ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2024;(4):104-120
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 549:553.5 (571.63) DOI: 10.25018/0236_1493_2024_4_0_104

ДЕКОРАТИВНЫЕ И ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫЕ АММОНИТЫ НА КАРЬЕРЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ДЕТАЛЕЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ г. АРТЕМ, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ

Д.А. Петроченков[1], Е.Ю. Барабошкин[2], Д.Г. Федосеев[3]

[1] Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, Россия, e-mail: p-d-a@mail.ru
[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия
[3] Дальневосточный геологический институт. Дальневосточное отделение РАН (ДГИ ДО РАН), Владивосток, Россия

Аннотация: Проведено комплексное изучение аммонитов декоративного и ювелирно-поделочного качества, собранных на карьере строительных материалов и деталей, расположенном в окрестностях г. Артем (Приморский край). Аммониты происходят из отложений нижнего подъяруса оленекского яруса нижнего триаса. Проведенными исследованиями установлено, что аммониты состоят преимущественно из кальцита (более 80 мас. %). Раковины аммонитов высокой степени минерализации. Жилые и разрушенные камеры выполнены мергелем, неразрушенные гидростатические камеры – преимущественно кальцитом. В аммонитах установлены: кварц, альбит, иллит, хлорит, каолинит, доломит, апатит, сфалерит, пирит, сфен. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr и Ba. Исходный арагонит, образующий стенки и перегородки раковин, замещен кальцитом. По минеральному составу аммониты отнесены к кальцитовому типу. Минерализация раковин аммонитов проходила поэтапно с образованием последовательно расположенных слоев кальцита с различной структурой, окраской, размером и морфологией кристаллов, без их коррозии и замещения. Установлены геммологические характеристики аммонитов и факторы, их определяющие, которые необходимо учитывать при их обработке. Цвет кальцита определяется структурой, прозрачностью слоев, размером и морфологией кристаллов, цветом подложки, содержанием Fe и Mn. Аммониты характеризуются широким диапазоном размеров, высокой декоративностью и положительными технологическими и экологическими характеристиками. Они могут добываться попутно в процессе эксплуатации карьера без значительных материальных затрат.

Ключевые слова: ювелирное и поделочное сырье, декоративные коллекционные образцы, геммологические характеристики, месторождения строительных материалов, добыча, аммониты, арагонит, кальцит, Приморский край.

Для цитирования: *Петроченков Д. А., Барабошкин Е. Ю., Федосеев Д. Г.* Декоративные и ювелирно-поделочные аммониты на карьере строительных материалов и деталей в окрестностях г. Артем, Приморский край // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 4. – С. 104–120. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_4_0_104.

© Д.А. Петроченков, Е.Ю. Барабошкин, Д.Г. Федосеев. 2024.

Decorative and gem-quality ammonites at a quarry of raw materials for construction in the neighborhood of Artyom city, Primorye

D.A. Petrochenkov[1], E.Yu. Baraboshkin[2], D.G. Fedoseev[3]

[1] Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia, e-mail: p-d-a@mail.ru

[2] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

[3] Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Abstract: The integrated study is performed to analyze decorative and gem-quality ammonites at a quarry of raw materials for construction in the neighborhood of Artyom city, Primorye. Ammonites originate from the lower sub-stage of the Lower Triassic Olenek stage. The study shows that ammonites mostly consist of calcite (greater than 80 wt%). Ammonite shells feature a high degree of mineralization. The body and damaged chambers are composed of marl, and the undamaged hydrostatic chambers are mostly composed of calcite. Also, ammonites contain quartz, albite, illite, chlorite, kaolinite, dolomite, apatite, sphalerite, pyrite and sphene. Regarding impurities, there are increased contents of Sr and Ba. Initial aragonite forming the walls and partitions in the shells is replaced by calcite. Ammonites belong to calcite-type minerals. Mineralization of ammonite shells proceeded stage-wise, with formation of successive layers of calcite with crystals of different structure, color, size and morphology, and free from corrosion and replacement. The gemology-related characteristics of ammonites are determined, as well as the determinative factors which are to be taken into account during dressing. The color of calcite depends on the structure, transparency and morphology of crystals, on the color of the substrate, and on the content of Fe and Mn. Ammonites feature a wide range of sizes, high decorative quality, and beneficial ecological and processing characteristics. It is convenient to perform by-production of ammonites during quarrying, without high material inputs.

Key words: ornamental and gem-quality raw materials, decorative collectible samples, gemology-related characteristics, deposits of construction materials, mining, ammonite, aragonite, calcite, Primorye.

For citation: Petrochenkov D. A., Baraboshkin E. Yu., Fedoseev D. G. Decorative and gem-quality ammonites at a quarry of raw materials for construction in the neighborhood of Artyom city, Primorye. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(4):104-120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_4_0_104.

Введение

Аммониты наряду с жемчугом, перламутром, янтарем, окаменелым деревом входят в группу биоминеральных агрегатов [1—3]. Аммониты и изделия из них широко представлены на мировом рынке, включая российский [2]. Основными поставщиками аммонитов из зарубежных стран являются Мадагаскар [3—5], Марокко [6, 7], Канада [8—11]. В России аммониты декоративного и ювелирно-поделочного качества добываются в Ульяновской, Костромской, Нижегородской, Рязанской, Саратовской областях, в республиках Дагестан, Северная Осетия–Алания, Адыгея, Кабардино-Балкария, на севере Красноярского края [12—15]. Перспективными являются объекты на о. Сахалин [16]. По мнению авторов, представляют коммерческий интерес и

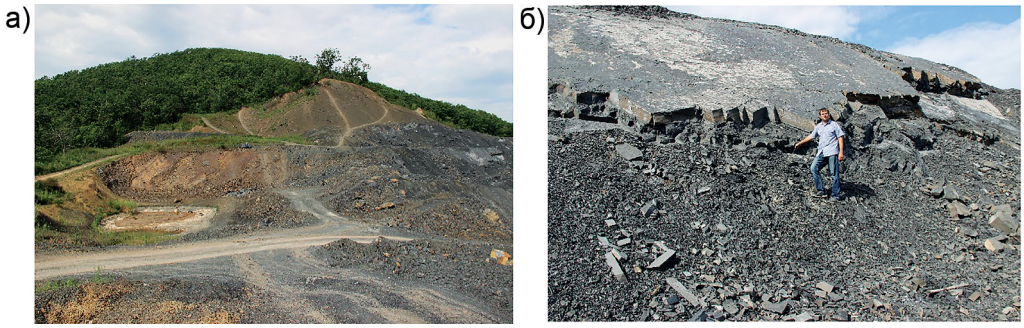


Рис. 1. Северный борт карьера, где встречаются аммониты и септарии ювелирно-поделочного качества (а); залегание слоев нижнего подъяруса оленекского яруса нижнего триаса и положение горизонта с аммонитами и септариями (указан автором) (б). Фото авторов

Fig. 1. The northern side of the quarry, where ammonites and septaries of jewelry and ornamental quality meet (a); the occurrence of layers of the lower sublayer of the Oleneksky tier of the Lower Triassic and the position of the horizon with ammonites and septaries (indicated by the author) (b). Photo of the authors

аммониты в карьере строительных материалов и деталей, расположенном в окрестностях г. Артем, в 7 км северо-восточнее железнодорожной станции Угловая в Приморском крае.

Последние годы карьер служит для добычи горной породы, которая используется при строительстве и ремонте автомобильных дорог (рис. 1). Коренная порода разрушается при помощи взрыва. Образующиеся в результате взрыва глыбы, щебень с песчаной и глинистой фракцией грузятся экскаватором в самосвалы и отвозятся к месту использования.

В процессе эксплуатации карьера в небольших количествах проводится сбор раковин аммонитов в качестве декоративных и коллекционных образцов (рис. 2, 3). Проведенные авторами исследования показали, что аммониты встречаются в карьере в значительных количествах и характеризуются высокой декоративностью, положительными технологическими характеристиками, позволяющими изготавливать широкий ассортимент изделий, включая ювелирные (см. рис. 4, 5).

Вместе с аммонитами встречаются в большом количестве септарии, которые также могут использоваться в качестве ювелирно-поделочного материала. К сожалению, в настоящее время они как ювелирно-поделочный материал практически не используются и оказывают-

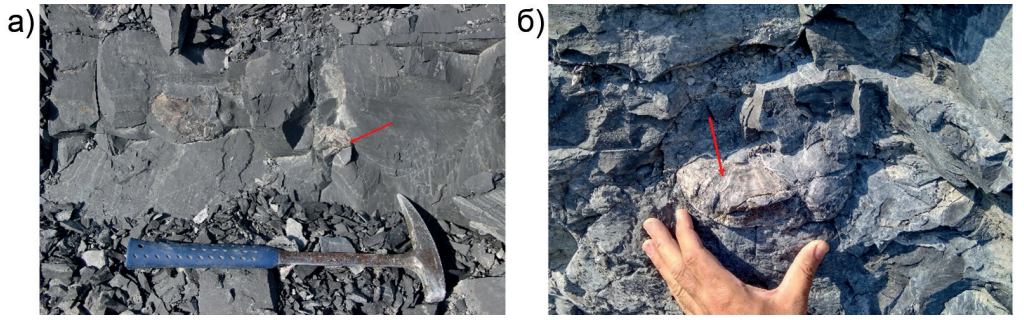


Рис. 2. Раковины аммонитов (указаны стрелками) в слое алевролитов (а) и конкреции, расположенные в том же слое (б). Фото авторов

Fig. 2. Ammonoid shells (indicated by arrows) in the siltstone layer (a) and concretions from in the same layer (b). Photo by the authors

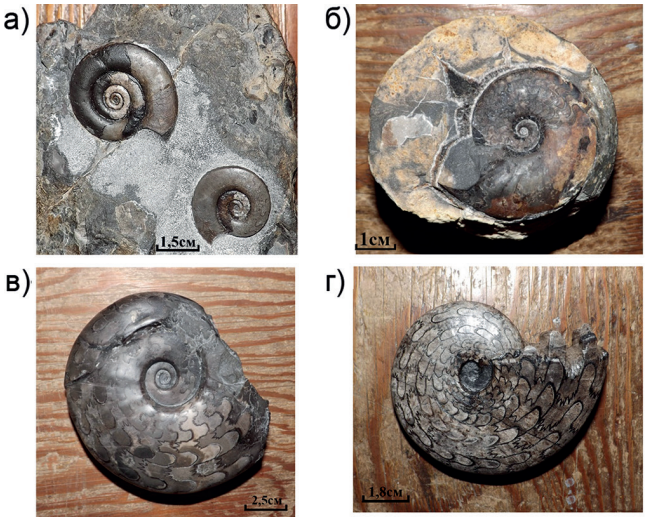


Рис. 3. Два аммонита Dieneroceras chaoi Kipar с жилой камерой (а); аммонит Vercherites subcristatum Kipar с жилой камерой (б); фрагмаконы Arctoceras septentrionale (Diener) с хорошо проявленными лопастными линиями (в, г). (фото И. Борисова, https://www.ammonit.ru/user/Primorskii.htm)

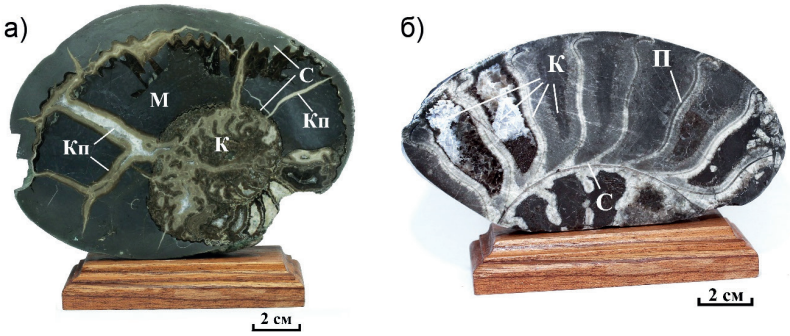
Fig. 3. Two ammonoids Dieneroceras chaoi Kipar with a living chamber (a); ammonoid Vercherites subcristatum Kipar with a residential chamber (b); phragmocones Arctoceras septentrionale (Diener) with well-developed suture lines (v, g). (photo by I. Borisov, https://www.ammonit.ru/user/Primorskii.htm)

ся в насыпи автомобильных дорог в раздробленном виде.

В статье впервые представлены результаты детальных минералого-геохимических, геммологических исследований аммонитов из карьера в качестве ювелирно-поделочного материала. Описаны их текстурные и структурные особенности, определяющие декоративные и технологические характеристики, проведена экологическая экспертиза.

Стратиграфическое положение аммонитов

Согласно современным представлениям, карьер расположен в Вознесен-



С – стенки и П – перегородки раковины, М – мергель и К – кальцит, выполняющие камеры, Кп – кальцитовые прожилки

Рис. 4. Продольные полированные спилы раковины аммонита с прожилками кальцита (а) и фрагмента крупной раковины (б). Коллекция авторов

Fig. 4. Longitudinal polished cuts of an ammonoid shell with veins of calcite (a) and a fragment of a large shell (b). Authors collection

Рис. 5. Кольцо (а) и кулон (б) с кабошонами аммонитов. Коллекция авторов

Fig. 5. Ring (a) and pendant (b) with ammonite cabochons. Collection of authors

ском террейне. Вознесенский террейн представляет фрагмент пассивной окраины океанического бассейна, закрывшегося, вероятно, в конце кембрия [17]. Террейн входит в состав Бурея-Сонгнен-Цзямусы-Ханкайского супертеррейна, который в свою очередь рассматривается в составе Центрально-Азиатского орогенного пояса [18—20].

В карьере вскрываются породы нижнего подъяруса оленекского яруса нижнего триаса (см. рис. 1, 2). Они представлены алевролитами, темно-серыми до черного аргиллитами с прослоями мелко- и тонкозернистых песчаников, их брекчиями, а также включениями известково-мергелистых конкреций [21].

Большой вклад в изучение триасовых аммоноидей Южного Приморья внес Ю.Д. Захаров, описав 90 видов и подтвердив данные о значительной фациальной изменчивости нижнего триаса [22]. В карьере установлено около 40 видов аммоноидей. Наиболее распространенными являются рода Dieneroceras sp., Arctoceras sp., Pseudosageceras sp. Среди редко встречающихся представителей можно назвать Shimanskyites shimanskyi, Gliptophiceras cf. sinuatum, Pseudosageceras multilobatum, Juvenites sp., Meekoceratidae [21]. Все аммониты имеют мономорфную раковину (см. рис. 3). По доминированию родов аммоноидей в подъярусе выделены три зоны: Mesohedenstroemia bosphorensis общей мощностью около 70 м, Anasibirites nevolini мощностью около 32 м и Shimanskyites shimanskyi мощностью около 132 м. Распределение аммонитов неравномерное. Чаще всего их скопления наблюдаются в виде узких (10—40 см) непротяженных линз, что облегчает их поиски (см. рис. 1, *б*).

Размер раковин аммонитов, как правило, не превышает 25—30 см. Они встречаются как непосредственно в породе, так и в известково-мергелистых конкрециях шаровидной и эллипсовидной формы (см. рис. 2). В конкрециях сохранность раковин существенно лучше. Таким образом, конкреции могут являться поисковым признаком, и на них в первую очередь необходимо ориентироваться при сборах аммонитов.

Методы исследований

Комплекс исследований аммонитов ювелирно-поделочного качества проведен в лабораториях МГРИ, ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ИГЕМ» РАН. Он включал определение микротвердости, плотности, люминесценции, оптико-петрографический анализ, определение минерального и химического состава, электронно-зондовые исследования.

Количественное определение химического состава аммонитов выполнено методом рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минераграфический анализ выполнен с использованием микроскопа «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 изуча-

лась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с λ = 254 и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализатором (РКФА) на дифрактометре «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Определение радиационных характеристик аммонитов проведено в лаборатории изотопных методов анализа ФГБУ «ВИМС» по аттестованной методике, внесенной в Реестр Росстандарта.

Геммологические характеристики аммонитов

Раковины аммонитов ювелирно-поделочного качества, рассматриваемые в работе, высокой степени минерализации. Жилые и разрушенные гидростатические камеры выполнены мергелем, неразрушенные гидростатические камеры — преимущественно кальцитом (см. рис. 4). Неминерализованные пустоты в раковинах аммонитов отсутствуют.

Жилые и разрушенные гидростатические камеры аммонитов, по данным РКФА, состоят из (мас. %): кальцит — 78,7; кварц — 8,1; плагиоклаз, представленный альбитом — 3,7; иллит — 4,3; хлорит — 3,0; доломит — 1,0; каолинит — 0,6; сфалерит — 0,4 и пирит — 0,2 (табл. 1). Арагонит, образующий исходные стенки и перегородки раковин

Таблица 1

Минеральный состав аммонитов по данным РКФА
Mineral composition of ammonites according to XRDA data

№ пробы	Характеристика	Минералы	Содержание, мас. %
ПА-1	Жилые и разрушенные гидростатические камеры, выполненные преимущественно мергелем	Кальцит Кварц Плагиоклаз (альбит) Иллит Хлорит Доломит Каолинит Сфалерит Пирит	78,7 8,1 3,7 4,3 3,0 1,0 0,6 0,4 0,2
ПА-2	Неразрушенные камеры, выполненные преимущественно кальцитом	Кальцит Доломит Пирит	97,2 2,7 0,1

Таблица 2

Химический состав аммонитов по данным РФА
Chemical composition of ammonites according to XRF data

№ пробы	Содержание компонента, мас. %											
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	$Fe_{общ}$	P_2O_5	$S_{общ}$	ППП*
ПА-1	0,21	1,07	3,75	14,11	0,62	43,57	0,20	0,40	1,59	0,19	0,23	33,56
ПА-2	0,06	1,07	0,29	0,07	0,03	54,21	0,02	0,52	0,63	0,11	0,01	42,53

* — потери при прокаливании

аммонитов, не фиксируется. По минеральному составу породу можно отнести к мергелю, в котором кварц, алюмосиликаты (плагиоклаз, иллит, хлорит, каолинит) представляют донный морской терригенный осадок, сцементированный кальцитом с включениями вновь образованных в процессе диагенеза доломита, сфалерита и пирита.

Данные РФА (см. табл. 2) подтверждают установленный РКФА минеральный состав. Сумма CaO и ППП составляет 77,13 мас. %, отражает преимущественно карбонатный состав породы. Высокие содержания SiO_2 и Al_2O_3 связаны с кварцем и алюмосиликатами. Повышенные содержания K_2O (0,62 мас. %) могут указывать на присутствие калиевого полевого шпата (КПШ); TiO_2 (0,20 мас. %) — минералов титана, характерных для прибрежно-морских отложений; P_2O_5 — апатита, постоянно присутствующего в аммонитах. Низкие содержания S (0,23 мас. %) при существенно более высоких содержаниях Fe (1,59 мас. %) указывают на низкие содержания пирита (0,2 мас. %) и концентрацию железа в других минералах.

Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr — 0,0220 мас. % и Ba — 0,0179 мас. %. В интервале 0,001 — 0,01 мас. % фиксируются: Cr, V, Ni, Cu, Zn, Rb, Zr, Y (табл. 3).

Неразрушенные гидростатические камеры выполнены преимущественно кальцитом — 97,2 мас. %. В значительном количестве присутствует доломит — 2,7 мас. %, фиксируются редкие включения пирита, составляющие 0,1 мас. % (см. табл. 1). Кальцитовый состав камер подтверждает сумма CaO и ППП (96,74 мас. %) и низкие содержания других элементов (табл. 2). Отметим относительно повышенные содержания MgO, MnO и Fe, которые могут входить в состав кальцита и доломита, а также P_2O_5, указывающие на присутствие апатита.

Из элементов-примесей фиксируются повышенные, как в мергеле, содержания Sr — 0,0276 мас. %, при сокращении других элементов. В интервале 0,001 — 0,01 мас. % фиксируются Ba, Cu, Zn (табл. 3).

Аммониты высокого декоративного качества находятся в известково-мергелистых конкрециях, часто в септариях. Их размер колеблется от 2 до 20 см. Крупные аммониты, как правило, не сохраняются и встречаются в виде фрагментов (см. рис. 2 — 4).

Перламутровый слой аммонитов в большинстве раковин не сохранился. Поверхность ядер серого, темно-серого цвета. Часто хорошо проявлены лопастные линии (рис. 3, *в*, *г*). Небольшие сохранившиеся фрагменты перламутрового слоя темно-серого, черного цвета. Черный цвет характерен для тонкого конхиолинового слоя, который часто замещается апатитом совместно с кальцитом [12]. На сколах перламутрового слоя по отчетливому блеску видны кристаллики кальцита размером 1 — 2 мм.

В полированных срезах аммонитов стенки и перегородки отчетливо видны (рис. 4). Толщина стенок в зависимости от размера аммонита от 0,2 до 1 мм, толщина перегородок — 0,1 — 0,4 мм. Стен-

Таблица 3

Содержание элементов-примесей в аммонитах по данным РФА
Concentration of minor elements of ammonites according to XRF data

№ пробы	Содержание элемента, мг/кг (x10^{-4} мас. %)													
	Cr	V	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	Zr	Y	U	Th	Pb	As
ПА-1	26	21	13	13	73	25	220	179	35	15	<5	<5	<10	<10
ПА-2	<10	<10	<10	13	27	<10	276	90	<10	<5	<5	<5	<10	<10

ки и перегородки непрозрачные, слабо просвечивающие, светло-серого, серого и коричневого до черного цвета. При распиловке они хорошо сохраняются и полируются до стеклянного блеска. Люминесценция стенок и перегородок не проявлена. Микротвердость изменяется в узком диапазоне и в среднем составляет 137 кг/мм^2.

Большинство камер аммонитов выполнено мелкозернистым мергелем преимущественно серого цвета (рис. 4, *а*). Присутствуют фрагменты с нечетко выраженными контурами более светлых оттенков. Мергель плотный, раскалывается с трудом с раковистым изломом, часто по прожилкам кальцита и поверхности стенок раковин. Плотность мергеля находится в узком диапазоне от 2,67 до 2,70 г/см^3. Микротвердость также находится в узком диапазоне и в среднем составляет 133 кг/мм^2. Люминесценция мергеля не наблюдается. Полируемость мергеля хорошая, но отдельные фрагменты имеют матовый блеск.

В неразрушенных и частично разрушенных камерах к стенкам и перегородкам примыкает непрозрачный слой кальцита белого, светло-серого цвета, шириной 1—2 мм. К первоначальному слою по мелкозубчатому контакту примыкает просвечивающий слой кальцита темно-коричневого, реже коричневого цвета, шириной 1—2 мм. Небольшие по размеру камеры могут быть выполнены этими слоями полностью. Центральные части крупных камер выполнены крупнокристаллическим просвечивающим, полупрозрачным кальцитом. Полупрозрачные фрагменты бесцветные, просвечивающие — белого цвета.

Текстура выполнения камер полосчатая. Для центральных частей камер характерна блочно-мозаичная, массивная текстура. Редко в небольших фрагментах встречается сферолитовая текстура. В отдельных камерах перегородки могут быть разрушены, а их фрагменты сцементированы кальцитом, образуя брекчиевую текстуру. Слои кальцита плотные, раскалываются с раковистым, неровным изломом. Плотность кальцита изменяется в узком диапазоне от 2,63 до 2,66 г/см^3. Микротвердость кальцита, в среднем, кг/мм^2: непрозрачного белого цвета, примыкающего к перегородкам — 131; просвечивающего коричневого цвета — 146; просвечивающего, полупрозрачного белого цвета, выполняющего центральные части камер — 112. Люминесценция в светло-желтых тонах слабо проявлена в непрозрачных белых слоях кальцита. Кальцит хорошо полируется до стеклянного блеска. В отдельных фрагментах наблюдается выкрашивание полупрозрачного бесцветного кальцита, выполняющего центральные части камер.

В раковинах аммонитов, расположенных в конкрециях, присутствует достаточно большое количество микропрожилков и микротрещин. Микропрожилки кальцита белого, реже серого цвета, могут пересекать стенки, перегородки, камеры, выполненные кальцитом и мергелем. Это указывает на их более позднее образование. В камерах аммонитов, выполненных мергелем, присутствуют редкие кристаллики пирита размером менее 0,1 мм. В отдельных аммонитах, расположенных в септариях, количество кристалликов пирита, размер которых также не превышает 0,1 мм, значительно больше. Они образуют выделения до 3 мм, прерывистые цепочки, как в мергеле, так и в кальците. Характерны тонкие (около 0,1 мм) прерывистые слои пирита вдоль стенок и перегородок.

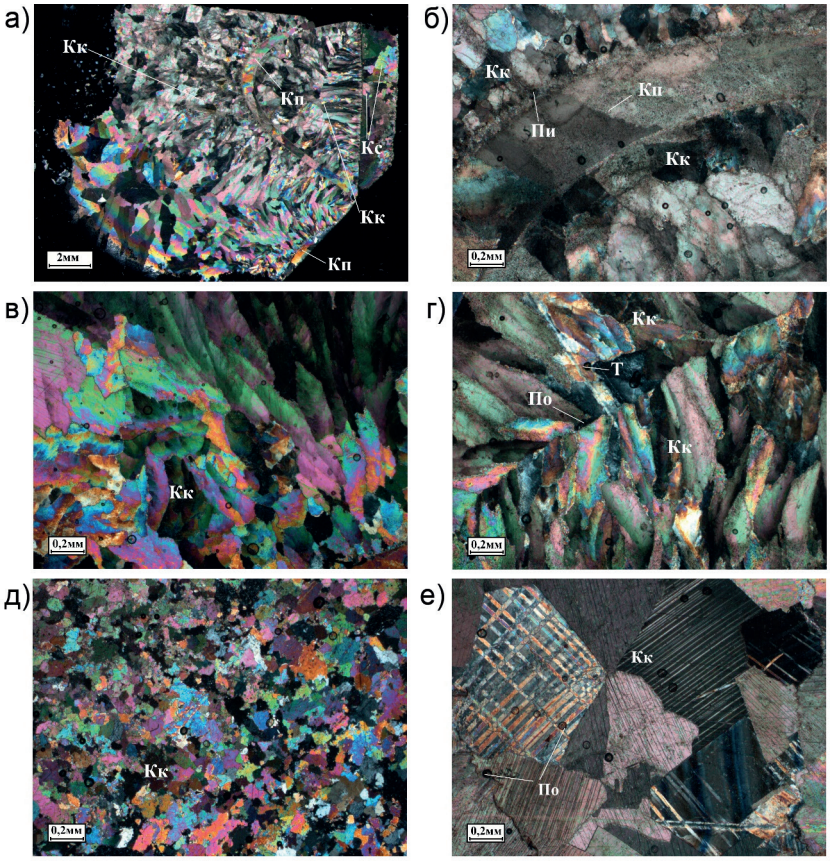
Оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования

Изучены прозрачные шлифы (рис. 6) и аншлиф (рис. 7, 8) фрагментов аммо-

нитов, отражающие основные декоративные и технологические типы.

Стенки и перегородки в шлифе отчетливо проявлены и выполнены кальцитом (рис. 6, *а*, *б*). При параллельных николях кальцит светло-коричневого цвета. Стенки выполнены плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами изометричной и удлиненной сложной призматической формы, с ровным угасанием, размером 0,2—1,0 мм. Кристаллы ориентированы как вдоль, так и поперек стенки, в крупных из них четко выражена спайность в одном и двух направлениях. В кальците присутствует тонкодисперсная редкая вкрапленность пирита, расположенная в микротрещинках и микропорах, что указывает на его более позднее образование. Количество пор незначительно, а их размер не превышает 0,05 мм.

Перегородки также выполнены плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами кальцита, изометричной и удлиненной призматической формы, с ровным угасанием, размером от 0,05



Кс, Кп, Кк – кальцит, выполняющий стенку, перегородки и камеры; Пи – пирит; По – поры; Т – трещина, минерализованная кальцитом

Рис. 6. Прозрачные шлифы фрагментов аммонита, включающие стенку, перегородки, гидростатические камеры, выполненные кальцитом различной структуры, размера, прозрачности и цвета (а—е). Николи — X

Fig. 6. Thin sections of ammonoid fragments, including a wall, partitions, hydrostatic chambers made of calcite of various structure, size, transparency and color (a–e). Nicoli — X

до 0,5 мм (рис. 6, *а*, *б*). Крупные кристаллы занимают всю толщину перегородки и ориентированы вдоль нее. Микровключения пирита и микропоры в кальците единичны.

К стенке с ровным четко выраженным контактом примыкает слой кальцита шириной 1,7 мм, образованный плотно сросшимися, тонкопризматическими сильно удлиненными кристаллами (см. рис. 6, *а*). Кристаллы ориентированы перпендикулярно стенке. На контакте со стенкой расположены кристаллики кальцита размером не менее 0,1 мм, а также цепочки микровключений пирита, микропоры.

На контакте с перегородками расположены кристаллы плотно сросшиеся, разноориентированные изометричной формы, размером 0,1 — 0,5 мм с ровным угасанием. Преобладают более мелкие кристаллы (рис. 6, *а*, *б*). Микропоры и микровключения пирита единичны.

С удалением от стенки и перегородок размер кристаллов увеличивается. Преобладают удлиненные и сильно удлиненные кристаллы размером до 1 мм по удлинению, с ровным угасанием. Присутствуют и относительно крупные кристаллы с веерным угасанием, образованные в результате перекристаллизации более мелких. Кристаллы плотно сросшиеся, разноориентированные, количество микропор и микровключений пирита незначительно. Контакт кристаллов, растущих от противоположных перегородок, в небольших по размеру камерах происходит в их центральных частях, по четко выраженной относительно ровной линии (рис. 6, *г*).

Центральные части крупных камер выполнены разноразмерными плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами, с ровным угасанием, изометричной и удлиненной формы со сложным контуром. Преобладают крупные кристаллы до 2,5 мм. В них хорошо проявлена спайность в двух направлениях (рис. 6, *в*, *е*). В отдельных кристаллах присутствуют многочисленные микровключения пирита, оказывающие влияние на их окраску. В крупных кристаллах присутствуют поры, размером 0,2 — 0,5 мм, связанные с выкрашиванием по их спайности при подготовке шлифа.

Частично разрушенные камеры выполнены плотно сросшимися, разноориентированными кристаллами кальцита изометричной формы со сложным контуром, с ровным угасанием, размером 0,05 — 0,15 мм (рис. 6, *д*). Наиболее крупные кристаллы образованы в результате перекристаллизации мелких. В камерах присутствуют небольшие фрагменты перегородок и мергеля. Перегородки выполнены полностью кальцитом, аналогичным вышеописанному. Мергель тонкозернистый с пелитовой структурой. Поры и включения пирита немногочисленны, а их размер преимущественно микронный.

В аммоните присутствует большое количество однонаправленных минерализованных кальцитом микротрещин, что указывает на этап их деформации. Микротрещины пересекают перегородки, но не пересекают стенку. Минерализация трещин осуществлялась преимущественно в результате регенерации исходных расколотых кристаллов (рис. 6, *г*).

Структура кальцита (рис. 7) в ОРЭ не проявлена, а стенка, перегородки и различно окрашенные слои выражены неотчетливо (рис. 8). По данным РСМА, кальцит, выполняющий стенку и перегородки из элементов примесей, содержит в среднем, мас. %: Mg — 0,05, Mn — 0,78 и Fe — 0,20; в одном спектре фиксируется Na — 0,20 (табл. 4). Кальцит непрозрачный белого цвета, примыкающий к стенке и перегородкам, содержит в среднем, мас. %: Mg — 0,94, Mn — 0,21, Fe — 0,08. Для него характерны относительно высокие содер-

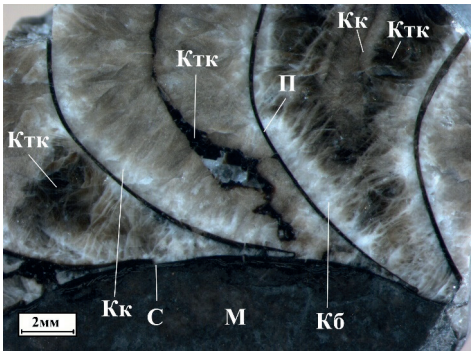


Рис. 7. Аншлиф фрагмента аммонита, включающего стенку (С), перегородки (П), камеры, выполненные мергелем (М) и кальцитом различной прозрачности и цвета: непрозрачный, белый (Кб), непрозрачный коричневый (Кк), просвечивающий темно-коричневый (Ктк)

Fig. 7. Polished section of an ammonoid fragment, including a wall (C), partitions (П), chambers made of marl (M) and calcite of various transparency and color: opaque, white (Кб), opaque brown (Кк), translucent dark brown (Ктк)

жания Mg и низкие Mn и Fe. Высокие содержания Mg, которые распределены неравномерно, могут быть связаны с микровключениями доломита, установленного РКФА (см. табл. 1).

Кальцит, образующий непрозрачные слои коричневого цвета, из элементов примесей содержат в среднем, мас. %: Mg — 0,07, Mn — 1,02 и Fe — 0,87; в отдельных спектрах фиксируется Na — до 0,12. Кальцит, образующий просвечивающие слои темно-коричневого цвета, из элементов-примесей содержит в среднем, мас. %: Mg — 0,73, Mn — 0,59, Fe — 1,20 (см. табл. 4); в отдельных спектрах фиксируются Na — до 0,19, и S — до 1,22. Высокие содержания Fe коррелируют с содержаниями S, что указывает на попадание в спектр микровключений пирита. Таким образом, слои кальцита, выполняющие неразрушенные гидростатические камеры, различающиеся по структуре и окраске, характеризуются различными содержаниями элементов-примесей (см. табл. 4). Они отличаются по содержанию элементов-примесей и от кальцита, выполняющего стенки и перегородки.

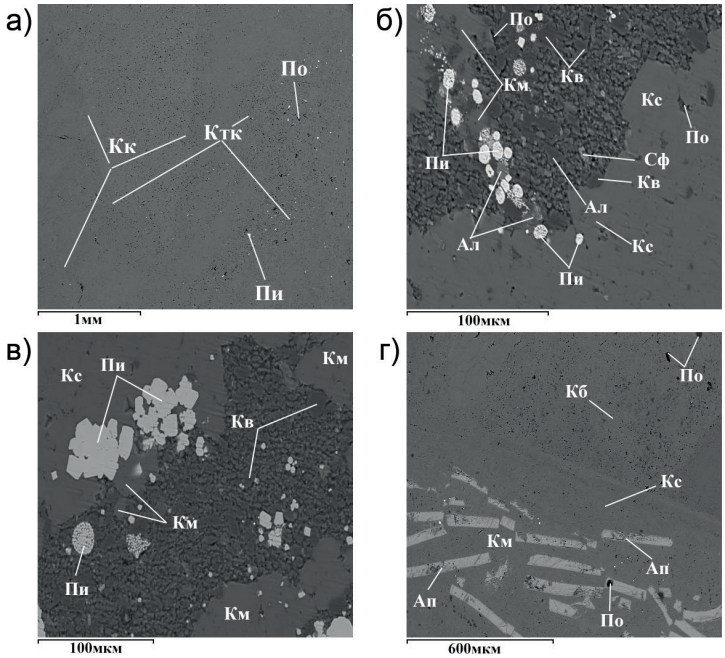
Из минеральных включений в кальците в небольшом количестве присутствует пирит. В стенке встречаются редкие включения пирита округлой формы размером до 5 мкм, выполняющие поры. В кальците, выполняющем камеры, пирит образует микронную вкраплен-

Таблица 4

Химический состав кальцита в аммоните по данным РСМА
Chemical composition of calcite in ammonite according to XSMA data

Характеристика кальцита	Содержание элемента, мас. %				
	Mg	Mn	Fe	Ca	O
Стенки и перегородки (5)*	0,00 — 0,11** / 0,05	0,72 — 1,22 / 0,78	0,11 — 0,31 / 0,20	35,37 — 37,43 / 36,61	44,67 — 46,23 / 45,69
Камеры:					
непрозрачный белый (8),	0,42 — 1,50 / 0,94	0,11 — 0,40 / 0,21	0,00 — 0,12 / 0,08	36,05 — 37,21 / 36,55	44,55 — 46,68 / 45,75
непрозрачный коричневый (6),	0,00 — 0,12 / 0,07	0,86 — 1,16 / 1,02	0,71 — 1,11 / 0,87	35,55 — 36,25 / 35,80	44,73 — 46,77 / 45,60
просвечивающий темно-коричневый (5)	0,62 — 0,90 / 0,73	0,50 — 0,69 / 0,59	0,80 — 1,86 / 1,20	35,09 — 35,59 / 35,41	45,63 — 47,91 / 46,32
Мергель (5)	0,00 — 0,16 / 0,07	0,54 — 0,70 / 0,59	0,21 — 0,57 / 0,37	35,57 — 36,50 / 36,08	45,06 — 46,26 / 45,96

* — число спектров; ** — над чертой крайние значения, под чертой — средние.



Км — кальцит, выполняющий мергель; Кв — кварц; Ал — алюмосиликаты; Сф — сфен; Пи — пирит, Ап — апатит, выполняющий биокласты, По — поры

Рис. 8. Фрагменты аммонита (см. рис. 7), включающие стенку, выполненную кальцитом (Кс); камеры, выполненные мергелем и кальцитом различной прозрачности и цвета: непрозрачный белый (Кб), непрозрачный коричневый (Кк), просвечивающий темно-коричневый (Ктк). Микрозонд, ОРЭ

Fig. 8. Fragments of ammonoid (Fig. 7) including a wall made of calcite (Кс); chambers filled by marl and calcite of different transparency and color: opaque white (Кб), opaque brown (Кк), translucent dark brown (Ктк). Microprobe, ORE

ность, расположенную в просвечивающем кальците темно-коричневого цвета (рис. 8, *б*, *в*).

В стенке и перегородках количество пор незначительно, и они имеют микронный размер. В кальците, выполняющем камеры, поры распределены неравномерно. В относительно большем количестве они присутствуют в непрозрачном кальците белого цвета, примыкающем к стенке и перегородкам, а также в просвечивающем темно-коричневом. Размер пор достигает 20 мкм (рис. 8). В целом количество пор в кальците невелико, микротрещинки отсутствуют, что обеспечивает высокое качество полировки.

В мергеле установлены включения кварца, алюмосиликатов, сфена, пирита, биокластов, сцементированных кальцитом (рис. 8, *б–г*). Включения кварца изометричной и удлиненной призматической формы, размером до 20 мкм (рис. 8, *б*, *в*). Алюмосиликаты имеют округлую, угловатую призматическую форму и размер до 15 мкм. По высокому содержанию Na (7,31 мас. %) установлен альбит. Выделяются железистые алюмосиликаты с содержанием Fe от 4,77 до 7,81 мас. %, высоким содержанием Ca от 16,49 до 18,65 мас. %, при отсутствии K и Na. Учитывая, что, по данным РКФА (см. табл. 1), в мергеле присутствуют хлорит и иллит, можно предположить их железистые разновидности — шамозит и глауконит. Включение сфена — призматической удлиненной формы, размером 10 мкм (см. рис. 8, *б*). Вдоль стенки сконцентриро-

ваны биокласты размером 60×400 мкм, выполненные апатитом. Часть из них разрушена, коррозирована (рис. 8, *г*).

Кальцит в мергеле тонкозернистый, образует мономинеральные выделения сложной формы, размером до 100 мкм, выполняет микротрещинки (рис. 8, *б*, *в*). Из элементов-примесей в нем фиксируются содержания, в среднем (мас. %): Mg — 0,07, Mn — 0,59 и Fe — 0,37 (см. табл. 4). В отдельных спектрах фиксируются высокие содержания Fe в сочетании с высокими содержаниями S, указывающие на микровключения пирита; высокие содержания Si с повышенными содержаниями Al, K, Na, связанными с кварцем и алюмосиликатами.

Включения пирита достаточно многочисленны. Преобладают включения микронного (1—5 мкм) размера глобулярной формы. Характерны скопления включений микронного размера, образующие выделения округлой формы размером до 30 мкм, а также более крупные выделения до 60 мкм, в которых кристаллы пирита кубического габитуса (рис. 8, *б*, *в*). Пирит концентрируется преимущественно вдоль стенки, в прожилках кальцита, в порах, что указывает на его более позднее образование. Несомненно, образование пирита происходило и на начальных стадиях минерализации раковин аммонитов.

Поры в мергеле достаточно частые, имеют микронный размер и расположены по контурам кристаллов (рис. 8, *б*, *в*). Более крупные достигают 20 мкм и встречаются достаточно редко (рис. 8, *г*).

Из проведенных оптико-петрографических и электронно-зондовых исследований можно сделать ряд выводов. Минерализация раковин аммонитов проходила поэтапно с образованием последовательно расположенных слоев кальцита различной структуры, размера и морфологии кристаллов, без их коррозии и замещения. Образование кристаллов кальцита в камерах начиналось из центров кристаллизации, расположенных на стенках и перегородках, а затем на образованных слоях. Рост кристаллов проходил одновременно с близкой скоростью. В результате соединение слоев происходило в центральных частях камер небольшого размера. Свободное пространство в центральных частях относительно крупных камер выполнялось в результате одновременной кристаллизации кальцита из многочисленных, разноориентированных центров кристаллизации. Присутствует частичная перекристаллизация кристаллов с их укрупнением. Исходный арагонит стенок и перегородок полностью замещен кальцитом. Размер кристаллов достиг их толщины.

Образование пирита проходило на различных этапах минерализации камер. Пирит образует тонкие слои вдоль стенок и перегородок, но преимущественно занимает поры и микротрещинки. После минерализации раковин аммонитов произошла их деформация с образованием тонких трещин, которые в дальнейшем были выполнены кальцитом. Небольшое количество неминерализованных микротрещин может быть связано с взрывными работами, проводимыми в процессе отработки карьера.

Установлены включения железистых алюмосиликатов, сфена, апатита, который выполняет биокласты; особенности химического состава основных минералов, выполняющих раковины аммонитов; размер и морфология кристаллов. В кальците установлены элементы-примеси, содержания которых различаются в различных по структуре и окраске слоях, а также в стенке, перегородках и мергеле. Цвет кальцита определяется структурой и прозрачностью слоев, цветом подложки, включениями пирита, насыщенностью микропорами, содержаниями Mn и Fe. Светлые оттенки мерге-

ля связаны с большей насыщенностью кальцитом с более крупными кристаллами и меньшим количеством микропор. Присутствие в мергеле мягких минералов (хлорит, иллит, каолинит), которые составляют 7,9 мас. %, и большого количества микропор осложняют его полировку. Эти факторы необходимо учитывать при обработке аммонитов.

Экологическая оценка аммонитов

Ювелирные и интерьерные изделия из аммонитов непосредственно находятся в соприкосновении с человеком, что обуславливает повышенные требования к их экологическим характеристикам. Экологическая оценка аммонитов из карьера в качестве ювелирно-поделочного материала ранее не проводилась.

Нормативные документы по допустимым содержаниям канцерогенных элементов для ювелирных и интерьерных изделий из природного камня в настоящее время не утверждены. В связи с этим были использованы общие требования безопасности к игрушкам (ГОСТ ИСО 8124-3-2001, редакция от 2006.06.01). По данным РФА (см. табл. 3), в аммонитах не установлены значимые содержания канцерогенных элементов, включая As и Pb, что позволяет использовать их по этому показателю без ограничения.

Проведены испытания радиационных характеристик аммонитов. Удельная активность радионуклидов составила, Бк/кг: ^{226}Ra⩽20, ^{228}Ra⩽20, ^{224}Ra⩽20, ^{232}Th⩽20, ^{40}K — 13, ^{137}Cs⩽10, а $A_{эфф}$ — 56. Испытания показали, что аммониты удовлетворяют требованиям ($A_{эфф}$ < 740 Бк/кг) СП 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников излучения», п. 4.5.1: «…изделия художественных промыслов и предметов интерьера из природного камня…», что допускает использование их без ограничения по радиационному фактору. Содержание радиоактивных элементов U и Th по данным РФА ниже чувствительности метода (см. табл. 3), что подтверждает сделанный вывод.

Выводы

Аммониты из карьера строительных материалов в окрестностях г. Артем характеризуются широким диапазоном размеров, высокой декоративностью и положительными технологическими и экологическими характеристиками, что позволяет использовать их в качестве декоративных коллекционных образцов, а также изготавливать широкий ассортимент сувенирных и ювелирных изделий. В процессе разработки карьера постоянно образуется крупноглыбовый материал и новые обнажения, что позволяет попутно добывать большой объем высококачественного декоративного и ювелирно-поделочного материала, без значительных материальных затрат. Эксплуатация карьера проводится с низкой интенсивностью, что позволяет проводить добычу попутного полезного ископаемого, не нарушая технологический процесс. Аналогичные аммониты интерьерного и ювелирно-поделочного качества оленекского яруса нижнего триаса могут встречаться и в других местах Приморского края, что позволяет существенно расширить их ресурсы.

Авторы надеются, что данная статья, как и ранее опубликованные, послужит толчком к комплексному изучению объектов с аммонитами в качестве полезного ископаемого — ювелирно-поделочного сырья, активному вовлечению их в освоение, в том числе из карьеров по добыче строительных материалов и для строительства инженерных сооружений.

Работа выполнена в рамках тематического госзадания МГУ имени М.В. Ломоносова с использованием оборудования, приобретенного по программе развития МГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Киевленко Е. А.* Геология самоцветов. — М.: Земля: Ассоциация «Экост», 2001. — 582 с.

2. *Петроченков Д. А.*, *Быховский Л. З.* Ювелирно-поделочные аммониты: проблемы оценки и перспективы добычи // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2018. — № 4. — С. 15—22.

3. *Киевленко Е. В.*, *Чупров В. И.*, *Драмшева Е. Е.* Декоративные коллекционные минералы. — М.: Недра, 1987. — 223 с.

4. *Walaszczyk L., Kennedy W. J., Dembicz K., Gale A. S., Praszlier T., Rasoamiaramanana A. H., Randrianaly H.* Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through Basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondova Basin, Western Madagascar // Journal of African Earth Sciences. 2014, vol. 89, pp. 79—132. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2013.10.007.

5. *Zakharov Y. D.*, *Tanabe K.*, *Shigeta Y.*, *Safronov P. P.*, *Smyshlyaeva O. P.*, *Dpil S. I.* Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data // Cretaceous Reserch. 2016, vol. 58, pp. 29—41. DOI: 10.1016/j.cretres.2015.08.014.

6. *Bockwinkel J., Becker R. T., Ebbighausen V.* Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) // Fossil Record. 2013, vol. 16, no. 1, pp. 5—65. DOI: 10.1002/mmng.201300001.

7. *Bourilot R., Neige P., Pierre A.* Early-middle Jurassic Lytoceratid ammonites with constrictions from Morocco: paleobiogeographical and evolutionary implications // Paleotology. 2008, vol. 51, no. 3, pp. 597—609. DOI: 10.1111/j.1475-4983.2008.00766.x.

8. *Mychaluk K.*, *Zevinson A.*, *Russel H.* Ammolite: Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. 2001, vol. 37, no. 1, pp. 4—25. DOI: 10.5741/GEMS.37.1.4.

9. *Mychaluk K.* Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. 2009, vol. 45, no. 3, pp. 192—196. DOI: 10.5741/GEMS.45.3.192.

10. *Mantindale R. C.*, *Them T. R.*, *Gill B. C.*, *Marroguin S. M.*, *Knoll A. H.* A new Early Jurassic (ca. 183 Ma) fossil Lagerstatte from Ya Ha Tinda, Alberta, Canada // Geology. 2017, vol. 45, no. 3, pp. 255—258. DOI: 10.1130/G38808.1.

11. *Poulton T. P.*, *Hall R. L.* Probable Early Callovian ammonite horizons from northwestern British Columbia Canada // Journal of South American Earth Sciences. 2019, vol. 95, pp. 412—428. DOI: 10.1016/j.jsames.2019.102214.

12. *Петроченков Д. А.* Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Европейской России. — М.: Изд-во «Горная книга», 2021. — 257 с.

13. *Снежко В. А.*, *Богданова Т. Н.*, *Снежко В. В.* Нижнемеловые отложения центральной и восточной части северного склона Большого Кавказа (палеонтологическое и литологическое сопоставление) // Региональная геология и металлогения. — 2018. — № 74. — С. 59—70.

14. *Radko V. A.*, *Ananyev S. A.*, *Petrochenkov D. A.* Iridescent ammonite fossil shell material from Norilsk, Krasnoyarsk Krai, Russia // The Journal of Gemmology. 2021, vol. 37, no. 6, pp. 608—617. DOI: 10.15506/JoG.2021.37.6.608.

15. *Барабошкин Е. Ю.*, *Петроченков Д. А.* Минеральный состав и стратиграфическое положение интерьерно-ювелирных раковин аммонитов из отложений среднего апта Республики Северная Осетия-Алания // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. — 2022. — Т. 97. — № 3. — С. 34—46.

16. *Матюшков Г. В.*, *Соловьев А. В.*, *Мельников О. А.* Геологическое прошлое острова Сахалин. — Южно-Сахалинск: ГБУК «Сахалинский областной краеведческий музей», 2014. — 124 с.

17. *Ханчук А. И.*, *Аленичева А. А.*, *Голозубов В. В.*, *Кандауров А. Т.*, *Юрченко Ю. Ю.*, *Сергеев С. А.* Хинкайский массив: Гетерогенность фундамента и региональные корреляции // Тихоокеанская геология. — 2022. — Т. 41. — № 4. — С. 3—22.

18. *Ge M. H., Li L., Wang T., Zhang J., Tong Y., Guo L., Liu K., Fend L., Song P., Yuan J. G.* Hf isotopic mapping of the Paleozoic-Mezozoic granitoids from the Jiamusi and Songnen Blocks, NE China: Implications for their tectonic division and juvenile continental crustal growth // Lithos. 2021, vol. 386—387, no. 3, article 106048. DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106048.

19. *Liu Y., Li W., Ma Y., Feng Z., Guan Q., Li S., Chen Z., Liang C., Wen Q.* An orocline in the eastern Central Asian Orogenic Belt // Earth-Science Reviews. 2021, vol. 221, article 103808. DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103808.

20. *Luan J. P.*, *Yu J. J.*, *Yu J. L.*, *Cui Y. C.*, *Xu W. L.* Early Neoprotero-zoic magmatism and the associated metamorphism in the Songnen Massif, NE China: petrogenesis and tectonic implications // Precambrian Research. 2019, vol. 328, pp. 250—268. DOI: 10.1016/j.precamres.2019.04.004.

21. *Смышляева О. П.*, *Захаров Ю. Д.*, *Попов А. М.*, *Бондаренко Л. Г.*, *Борисов И. В.* Стратиграфические подразделения нижнего триаса южного приморья. Статья 3. Первые находки Euflimengites Prynadai и Shimankyites Shimanskyi (Ammonoidea) в разрезе СМИД // Тихоокеанская геология. — 2018. — Т. 37. — № 6. — С. 21—38.

22. *Захаров Д. Ю.* Биостратиграфия и аммоноидеи нижнего триаса Южного Приморья. — М.: Наука, 1968. — 175 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Kievlenko E. A. *Geologiya samotsvetov* [Geology of gems], Moscow, Zemlya: Assotsiatsiya «Ekost», 2001, 582 p.

2. Petrochenkov D. A., Bykhovsky L. Z. Jewelry and ornamental ammonites: problems of evaluation and prospects of extraction. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2018, no. 4, pp. 15—22. [In Russ].

3. Kievlenko E. V., Chuprov V. I., Dramsheva E. E. *Dekorativnye kollektsionnye mineraly* [Decorative collectible minerals], Moscow, Nedra, 1987, 223 p.

4. Walaszczyk L., Kennedy W. J., Dembicz K., Gale A. S., Praszlier T., Rasoamiaramanana A. H., Randrianaly H. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through Basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondova Basin, Western Madagascar. *Journal of African Earth Sciences*. 2014, vol. 89, pp. 79—132. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2013.10.007.

5. Zakharov Y. D., Tanabe K., Shigeta Y., Safronov P. P., Smyshlyaeva O. P., Dpil S. I. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data. *Cretaceous Reserch*. 2016, vol. 58, pp. 29—41. DOI: 10.1016/j.cretres.2015.08.014.

6. Bockwinkel J., Becker R. T., Ebbighausen V. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco). *Fossil Record*. 2013, vol. 16, no. 1, pp. 5—65. DOI: 10.1002/mmng.201300001.

7. Bourilot R., Neige P., Pierre A. Early-middle Jurassic Lytoceratid ammonites with constrictions from Morocco: paleobiogeographical and evolutionary implications. *Paleotology*. 2008, vol. 51, no. 3, pp. 597—609. DOI: 10.1111/j.1475-4983.2008.00766.x.

8. Mychaluk K., Zevinson A., Russel H. Ammolite: Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada. *Gems & Gemology*. 2001, vol. 37, no. 1, pp. 4—25. DOI: 10.5741/GEMS.37.1.4.

9. Mychaluk K. Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada. *Gems & Gemology*. 2009, vol. 45, no. 3, pp. 192—196. DOI: 10.5741/GEMS.45.3.192.

10. Mantindale R. C., Them T. R., Gill B. C., Marroguin S. M., Knoll A. H. A new Early Jurassic (ca. 183 Ma) fossil Lagerstatte from Ya Ha Tinda, Alberta, Canada. *Geology*. 2017, vol. 45, no. 3, pp. 255—258. DOI: 10.1130/G38808.1.

11. Poulton T. P., Hall R. L. Probable Early Callovian ammonite horizons from northwestern British Columbia Canada. *Journal of South American Earth Sciences*. 2019, vol. 95, pp. 412—428. DOI: 10.1016/j.jsames.2019.102214.

12. Petrochenkov D. A. *Inter'ernye i yuvelirno-podelochnye ammonity Evropeyskoy Rossii* [Interior and jewelry-ornamental ammonites of European Russia], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2021, 257 p.

13. Snezhko V. A., Bogdanova T. N., Snezhko V. V. Lower Cretaceous deposits of the central and eastern part of the northern slope of the Greater Caucasus (paleontological and lithological comparison). *Regional Geology and Metallogeny*. 2018, no. 74, pp. 59—70. [In Russ].

14. Radko V. A., Ananyev S. A., Petrochenkov D. A. Iridescent ammonite fossil shell material from Norilsk, Krasnoyarsk Krai, Russia. *The Journal of Gemmology*. 2021, vol. 37, no. 6, pp. 608—617. DOI: 10.15506/JoG.2021.37.6.608.

15. Baraboshkin E. Yu., Petrochenkov D. A. Mineral composition and stratigraphic position of interior jewelry shells of ammonites from deposits of the Middle Aptian of the Republic of North Ossetia–Alania. *Bulletin of Moscow society of naturalists. Geological series*. 2022, vol. 97, no. 3, pp. 34—46. [In Russ].

16. Matyushkov G. V., Solov'ev A. V., Mel'nikov O. A. *Geologicheskoe proshloe ostrova Sakhalin* [Geological past of Sakhalin Island], Yuzhno-Sakhalinsk, GBUK «Sakhalinskiy oblastnoy kraevedcheskiy muzey», 2014, 124 p.

17. Khanchuk A. I., Alenicheva A. A., Golozubov V. V., Kandaurov A. T., Yurchenko Yu. Yu., Sergeev S. A. Khankai massif: Heterogeneity of the foundation and regional correlations. *Pacific Geology*. 2022, vol. 41, no. 4, pp. 3—22. [In Russ].

18. Ge M. H., Li L., Wang T., Zhang J., Tong Y., Guo L., Liu K., Fend L., Song P., Yuan J. G. Hf isotopic mapping of the Paleozoic-Mezozoic granitoids from the Jiamusi and Songnen Blocks, NE China: Implications for their tectonic division and juvenile continental crustal growth. *Lithos*. 2021, vol. 386—387, no. 3, article 106048. DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106048.

19. Liu Y., Li W., Ma Y., Feng Z., Guan Q., Li S., Chen Z., Liang C., Wen Q. An orocline in the eastern Central Asian Orogenic Belt. *Earth-Science Reviews*. 2021, vol. 221, article 103808. DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103808.

20. Luan J. P., Yu J. J., Yu J. L., Cui Y. C., Xu W. L. Early Neoprotero-zoic magmatism and the associated metamorphism in the Songnen Massif, NE China: petrogenesis and tectonic implications. *Precambrian Research*. 2019, vol. 328, pp. 250—268. DOI: 10.1016/j.precamres.2019.04.004.

21. Smyshlyaeva O. P., Zakharov Yu. D., Popov A. M., Bondarenko L. G., Borisov I. V. Stratigraphic divisions of the Lower Triassic of southern Primorye. Article 3. The first findings of Euflemengites Prynadai and Shimankyites Shimansky (Ammonoidea) in the context of the SMID. *Pacific geology*. 2018, vol. 37, no. 6, pp. 21—38. [In Russ].

22. Zakharov D. Yu. *Biostratigrafiya i ammonoidei nizhnego triasa Yuzhnogo Primor'ya* [Biostratigraphy and ammonoids of the Lower Triassic of Southern Primorye], Moscow, Nauka, 1968, 175 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петроченков Дмитрий Александрович — канд. геол.-минерал. наук,
доцент, зав. кафедрой, Российский государственный
геологоразведочный университет (МГРИ),
e-mail: p-d-a@mail.ru,
Барабошкин Евгений Юрьевич — д-р геол.-минерал. наук,
профессор, Московский государственный университет (МГУ),
e-mail: ejbaraboshkin@mail.ru,
Федосеев Дмитрий Геннадьевич — канд. геол.-минерал. наук,
научный сотрудник, Дальневосточный геологический институт,
Дальневосточное отделение РАН (ДВГИ ДО РАН),
e-mail: dmitry_fedoseev@bk.ru.
Для контактов: Петроченков Д.А., e-mail: p-d-a@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

D.A. Petrochenkov, Cand. Sci. (Geol. Mineral.),
Assistant Professor, Head of Chair, Sergo Ordzhonikidze
Russian State Geological Prospecting University
(MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia,
e-mail: p-d-a@mail.ru,
E.Yu. Baraboshkin, Dr. Sci. (Geol. Mineral.),
Professor, Lomonosov Moscow State University
(MGU), 119991, Moscow, Russia,
e-mail: ejbaraboshkin@mail.ru,
D.G. Fedoseev, Cand. Sci. (Geol. Mineral.), Researcher,
Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch
of Russian Academy of Sciences (DGI DO RAN),
690022, Vladivostok, Russia, e-mail: dmitry_fedoseev@bk.ru.
Corresponding author: D.A. Petrochenkov, e-mail: p-d-a@mail.ru.

Получена редакцией 18.10.2023; получена после рецензии 29.01.2024; принята к печати 10.03.2024.
Received by the editors 18.10.2023; received after the review 29.01.2024; accepted for printing 10.03.2024.