить в структуру кальцита.

В непрозрачном коричневом кальците из элементов-примесей фиксируются в среднем, масс.%: Mg – 0.42 и Fe – 1.33 (табл. 4). Таким образом, для него характерны более низкие содержания Mg и высокие – Fe.

Таблица 4
Химический состав кальцита в конкрециях по данным рентгеноспектрального микроанализа

Характеристика кальцита	Содержание элемента, масс.%				
	Mg	Mn	Fe	Ca	O
В раковинах аммонитов: полупрозрачный коричневый, прозрачный бесцветный (29);	0.68–1.95 1.47	0.00–0.14 <0.01	0.00–0.06 <0.01	36.41–38.14 37.16	45.18–47.11 46.85
	0.32–0.52 0.42	0.00	0.88–1.77 1.33	36.85–38.56 37.79	46.11–47.54 47.01
В мергеле (5)	1.20–1.81 1.48	0.00–0.08 <0.02	0.21–0.53 0.32	36.54–38.21 37.39	45.27–47.35 46.98
В прожилке (1)	1.81	0.00	0.00	36.02	47.81

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

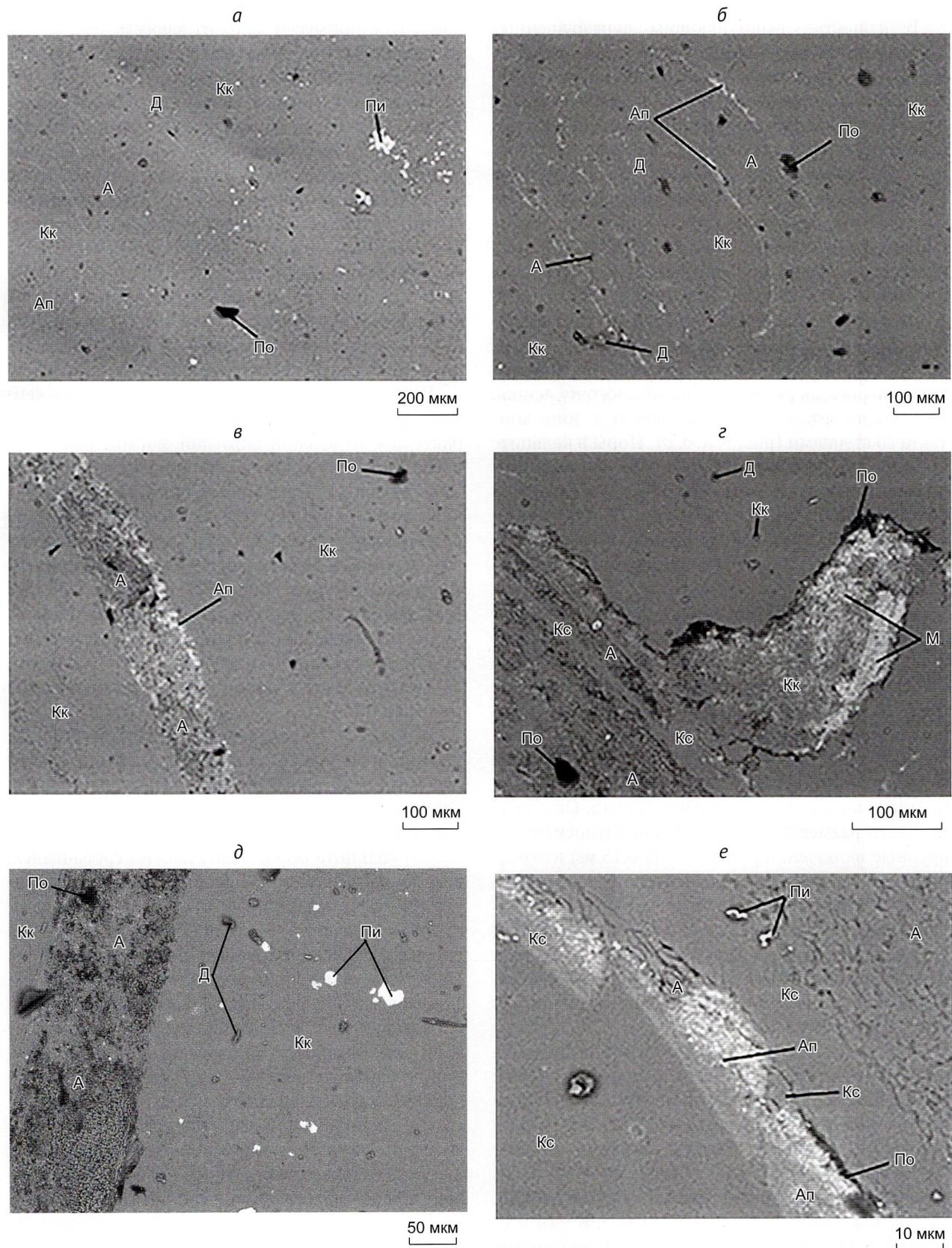


Рис. 9. Фрагменты конкреции (рис. 6, б), включающие стенки и перегородки раковин аммонитов, выполненные арагонитом (А) и кальцитом (Кс), камеры, выполненные кальцитом (Кк), с включениями мергеля (М), апатита (Ап), доломита (Д), пирита (Пи). По – поры. Микрофотографии в обратнорассеянных электронах.

Аналитик Д.С. Аввакумова

В кальците, выполняющим неразрушенные гидростатические камеры, установлены включения пирита, доломита и апатита. Наиболее многочисленны включения пирита, неравномерно распределенные в кальците. Для них характерна глобулярная форма и размер до 5 мкм. В отдельных фрагментах расположены более крупные (до 85 мкм) выделения пирита со сложным контуром. В них присутствуют как кристаллы глобулярной формы, так и более крупные (до 15 мкм) кристаллы с формами, отражающими кубический габитус пирита (рис. 8, а, б; 9, а–д).

Включения апатита немногочисленны, размером до 20 мкм, распределены на контакте со стенками раковин (рис. 9, а–в). Включения доломита размером до 20 мкм также немногочисленны, концентрируются преимущественно в зоне контакта со стенками (рис. 9, а, б, д). Поры в кальците преимущественно микронного размера, немногочисленны, распределены неравномерно, чаще расположены на контакте со стенками, включениями мергеля. Более крупные (до 30 мкм) связаны с выкрашиванием кальцита при подготовке образца (рис. 8, а, б, 9).

Мергель тонкозернистый, с пелитовой структурой, размер включений менее 0.15 мм, размер кристаллов кальцита, образующих цемент, менее 0.01 мм (рис. 5, г). Присутствуют небольшие (до 5 мм) фрагменты мергеля, в значительно большей степени насыщенные кальцитом. В них возрастают и размер кристаллов до 0.03 мм. Такие фрагменты в образце более светлые. Выделяются многочисленные включения пирита. Основная их часть размером менее 0.02 мм. Относительно крупные включения размером до 0.15 мм изометричной и вытянутой формы с неровным контуром (рис. 5, г). Вероятно присутствие небольшого числа включений минералов титана, призматической удлиненной формы с четким, ровным контуром. В мергеле встречаются мелкие (до 1.2 мм) раковины различных фоссилий, выполненные кальцитом и мергелем (рис. 4, е).

В мергеле по данным рентгеноспектрального микроанализа выделяются включения кварца, алюмосиликатов, пирита, доломита сцементированные кальцитом (рис. 8, в–д). Кальцит из элементов-примесей содержит в среднем, масс. %: Mg – 1.48, Mn < 0.02 и Fe – 0.32 (табл. 4); в отдельных спектрах фиксируются Р – от 0.09 до 0.28, Si – от 0.17 до 2.74, Al – от 0.41 до 1.65, K – от 0.13 до 0.62 и Ti – до 0.84. Содержания Р указывают на присутствие небольшого количества апатита, Si – включений кварца, Si, Al, K – алюмосиликатов (табл. 1), Ti – минералов титана. По содержанию

элементов-примесей кальцит мергеля отличается от кальцита, выполняющего неразрушенные гидростатические камеры раковин.

Включения кварца изометричной и удлиненной, угловатой формы, размером до 100 мкм (рис. 8, в–д). Элементы-примеси в кварце не фиксируются. Алюмосиликаты размером до 30 мкм изометричной, удлиненной, округлой и угловатой формы. Часть из них слабо выражена в обратно-рассеянных электронах. Химический состав алюмосиликатов существенно различается, что связано с их полиминеральным составом (табл. 1). Отметим включение с высоким содержанием K (13.12 масс. %), указывающее на присутствие калиевого полевого шпата (микроклина).

Включения пирита достаточно многочисленны, распределены в мергеле неравномерно. Характерны выделения округлой формы, размером до 50 мкм, состоящие из микронных кристаллов глобулярной формы (рис. 8, в–д). Присутствуют кристаллы с хорошо выраженным формами, отражающими кубический габитус пирита. Включения доломита немногочисленны, изометричной формы, со сложным контуром, размером до 50 мкм (рис. 8, в–д). Для мергеля характерны микропоры, расположенные по контурам включений. Крупные поры связаны с выкрашиванием стенок раковин и включений в процессе подготовки образца (рис. 8, в–д).

В мергеле расположены редкие нитевидные прожилки кальцита. Они имеют неровный контур и нечетко выраженный контакт с мергелем. При параллельных николях прожилки бесцветные, а в образце белого цвета (рис. 4, а, б, г). Прожилки кальцита образованы плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами изометричной, реже удлиненной формы с ровным угасанием, размером до 0.1 мм. При увеличении толщины прожилков увеличивается и размер кристаллов. Прожилки кальцита, пересекающие раковины аммонитов, в шлифе выражены крайне неотчетливо.

Контакт крупных прожилков с мергелем ровный, четко выражен, метасоматического замещения не наблюдается (рис. 4, г; 5, а–в). На границе с мергелем расположен тонкий около 0.5 мм, нечетко выраженный слой, выполненный плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами изометричной и слабо удлиненной формы. Размер кристаллов близок ширине слоя. На них нарастают без коррозии более крупные до 1 мм кристаллы. Кристаллы плотно сросшиеся, разноориентированные, сноповидной и кустовидной формы с веерным угасанием (рис. 5, б, в). Их образование связано с перекристаллизацией первоначальных

тонкопризматических кристаллов, выросших из единого центра кристаллизации. Описанные кристаллы образуют в образце просвечивающий, полупрозрачный слой коричневого цвета.

Центральная часть прожилка выполнена плотно сросшимися, разноориентированными, изометричными и удлиненными призматическими кристаллами, с ровным угасанием, размером до 2 мм (рис. 5, б). Они образованы на окончаниях кристаллов предыдущего слоя без коррозии и замещения. В результате контакт слоев зубчатый. В образце слой крупнокристаллического кальцита полупрозрачный, прозрачный, бесцветный.

Кальцит, выполняющий прожилок (рис. 8, е) из элементов-примесей содержит Mg – 1.81 масс.%. По химическому составу он близок к прозрачному бесцветному и полупрозрачному коричневому кальциту, выполняющему камеры раковин (табл. 4). Из минеральных включений в нем фиксируется пирит. Так же как и в мергеле, в прожилке наряду с мелкими (1–5 мкм) глобулярными включениями, присутствуют округлые со сложным контуром, размером до 15 мкм, и кристаллы кубического габитуса, размером около 6 мкм (рис. 8, е). В небольшом количестве присутствуют микропоры, расположенные по контурам кристаллов. Более крупные поры немногочисленны и связаны с выкрашиванием кальцита.

Пирит, расположенный в арагоните, кальциите и мергеле, элементов-примесей не содержит. В апатите фиксируются повышенные содержания F (в среднем 3.91 масс.%), что позволяет отнести его к фторапатиту. Из других элементов-примесей фиксируются в отдельных спектрах Mg – до 0.98 масс.%, и Na – до 0.24 масс.%. В доломите, расположенному в кальците, выполняющем камеры раковин, из элементов-примесей в отдельных спектрах фиксируются S – до 0.34 масс.%, и Na – до 0.84 масс.%. В доломите, расположенному в мергеле, из элементов-примесей фиксируются содержания, масс.%: Fe от 0.30 до 1.04, а в отдельных спектрах Si – до 0.42, Al – до 0.32, K – до 0.14, S – до 0.29 и Ti – до 0.11, что указывает на его ассоциацию с кварцем, алюмосиликатами, пиритом и минералами титана.

Последние исследования японских ученых детализировали процесс формирования карбонатных конкреций (включая и конкреции из графства Дорсет, Англия), а также определили скорости их образования [7]. Исследования показали, что карбонатные конкреции чаще шаровидной (иногда вытянутой) формы и встречаются в морских глинистых пористых породах различного возраста. Формирование конкреций происходит преимуще-

ственno путем роста минеральных агрегатов вокруг ядра-затравки. Затравками, имитирующими вокруг себя отложения карбонатов, могут служить органические остатки, в том числе и раковины аммонитов с фрагментами тел моллюсков. Процесс образования конкреции происходит сингенетично с осаждением вещества на морском дне на самых ранних стадиях диагенеза и очень быстро (от нескольких месяцев до нескольких лет), что приводит к консервации и хорошей сохранности раковин фоссилий.

Из проведенных исследований конкреций с раковинами аммонитов ювелирно-поделочного качества можно сделать ряд выводов. Раковины аммонитов высокой степени минерализации, выполнены кальцитом и известковым мергелем. Стенки и перегородки раковин сохраняют частично исходный арагонитовый состав. Арагонит замещается кальцитом с образованием тонких прожилков. Присутствуют включения пирита, фторапатита. Из элементов-примесей в арагоните фиксируются содержания Na, Sr.

Кристаллы кальцита, выполняющие неразрушенные гидростатические камеры, плотно сросшиеся, различного размера, морфологии, образуют слои различной структуры, прозрачности и цвета. Выполнение камер проходило последовательно, без метасоматического замещения и коррозии ранее образованных кристаллов. Наблюдаются перекристаллизация отдельных кристаллов с их укрупнением. В кальците установлены включения пирита, фторапатита, доломита. Из элементов-примесей фиксируются содержания: в полупрозрачном коричневом и прозрачном бесцветном Mg, а в непрозрачном коричневом Mg и Fe. Прозрачность кальцита определяется размером, морфологией кристаллов. Слои, образованные мелкими кристаллами, непрозрачные. Цвет кальцита определяется прозрачностью, цветом подложки, содержаниями Fe.

Известковый мергель тонкозернистый с пелитовой структурой. В нем установлены включения кварца, алюмосиликатов (включая микроклин), пирита, доломита, вероятно присутствие минералов титана, характерных для прибрежно-морских отложений. В кальците мергеля фиксируются содержания Mg и Fe. Светлые оттенки мергеля обусловлены большим количеством кальцита с более крупными кристаллами.

В мергеле присутствуют прожилки кальцита от тонких нитевидных до 4 мм. Прожилки образованы плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами. В более широких прожилках присутствуют и более крупные кристаллы. Рост кристал-

лов проходил одновременно от противоположных стенок с близкой скоростью, без метасоматического замещения мергеля. В кальците присутствуют немногочисленные мелкие включения пирита. Из элементов-примесей фиксируются содержания Mg.

* * *

Проведенные исследования конкреций с фоссилиями Англии и России позволяют рассматривать

их как новый вид высококачественного камнесамоцветного материала, позволяющего изготавливать широкий ассортимент изделий. Установленные минеральный и химический состав конкреций, факторы, определяющие декоративные и технологические характеристики, позволяют проводить их идентификацию, выбрать оптимальную технологию обработки, разработать методы облагораживания.

Литература / References

1. Петроценков Д.А. Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Ульяновской области. М., 2020. [Petrochenkov D.A. Interior and jewelry-ornamental ammonites of Ulyanovsk region. Moscow, 2020. (In Russ.).]
2. Петроценков Д.А. Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Европейской России. М., 2021. [Petrochenkov D.A. Interior and jewelry-ornamental ammonites of the European Russia. Moscow, 2021. (In Russ.).]
3. Буканов В.В. Цветные камни и коллекционные минералы. Энциклопедия. СПб., 2014. [Bukanov V.V. Colored Stones and Collectible Minerals. Encyclopedia. Sankt Petersburg, 2014. (In Russ.).]
4. Киевленко Е.А. Геология самоцветов. М., 2000. [Kiyvlenko E.A. Geology of Gems. Moscow, 2001. (In Russ.).]
5. Hart M. Dorset and East Devon Landscape and Geology. Crowood Press, 2009.
6. House M. Geology of the Dorset Coast. Geologists' Association Guide. Edinburgh: Scottish Academic Press for the Geologists' Association, 1989.
7. Yoshida H., Yamamoto K., Minami M. et al. Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. *Scientific Reports*. 2018; April: 1–9.

Jewelry and ornamental nodules of the county of Dorset, England. Mineral composition, gemological characteristics

D.A. Petrochenkov¹, E. Yu. Baraboshkin^{2,3}

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

² Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

³ Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Concretions with numerous fossil shells of jewelry and ornamental quality have recently appeared in the World market, including Russian one, and remain poorly studied gemologically. For the first time, the authors studied in detail concretions with ammonite shells from Dorset County, England, as a gemstone material. Concretions with a diameter of 5–10 cm, known as "coinstones" (coin + stones) in England, originate from the Lower Jurassic Sinemurian deposits. The conducted studies have established that they consist of calcite (88 wt.%) and auxiliary constituents: aragonite, ankerite, dolomite, pyrite, quartz, apatite, kaolinite, illite, FS. High Sr contents (0.0793 wt.%) are recorded in the impurity elements. Shells of small-sized ammonites belong to calcite mineral type. The walls and partitions retain partially aragonite. Unbroken hydrostatic and living chambers are filled by the lime marl. The marl of nodules and shells is fine-grained with a pelitic structure. It contains calcite veins of different sizes and structures. Concretions are characterized by high decorative properties and positive technological characteristics, which make it possible to produce a wide range of products, including jewelry.

Keywords: nodules, ammonites, Jurassic, gemstone raw materials, aragonite, calcite, England.