ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2024;(7):61-77
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 549: 553.5 (571.63) DOI: 10.25018/0236_1493_2024_7_0_61

ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫЕ СЕПТАРИИ 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 септарий ювелирно-поделочного качества из карьера строительных материалов и деталей, расположенного в окрестностях г. Артем Приморского края. Септарии происходят из отложений нижнего подъяруса оленекского яруса нижнего триаса. Проведенными исследованиями установлено, что септарии состоят преимущественно из кальцита (более 76 мас. %). В септариях установлены кварц, альбит, иллит, хлорит, каолинит, доломит, барит, микроклин, пирит, сфен. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr и V. Минерализация трещин усыхания в конкрециях проходила поэтапно с образованием последовательно расположенных слоев кальцита с различной структурой, окраской, размером и морфологией кристаллов, без их коррозии и замещения. Установлены геммологические характеристики септарий и определяющие их факторы, которые необходимо учитывать при обработке септарий. Цвет кальцита определяется структурой, прозрачностью слоев, размером и морфологией кристаллов, цветом подложки, содержаниями Fe и Mn. Установленный минеральный и химический состав септарий, включая микровключения и элементы-примеси, позволяют проводить их идентификацию. Септарии характеризуются широким диапазоном размеров, высокой декоративностью и положительными технологическими и экологическими характеристиками. Они сопровождаются аммонитами декоративного и ювелирно-поделочного качества, что расширяет разнообразие камнесамоцветного сырья. Септарии могут добываться попутно в процессе эксплуатации карьера без значительных материальных затрат.

Ключевые слова: ювелирно-поделочное сырье, геммологические характеристики, месторождения строительных материалов, добыча, аммониты, септарии, арагонит, кальцит, Приморский край.

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

Для цитирования: *Петроченков Д. А., Барабошкин Е. Ю., Федосеев Д. Г.* Ювелирно-поделочные септарии на карьере строительных материалов и деталей в окрестностях г. Артем, Приморский край // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7. – С. 61–77. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_7_0_61.

Septarian stone of ornamental and jewelry quality from a quarry of construction materials at the city of Artyom in the Primorsky Krai

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 article describes a comprehensive analysis of septarian stone of ornamental and jewelry quality from a quarry of construction materials in the neighborhood of Artyom city in the Primorsky Krai. Septarian stone originates from the bottom sublevel of the Early Triassic Olenekian level. The analysis shows that septarian stone consists mostly of calcite (more than 76 mass%). Septarian stone also includes quartz, albite, illite, chlorite, kaolinite, dolomite, barite, microcline, pyrite and sphene. Impurities of Sr and V feature increased contents. Mineralization of mud cracks proceeded by stages, with successive stratification of calcite of different structure, color, size and morphology of crystals, without corrosion and replacement of the latter. The gemological characteristics of septarian stone and their determinants, which should be taken into account when processing septarian stone, are obtained. The color of calcite is governed by the structure and transparency of the mineral layers, by the size and morphology of the mineral crystals, by the color of the bottom layer, and by the contents of Fe and Mn. The mineral and chemical compositions of septarian stone allow identifying micro inclusions and impurities. Septarian stone features a wide range of dimensions, high ornamentality, beneficial process characteristics and eco-friendliness. Septarian stone occurs together with ornamental and jewelry quality ammonite, which adds to a variety of semi-precious stones. It is possible to extract septarian stope as a by-product in the course of mining operations at the test quarry without extra material expenses.

Key words: ornamental and jewelry quality raw materials, gemological characteristics, mineral deposits of construction materials, mineral mining, ammonite, septarian stone, aragonite, calcite, Primorsky Krai.

Acknowledgements: The study was supported under the state contract with the Lomonosov Moscow State University, and was carried out using equipment purchased within the framework of the Lomonosov Moscow State University Development Program.

For citation: Petrochenkov D. A., Baraboshkin E. Yu., Fedoseev D. G. Septarian stone of ornamental and jewelry quality from a quarry of construction materials at the city of Artyom in the Primorsky Krai. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(7):61-77. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_7_0_61.

Введение

Септарии — известково-глинистые конкреции с трещинами уплотнения (синерезиса), выполненными преимущественно кальцитом [1]. Септарии достаточно широко распространены в морских глинистых осадочных породах разного возраста. Их размер колеблется в диапазоне от 2 — 3 см до 1,5 м. Для септарий характерна шаровидная форма — при образовании изолированно друг от друга, или вытянутая и более сложная при их срастании.

Процесс образования септарий остается не до конца ясен. Предполагается, что конкреции возникли на самых ранних стадиях диагенеза и очень быстро (от нескольких месяцев до нескольких лет) росли на глубинах преимущественно в метры — десятки метров ниже поверхности осадка. Образование конкреций связано с ростом минеральных агрегатов вокруг ядра-затравки, которым могут служить органические остатки, в том числе и раковины организмов с остатками мягкого тела [2—5]. Образование септарий происходит на последующих стадиях диагенеза в результате минерализации трещин, возникших в процессе уплотнения и обезвоживания конкреций.

В качестве ювелирно-поделочного материала септарии входят в группу минеральных агрегатов естественных неорганических веществ [6]. Септарии в последнее время широко используются для изготовления разнообразной сувенирной продукции и в ювелирных изделиях. Привлекательность изделий из септарий обусловлена высокой декоративностью, положительными технологическими характеристиками и невысокими ценами. Часто в септариях присутствуют различные виды фоссилий, повышающие привлекательность изделий [7].

На мировом рынке, включая российский, представлены септарии из Мадагаскара [8], Марокко [9], а также Ульяновской области [10], республик Адыгея, Дагестан, Северная Осетия-Алания [11—13]. По мнению авторов, септарии из карьера строительных материалов, расположенного в окрестностях г. Артем (Приморский край), в 7 км северо-восточнее железнодорожной станции Угловая, также представляют коммерческий интерес.

В последнее время карьер служит для добычи горной породы, которая используется при строительстве и ремонте автомобильных дорог (рис. 1, *а*). Коренная порода разрушается при помощи взрыва и отвозится к месту использования. В процессе эксплуатации карьера на протяжении десятилетий в небольших количествах проводится сбор раковин аммонитов в качестве декоративных и коллекционных образцов. Проведенные авторами исследования показали, что аммониты высокой декоративности с хорошими технологическими характеристиками позволяют изготавливать широкий ассортимент изделий [14]. Вместе с аммонитами встречаются в больших количествах и септарии, которые также могут использоваться в качестве ювелирно-поделочного материала. Часто аммониты встречаются и в самих септариях. В настоящее время аммониты и септарии как ювелирно-поделочный материал практически не используются.

В статье впервые представлены результаты детальных минерально-геохимических, геммологических исследований септарий, собранных в карьере, в качестве ювелирно-поделочного материала. Изучался минеральный, химический состав септарий, их текстурные и структурные особенности, определяющие декоративные и технологические характеристики, а также стратиграфическое положение септарий, определяющее критерии их поиска, проводилась оценка экологических характеристик.

Методы исследований

Комплекс исследований септарий 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 септарий выполнено ме-

тодом рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минераграфический 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 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 септарий проведено в лаборатории изотопных методов анализа ФГБУ «ВИМС» по аттестованной методике, внесенной в Реестр Росстандарта.

Стратиграфическое положение септарий

Согласно современным представлениям, карьер расположен в породах Вознесенского террейна, который является фрагментом особой пассивной окраины океанического бассейна, закрывшегося, вероятно, в конце кембрия [15]. Террейн входит в состав Бурея-Сонгнен-Цзямусы-Ханкайского супертеррейна, который в свою очередь рассматривается в составе Центрально-Азиатского складчатого пояса [16—18].

В карьере вскрываются породы нижнеоленекского подяруса нижнего триаса (рис. 1). Они представлены алевролитами, темно-серыми до черного цвета аргиллитами с прослоями мелко- и тонкозернистых песчаников, их брекчиями, а также включениями известково-мергелистых конкреций [19]. 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 [19, 20]. Распределение септарий неравномерное. Чаще

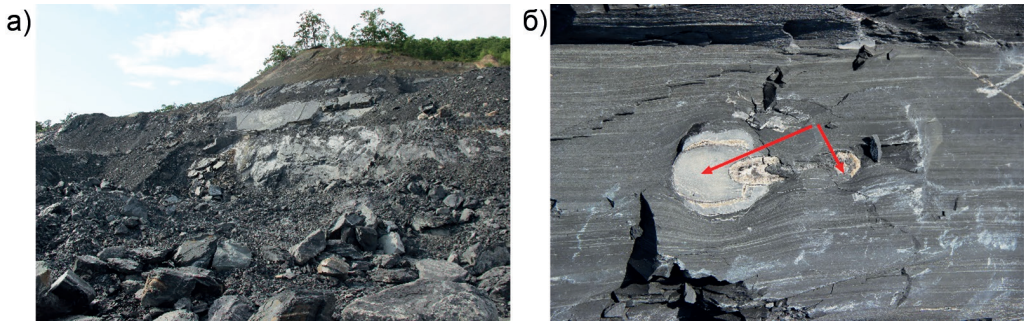


Рис. 1. Северный борт карьера, где встречаются аммониты и септарии ювелирно-поделочного качества (а); залегание слоев нижнего подъяруса оленекского яруса нижнего триаса и положение горизонта с аммонитами и септариями (указаны стрелками) (б). Фото авторов

Fig. 1. The northern side of the quarry with ammonoids and septaria of jewelry and ornamental quality (a); the Lower Olenekian (Lower Triassic) rocks and the position of the horizon with ammonoids and septaria (indicated by arrows) (b). Photo by the authors

Таблица 1

Минеральный состав септарий, по данным РКФА
Mineral composition of septaria according to XRDA data

№ пробы	Характеристика	Минералы	Содержание, мас. %
ПС	Септарии в целом	Кальцит	76,4
		Кварц	6,9
		Барит	6,2
		Плагиоклаз (альбит)	4,0
		Иллит	3,0
		Хлорит	2,0
		Пирит	0,7
		Каолинит	0,4
		Доломит	0,4

Таблица 2

Химический состав септарий по данным ХРИ
Chemical composition of septaria 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	$S_{общ}$	BaO	ППП*
ПС	0,29	0,84	3,25	13,41	0,54	37,25	0,20	0,54	1,24	0,37	1,23	5,12	31,12

* Потери при прокаливании.

всего их скопления наблюдаются в виде узких (10 — 40 см) непротяженных линз, что облегчает их поиски (рис. 1, *б*).

Геммологические характеристики септарий

Септарии ювелирно-поделочного качества, по данным РКФА, состоят, мас. %: кальцит — 76,4; кварц — 6,9; барит — 6,2; плагиоклаз, представленный альбитом, — 4,0; иллит — 3,0; хлорит — 2,0; пирит — 0,7; каолинит, доломит — 0,4 (табл. 1). Соотношение минералов может меняться в зависимости от насыщенности септарий прожилками кальцита. По минеральному составу породу можно отнести к мергелю с прожилками кальцита. Мергель состоит из кварца, алюмосиликатов (альбит, иллит, хлорит, каолинит), представляющих терригенный морской осадок, сцементированный кальцитом с включениями вновь образованных в процессе диагенеза и формирования конкреции барита, пирита, доломита.

Данные химического состава септарий (табл. 2) подтверждают их минеральный состав. Сумма CaO и потери при прокаливании (ППП) — 68,37 мас. % — отражают преимущественно карбонатный состав септарий. Отметим повышенные содержания TiO_2 (0,20 мас. %), указывающие на присутствие минералов титана, характерных для прибрежно-

Таблица 3

Содержание элементов-примесей в септариях по данным ХРИ
The content of minor elements of septaria according to the XRF data

№ пробы	Содержание элемента, мг/кг ($\times 10^{-4}$ мас. %)													
	Cr	V	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Y	La	U	Th	Pb	As
ПС	13	100	27	25	38	24	229	27	13	20	<5	<5	<10	<10

Рис. 2. Конкреции с аммонитами и септарии (а); полированный спил двух сросшихся септарий шаровидной формы (б). Коллекция авторов

Fig. 2. Concretions with ammonoids and septaria (a); polished cut of two fused spherical septaria (b). Author`s collection

морских отложений, и P_2O_5 (0,37 мас. %) — указывающие на апатит, так же часто присутствующий в септариях. Высокие содержания BaO (5,12 мас. %) связаны с баритом; Fe (1,24 мас. %) и S (1,23 мас. %) — с пиритом, Fe_2O_3, MnO, MgO могут входить в состав кальцита, SiO_2 — в состав кварца, а Si_2O, Al_2O_3, Na_2O, K_2O — в состав алюмосиликатов.

Из элементов-примесей в септариях фиксируются повышенные содержания, мас. %: Sr — 0,0229 и V — 0,0100, в интервале 0,001 — 0,01 мас. % — Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, Zr, Y, La (табл. 3).

Септарии ювелирно-поделочного качества шаровидной и эллипсовидной формы, размером от 4 до 20 см (рис. 2, 3), часто наблюдается их срастание (рис. 2, *б*). Септарии содержат многочисленные пересекающиеся концентрические и радиальные прожилки кальцита. Ширина прожилков от нитевидных (менее 1 мм) до 15 мм. Рисунок прожилков очень разнообразен и характеризуется высокой декоративностью, что позволяет изготавливать полированные спилы (рис. 2, *б*, рис. 3) и ювелирные изделия (рис. 4).

Мергель тонкозернистый серого цвета с различными оттенками. Распределение оттенков пятнистое, часто их границы определяются прожилками (рис. 3). В отдельных септариях внешний слой шириной до 10 мм светло-серого цвета, что связано с выветриванием (рис. 2, *б*).

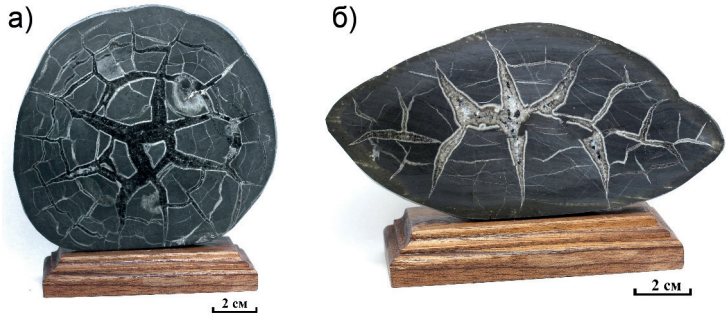


Рис. 3. Полированные спилы септарий шаровидной (а) и уплощенной сферической формы (б). Коллекция авторов

Fig. 3. Polished cut of septaria of spherical (a) and flattened spherical shape (b). Author`s collection

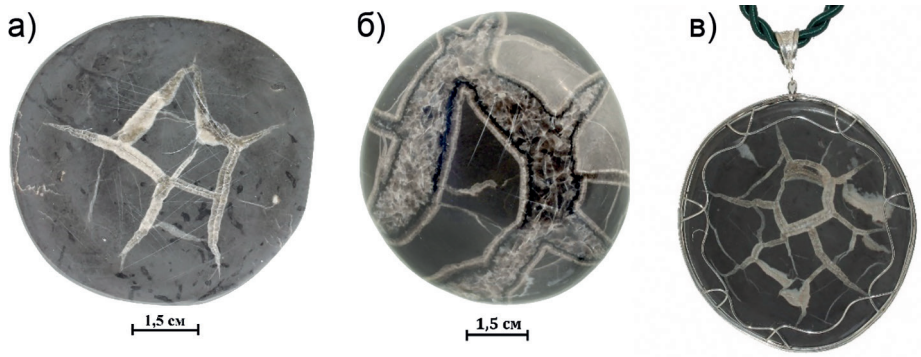


Рис. 4. Кабошоны септарий (а, б), кулон с кабошоном септарий (в). Коллекция авторов
Fig. 4. Cabochons septaria (a, b), pendant with cabochon septaria (v). Author`s collection

Встречаются септарии, в мергеле которых присутствуют фрагменты сложной формы с нечетко выраженными контурами светло-желтого, белого и светло-коричневого цвета. В таких фрагментах присутствует тонкая (менее 0,1 мм) вкрапленность пирита. Вкрапленность пирита редко встречается в мергеле серого цвета. Пирит выделяется на полированных поверхностях металлическим блеском, но на декоративность септарий он не влияет.

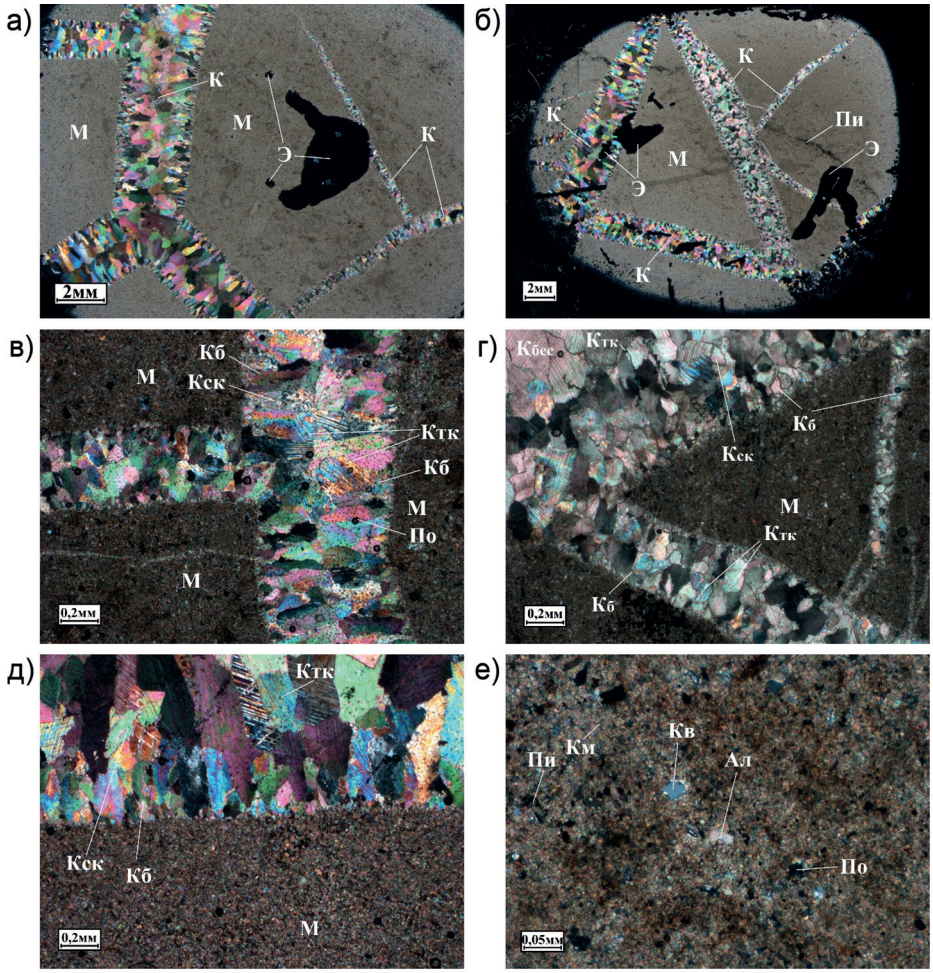
Мергель плотный, раскалывается с неровным, раковистым изломом. Плотность мергеля изменяется от 2,67 до 2,71 г/см^3, микротвердость — от 162 до 184 кг/мм^2. Люминесценция мергеля не проявлена. Мергель достаточно хорошо полируется с ровной поверхностью до стеклянного блеска, но присутствуют и фрагменты с матовым блеском. Наблюдается небольшое выкрашивание вкрапленности окисленного, измененного пирита в светлых фрагментах септарий.

Прожилки кальцита в зависимости от их размера имеют различное строение. Нитевидные прожилки — непрозрачные, белого, светло-серого цвета. Более широкие (1 — 2 мм) прожилки образованы двумя симметрично расположенными слоями непрозрачного кальцита белого цвета. Контакты слоев с мергелем четкие ровные. Слой белого цвета не превышает 1 мм (рис. 3, 4). В более широких прожилках к первоначальным непрозрачным слоям примыкают просвечивающие слои темно-коричневого цвета, ширина которых может достигать 5 мм. Такие слои часто полностью заполняют оставшееся пространство трещины. В широких прожилках центральные части шириной до 5 мм выполнены крупнокристаллическим просвечивающим и полупрозрачным кальцитом. Просвечивающие фрагменты — белого цвета, полупрозрачные — бесцветные. Часто в широких слоях наблюдается сочетание кристаллов темно-коричневого и светло-коричневого цвета. Иногда встречаются неширокие (около 3 мм) прожилки, в которых просвечивающие темно-коричневые слои отсутствуют. Зальбанды в них выполнены непрозрачным белым кальцитом, а центральные части — полупрозрачным бесцветным кальцитом.

Наиболее широкие прожилки характерны для центральных частей септарий. Прожилки чаще всего имеют полосчатую текстуру. Присутствуют прожилки, в которых присутствуют зоны темно-коричневого, светло-коричневого, белого цвета и бесцветные, образуя мозаичную текстуру в сочетании с полосчатой. Редко наблюдаются мелкие фрагменты с сферолитовой текстурой.

Контакты разноокрашенных слоев, как правило, четко выражены.

Кальцитовые прожилки плотные, раскалываются с неровным, раковистым изломом. Плотность кальцита в среднем 2,68 г/см^3. Микротвердость слоев кальцита в среднем, кг/мм^2: белого непрозрачного, примыкающего к мергелю — 132, темно-коричневого просвечивающего — 156, бесцветного, просвечивающего и полупрозрачного, выполняющего центральную часть прожилка, — 117. Люминесценция наблюдается у белых непрозрачных слоев, примыкающих к мергелю, в светло-желтых тонах. Кальцитовые прожилки хорошо полируются до стеклянного блеска с ровной поверхностью.



Кб — кальцит непрозрачный белый; Кск — кальцит непрозрачный светло-коричневый; Ктк — кальцит просвечивающий темно-коричневый; Кбес — кальцит полупрозрачный бесцветный, Км — кальцит, выполняющий мергель, Кв — кварц, Ал — алюмосиликаты, Пи — пирит, По — поры, Э — эпоксидная смола

Рис. 5. Прозрачные шлифы септарий, включающие прожилки кальцита (К) в мергеле (М) (а, б) и детализации (в — е). Николи — X

Fig. 5. Transparent thin sections of septaria, including calcite veins (K) in marl (M) (a, b); and details (v — e). Nicols — X

Оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования

Изучены два прозрачных шлифа (см. рис. 5) и аншлифы (рис. 6) фрагментов септарий, отражающие характерные декоративные и технологические типы. Первый шлиф — тонкозернистый мергель серого цвета с прожилками кальцита шириной 3,3; 2,6; 1,8; 0,9 мм и тонкий выклинивающийся прожилок шириной 0,5 мм (рис. 5, *а*). Второй шлиф — тонкозернистый мергель серого цвета с прожилками кальцита шириной 3,6; 2,5; 0,7 мм и нитевидные прожилки шириной до 0,15 мм. Присутствует цепочка тонкозернистого пирита, расположенная по микротрещинке (рис. 5, *б*). Строение слоев в двух рассмотренных шлифах близкое.

Непрозрачный слой белого цвета примыкает к мергелю с четко выраженным, ровным контактом. Метасоматических изменений в мергеле не наблюдается. Непосредственно на контакте с мергелем расположены изометричные кристаллики кальцита размером менее 0,05 мм. На них нарастают кристаллы удлиненной сложной призматической формы, ориентированные перпендикулярно стенке прожилка, размером до 0,1 мм (см. рис. 5, *в*, *г*). Кристаллы плотно сросшиеся, разноориентированные, размером до 0,1 мм. Отдельные из них непосредственно примыкают к мергелю. Непрозрачный слой светло-коричневого цвета в шлифах не выражен и характеризуется увеличением размера кристаллов до 0,15 мм. Кристаллы плотно сросшиеся, разноориентированные, с ровным угасанием. При параллельных николях первоначальные непрозрачные слои бесцветные.

Просвечивающие слои темно-коричневого цвета формировались на кристаллах предыдущего слоя без их замещения и коррозии и характеризуются дальнейшим увеличением размера до 0,3 мм. Кристаллы плотно сросшиеся, разноориентированные, удлиненной и сильно удлиненной сложной призматической формы, с ровным угасанием. Кристаллы ориентированы перпендикулярно стенкам прожилков (рис. 5, *а–г*). При параллельных николях слой светло-коричневого цвета.

В наиболее широких прожилках их центральные части выполнены кристал-

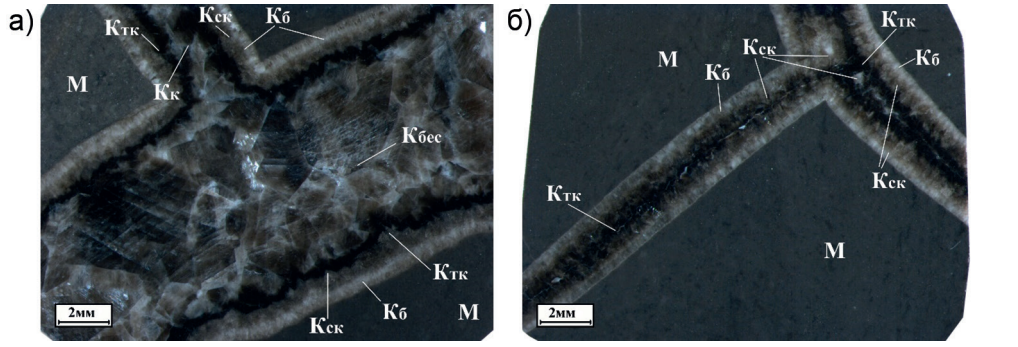


Рис. 6. Аншлифы фрагментов септарий (а, б), включающие мергель (М) с прожилками кальцита, выполненными слоями различной ширины, прозрачности и цвета: непрозрачный белый (Кб), непрозрачный светло-коричневый (Кск), просвечивающий темно-коричневый (Ктк), просвечивающий, полупрозрачный бесцветный (Кбес)

Fig. 6. Polished sections of fragments of septaria (a, b), including marl (M) with calcite veins filled by layers of various widths, transparency and color: opaque white (Кб), opaque light brown (Кск), translucent dark brown (Ктк), translucent, semi-transparent colorless (Кбес) semi-transparent

лами преимущественно изометричной и слабо удлиненной формы. Кристаллы также плотно сросшиеся, разноориентированные, с ровным угасанием, размером до 1 мм (рис. 5, *г*). В крупных кристаллах, расположенных в центральной части прожилков, включая и просвечивающие слои темно-коричневого цвета, отчетливо проявлена спайность в двух направлениях, характерная для кальцита.

Образование кальцитовых слоев в прожилках проходило без их метасома-

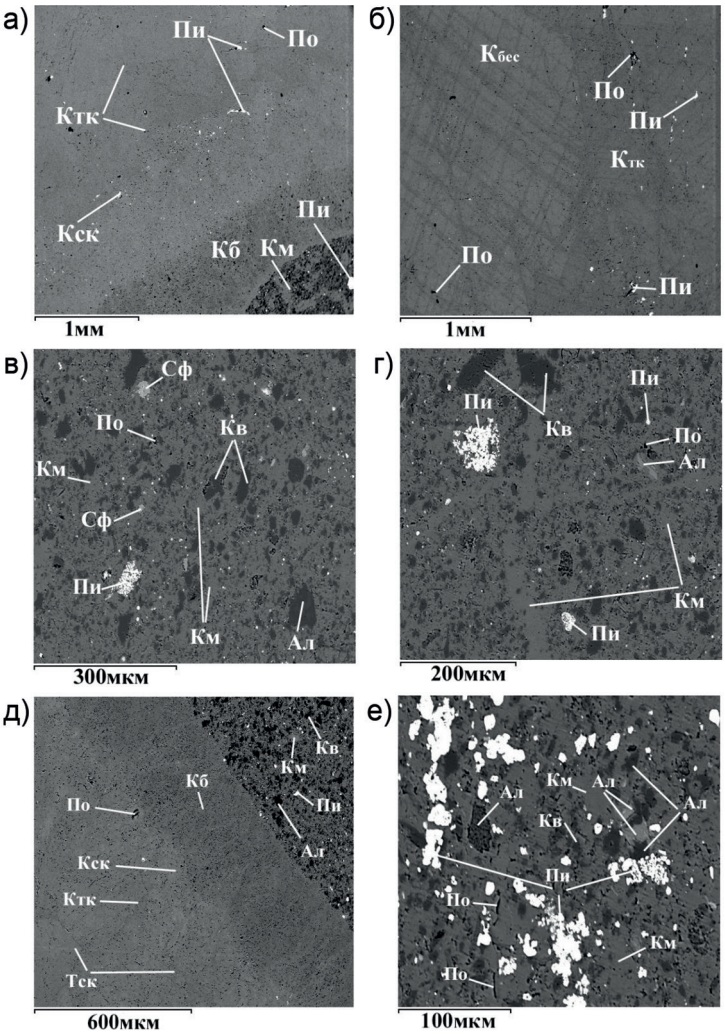


Рис. 7. Фрагменты септарии (а—е), включающие мергель с прожилками кальцита, выполненными слоями различной ширины, прозрачности и цвета: непрозрачный белый (Кб), непрозрачный светло-коричневый (Кск), просвечивающий темно-коричневый (Ктк), просвечивающий, полупрозрачный, бесцветный (Кбес). Микрозонд, ОРЭ. Км — кальцит, выполняющий мергель; Кв — кварц; Ал — алюмосиликаты; Сф — сфен; Пи — пирит; По — поры

Fig. 7. Fragments of the septaria (а—е) including marl with calcite veins filled by layers of various widths, transparency and color: opaque white (Кб), opaque light brown (Кск), translucent dark brown (Ктк), translucent, semi-transparent colorless (Кбес). Microprobe, ORE. Км — calcite, performing marl; Кв — quartz; Ал — aluminosilicates; Сф — sphene; Пи — pyrite; По — pores

тического замещения и перекристаллизации. Количество пор в кальцитовых прожилках невелико, а их размер не превышает 0,05 мм. Часть из них образовалась и в процессе изготовления шлифа. Минеральные включения в кальците не фиксируются.

Мергель тонкозернистый с пелитовой структурой. Размер кристалликов кальцита в цементе мергеля не превышает 0,01 мм, а включений — 0,10 мм. Они представлены кварцем, алюмосиликатами, пиритом (рис. 5, *е*). Включения кварца и алюмосиликатов распределены в мергеле равномерно. Алюмосиликаты в шлифе слабо выражены. Включения пирита менее 0,015 мм. В отдельных фрагментах мергеля они образуют скопления вдоль микротрещин.

Структура кальцита в ОРЭ не проявлена, но достаточно отчетливо выделяются по оттенкам разноокрашенные слои (рис. 7, *а*, *б*, *д*), что указывает на их различный химический состав. По данным РСМА, в слоях кальцита фиксируются содержания элементов-примесей Mg, Mn, Fe (табл. 4). Для всех слоев характерны значительные колебания содержания элементов в отдельных спектрах, что указывает на их химическую неоднократность, которая проявляется в пятнистом распределении оттенков в ОРЭ. По средним значениям элементов-примесей слои значимо различаются (см. табл. 4).

В непрозрачном слое белого цвета фиксируются в среднем содержания, мас. %: Mg — 0,90, Mn — 0,29, практически отсутствует Fe; в отдельных спектрах Na — до 0,12. Высокие содержания Mg (до 1,35 мас. %) в отдельных спектрах могут указывать на микровключения доломита, который установлен РКФА (см. табл. 1). Контакт слоя с мергелем четкий, ровный, метасоматических изменений не наблюдается.

Слой светло-коричневого непрозрачного кальцита выделяется в ОРЭ более светлой окраской. Из элементов-примесей в нем фиксируется в среднем, мас. %: Mg — 0,17, Mn — 0,70, Fe — 0,54; в отдельных спектрах Na — до 0,13. По отношению к первоначальному слою в нем уменьшается существенно содержание Mg и увеличиваются содержания Mn и Fe.

Таблица 4

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

Характеристика кальцита	Содержание элемента, мас. %				
	Mg	Mn	Fe	Ca	O
Непрозрачные слои белого цвета (9)**	0,38 — 1,35* 0,90	0,15 — 0,40 0,29	0,00 — 0,07 0,02	35,78 — 37,76 36,32	45,81 — 46,95 46,21
Непрозрачные слои светло-коричневого цвета (6)	0,04 — 0,43 0,17	0,42 — 0,85 0,70	0,32 — 0,88 0,54	35,45 — 37,46 36,71	44,64 — 46,74 45,84
Просвечивающие слои темно-коричневого цвета (15)	0,00 — 0,20 0,06	0,29 — 1,07 0,65	0,02 — 0,27 0,11	35,26 — 39,08 37,37	43,50 — 47,94 46,02
Крупнокристаллический, полупрозрачный, бесцветный (5)	0,02 — 0,07 0,05	0,34 — 0,41 0,37	0,00 — 0,11 0,07	36,49 — 37,17 36,91	44,61 — 45,57 45,21
В мергеле (9)	0,00 — 0,44 0,15	0,04 — 0,64 0,37	0,06 — 0,42 0,16	36,99 — 39,39 37,53	46,11 — 47,70 47,01

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

Следующий по времени образования непрозрачный слой темно-коричневого цвета содержит из элементов-примесей Mn, в среднем 0,65 мас. %. Практически отсутствуют Mg и Fe, в одном спектре фиксируется Na — 0,20 мас. %. По цветовым оттенкам он слабо отличается от предыдущего слоя. Контакт слоев мелкозубчатый, обусловленный окончаниями кристаллов пирамидальной формы.

Крупнокристаллический кальцит, выполняющий центральную часть широких прожилков, из элементов-примесей содержит Mn, в среднем 0,37 мас. %. От предыдущего слоя темно-коричневого цвета он отличается более низкими содержаниями Mn (табл. 4). В ОРЭ отчетливо проявлена спайность в двух направлениях в крупных кристаллах (рис. 7, *б*).

В слоях кальцита присутствует редкая вкрапленность пирита микронного размера. В большем количестве пирит характерен для просвечивающего темно-коричневого слоя. Поры также присутствуют в небольшом количестве, имеют микронный размер, максимальные из них достигают 50 мкм. Они расположены преимущественно по контактам слоев, по контурам крупных кристаллов (рис. 7, *а*, *б*, *д*).

Мергель тонкозернистый. В нем установлены, по данным РСМА, кварц, различные по минеральному составу алюмосиликаты, сфен, пирит, сцементированные кальцитом. Включения достаточно равномерно распределены в мергеле (рис. 7, *в*, *г*, *е*). Кварц преимущественно удлиненной угловатой формы, реже изометричной, округлой, размером до 150 мкм. В кварце фиксируются в отдельных спектрах содержания Ca, Al, Na, Mg, Fe, что указывает на его тесное срастание с кальцитом и алюмосиликатами.

Алюмосиликаты, как и кварц, широко представлены в мергеле. Включения удлиненной, изометричной угловатой и округлой формы, размером до 100 мкм. Присутствуют включения с нечетко выраженными контурами и сложной зернистой поверхностью. По высоким содержаниям Na (7—8 мас. %) выделяется относительно большое количество альбита. По высокому содержанию K (7 мас. %) выделено включение микроклина.

Присутствуют включения высокожелезистых алюмосиликатов, содержание Fe в которых от 21,82 до 23,37 мас. %, Al — от 9,96 до 10,99 мас. %, Si — от 10,54 до 11,57 мас. %. Часть Fe может быть связано с пиритом, на что указывают содержания S до 2,24 мас. %. Из других элементов-примесей в спектрах фиксируются, мас. %: Ca — от 0,32 до 4,40, Mg — от 5,69 до 6,21, Mn — от 0,26 до 0,34, в одном спектре Ti — 0,80, Na — 0,17 и Co — 0,31, отсутствует K. Часть элементов может входить в состав алюмосиликатов, а также быть связана с ассоциирующими с ними минералами. По данным РКФА, в мергеле зафиксированы иллит (3 мас. %) и хлорит (2 мас. %), что позволяет предположить их железистые разновидности — глауконит и шамозит.

Глауконит и шамозит являются осадочными минералами, образование которых связано с незначительным изменением окислительно-восстановительного потенциала в мобильных водах. Глауконит, образующийся вблизи береговой линии, обычно богат глиноземом, а в более глубоких частях водных бассейнов — железом [21].

В мергеле установлены несколько включений сфена (рис. 7, *в*). Относительно крупное включение размером 30 мкм — изометричной формы со сложным контуром. В сфене фиксируются в среднем, мас. %: Ca — 20,08; Ti — 20,97; Si — 15,01; O — 41,53; Al — 1,60; Fe — 0,58; V — 0,29, а также Zn — 0,19;

Na — 0,18 и P — 0,16. Сфен — устойчивый минерал в экзогенных условиях и часто встречается в прибрежно-морских отложениях.

Пирит присутствует в мергеле в относительно большом количестве преимущественно микронного размера глобулярной формы, более крупные имеют кубический габитус (рис. 7 *в*, *г*, *е*). Микровключения пирита образуют выделения сложной, часто округой формы размером до 80 мкм, которые часто концентрируются вдоль кальцитовых прожилков. Из элементов-примесей в пирите фиксируются, мас. %: Mn — до 0,47; Ni — до 0,25; Cu — до 0,27; Zn — 0,36; V — 0,11. В спектрах присутствуют Ca, Al, Si, Na, указывающие на тесную ассоциацию пирита с кальцитом и алюмосиликатами.

Формы выделения пирита показывают, что он образовывался на различных стадиях минерализации септарий: от начальных до завершающих, в том числе и с участием микроорганизмов.

Кальцит тонкодисперсный, образует мономинеральные выделения сложной формы, размером до 60 мкм, выполняет микротрещинки. Из элементов-примесей в кальците фиксируются в среднем, мас. %: Mg — 0,15; Mn — 0,37 и Fe — 0,16, при больших колебаниях значений в спектрах (см. табл. 4).

Количество пор в мергеле небольшое, а их размер не превышает 10 мкм. При больших увеличениях проявляется большое количество микропор, которые расположены по контурам кристаллов, минеральным выделениям (рис. 7, *е*).

Из проведенных оптико-петрографических и электронно-зондовых исследований можно сделать ряд выводов. Выполнение трещин в септариях проходило одновременно от противоположных стенок с близкой скоростью, что обусловило их симметричное строение. Кристаллизация кальцита проходила без метасоматического замещения мергеля, перекристаллизации кристаллов, с последовательным образованием слоев с различной структурой, цветом и прозрачностью. В широких прожилках формируются более широкие слои, с более крупными кристаллами. Характерны непрозрачные слои белого цвета, расположенные на контакте с мергелем, выполненные мелкокристаллическим кальцитом. Последующие слои характеризуются увеличением размера кристаллов, прозрачности, изменением цветовых оттенков. На первоначальном слое формируется узкий непрозрачный слой светло-коричневого цвета, затем следует просвечивающий слой темно-коричневого цвета и завершает выполнение широких прожилков крупнокристаллический полупрозрачный бесцветный кальцит. Нитевидные, узкие и неширокие прожилки выполнены соответственно одним, двумя и тремя последовательно образованными слоями. Прозрачность слоев определяется их структурой, размером и морфологией кристаллов. Прозрачность слоев оказывает существенное влияние на их оттенки.

Исследованиями установлены особенности химического состава минералов, образующих септарии; размер, морфология кристаллов; дополнительно выделены (см. табл. 1) включения альбита, микроклина, железистых алюмосиликатов, сфена. Не установлен барит, который, по данным РКФА, составляет 6,2 мас. %, что может свидетельствовать о его локальном распространении. В кальците фиксируются элементы-примеси (Mg, Mn, Fe), содержания которых различаются в различных по прозрачности и окраске слоях, а также в мергеле. Цвет кальцита определяется структурой слоев, прозрачностью, цветом подложки, а также содержаниями Mn и Fe. Светлые оттенки мергеля связаны с большей насыщенностью кальцитом с

более крупными кристаллами и меньшим количеством микропор.

Присутствие в мергеле мягких минералов (хлорит, иллит, каолинит), которые составляют 5,4 мас. %, и большое количество микропор осложняют его полировку. Эти факторы необходимо учитывать при обработке септарий.

Экологическая оценка септарий

Ювелирные и интерьерные изделия из септарий находятся в непосредственном соприкосновении с человеком, что обуславливает повышенные требования к их экологическим характеристикам. Экологическая оценка септарий из карьера строительных материалов 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 септариях не установлены значимые содержания канцерогенных элементов, включая As и Pb, что позволяет использовать их по этому показателю без ограничения.

Удельная активность радионуклидов составила, Бк/кг: ^{226}Ra — 23, ^{228}Ra ⩽ 20, ^{224}Ra ⩽ 20, ^{232}Th ⩽ 20, ^{40}K — 189, ^{137}Cs ⩽ 10, $A_{эфф}$ — 66. Испытания показали, что септарии 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 их использование без ограничения по радиационному фактору.

Содержания радиоактивных элементов U и Th, по данным РФА, ниже чувствительности метода (см. табл. 3), что подтверждает сделанный вывод.

Выводы

Септарии ювелирно-поделочного качества карьера строительных материалов в окрестностях г. Артем Приморского края встречаются в оленекском ярусе нижнего триаса. Они состоят преимущественно из кальцита (76,4 мас. %). Установлены кварц, барит, альбит, микроклин, иллит, хлорит, пирит, каолинит, доломит, сфен. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr (0,0229 мас. %) и V (0,0100 мас. %). Прожилки кальцита преимущественно мономинеральны. Установленный минеральный и химический состав септарий, включая микровключения и элементы-примеси, позволяет проводить их идентификацию.

Септарии обладают широким диапазоном размеров, высокой декоративностью, положительными технологическими и экологическими характеристиками, что позволяет изготавливать разнообразный ассортимент изделий, включая ювелирные. Септарии могут собираться в больших объемах в ходе отработки карьера, что не требует значительных материальных затрат.

Аналогичные септарии 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, послужат толчком к комплексному изучению объектов с септариями в качестве полезного ископаемого — ювелирно-поделочного сырья, активному вовлечению их в освоение, в том числе из карьеров по добыче строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Левинсон-Лессинг Ф. Ю.*, *Струве Э. А.* Петрографический словарь. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — 447 с.

2. *Дмитриева Е. В.*, *Либрович В. Д.*, *Македонов А. В.*, *Сальникова Л. Л.* Атлас конкреций. — Л.: Недра, 1988. — 323 с.

3. *Петтиджон Ф. Дж.* Осадочные породы. — М.: Недра, 1981. — 751 с.

4. *Hounslow M. W.* Septarian concretions / Sedimentology. Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks. Berlin-Heidelberg: Springer, 2003, pp. 657—659.

5. *Yoshida H., Yamamoto K., Minami M., Katsuta N., Sin-ichi S., Metcalfe R.* Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation aroud decaying organic matter in early diagenesis // Scientific Reports. 2018, vol. 8, pp. 1—9. DOI: 10.1038/s41598-018-24205-5.

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

7. *Петроченков Д. А.*, *Быховский Л. З.* Септарии — нетрадиционный вид ювелирно-поделочного сырья: перспективы добычи // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2022. — № 4. — С. 11—19.

8. *Zakharov Y. D., Tanabe K., Shigeta Y., Safronov P. P., Smyshlaeva O. P., Dril S. T.* Early Alban marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data. Cretaceous Research. 2016, vol. 58, pp. 29—41. DOI: 10.1016/j.cretres.2015.08.014.

9. *Petrochenkov D. A.* Mineral composition of jewerly septaries of Marocco / XIII General Meeting of the Russian Mineralogical Society and the Fedorov Session. Conference proceedings. Springer Link, Switzerland. 2023, pp. 575—581. DOI: 10.1007/978-3-031-23390-6_72.

10. *Петроченков Д. А.* Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Ульяновской области. — М.: Изд-во «Горная книга», 2020. — 248 с.

11. *Аллиев М. М.*, *Друщиц В. В.*, *Крылов Н. А. и др.* Нижний мел юга СССР. — М.: Наука, 1985. — 224 с.

12. *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.

13. *Барабошкин Е. Ю.*, *Петроченков Д. А.* Стратиграфическое положение и минеральный состав ювелирно-поделочных септарий из среднего апта Республики Северная Осетия–Алания (Северный Кавказ) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. — 2022. — Т. 97. — № 2. — С. 35—44.

14. *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.

15. *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.

16. *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-Mesozoic granitoids from the Jiamusi and Songnen Blocks, NE China: Implications for their tectonic division and juvenile continental crustal growth // Lithos. 2021, vol. 386—387, article 106048. DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106048.

17. *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.

18. *Luan J. P.*, *Yu J. J.*, *Yu J. L.*, *Cui Y. C.*, *Xu W. L.* Early Neoproterozoic 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.

19. *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.

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

21. *Костов И.* Минералогия. — М.: Мир, 1970. — 584 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Levinson-Lessing F. Yu., Struve E. A. *Petrograficheskiy slovar'* [Petrographic dictionary], Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1963, 447 p.

2. Dmitrieva E. V., Librovich V. D., Makedonov A. V., Sal'nikova L. L. *Atlas konkretsiy* [Atlas of concretions], Leningrad, Nedra, 1988, 323 p.

3. Pettijohn F. J. *Osadochnye porody* [Sedimentary rocks], Moscow, Nedra, 1981, 751 p.

4. Hounslow M. W. Septarian concretions. *Sedimentology. Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*. Berlin-Heidelberg: Springer, 2003, pp. 657—659.

5. Yoshida H., Yamamoto K., Minami M., Katsuta N., Sin-ichi S., Metcalfe R. *Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation aroud decaying organic matter in early diagenesis*. Scientific Reports. 2018, vol. 8, pp. 1—9. DOI: 10.1038/s41598-018-24205-5.

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

7. Petrochenkov D. A., Bykhovsiky L. Z. Septaria as an unconventional jewelry and ornamental raw material: production prospects. *Mineral resources of Russia. Economics & management*. 2022, no. 4, pp. 11—19. [In Russ].

8. Zakharov Y. D., Tanabe K., Shigeta Y., Safronov P. P., Smyshlaeva O. P., Dril S. T. Early Alban marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data. *Cretaceous Research*. 2016, vol. 58, pp. 29—41. DOI: 10.1016/j.cretres.2015.08.014.

9. Petrochenkov D. A. Mineral composition of jewerly septaries of Marocco. *XIII General Meeting of the Russian Mineralogical Society and the Fedorov Session. Conference proceedings*. Springer Link, Switzerland. 2023, pp. 575—581. DOI: 10.1007/978-3-031-23390-6_72.

10. Petrochenkov D. A. *Inter'ernye i yuvelirno-podelochnye ammonity Ul'yanovskoy oblasti* [Interior and jewelry-ornamental ammonites of Ulyanovsk region], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2020, 248 p.

11. Alliev M. M., Drushits V. V., Krylov N. A., etc. *Nizhniy mel yuga SSSR* [The Lower Cretaceous of the south of the USSR], Moscow, Nauka, 1985, 224 p.

12. 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].

13. Baraboshkin E. Yu., Petrochenkov D. A. Stratigraphic position and mineral composition of jewelry and ornamental Septaries from middle aptian of Republic of North Ossetia-Alania (North Caucasus). *Bulletin of the Moscow society of naturalists. Geological series*. 2022, vol. 97, no. 2, pp. 35—44. [In Russ].

14. 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, no. 4, pp. 104—120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_4_0_104.

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

16. 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-Mesozoic granitoids from the Jiamusi and Songnen Blocks, NE China: Implications for their tectonic division and juvenile continental crustal growth. *Lithos*. 2021, vol. 386—387, article 106048. DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106048.

17. 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.

18. Luan J. P., Yu J. J., Yu J. L., Cui Y. C., Xu W. L. Early Neoproterozoic 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.

19. 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. *Russian Journal of Pacific geology*. 2018, vol. 37, no. 6, pp. 21–38. [In Russ].
20. 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.
21. Kostov I. *Mineralogiya* [Mineralogy], Moscow, Mir, 1970, 584 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 30.11.2023; получена после рецензии 29.01.2024; принята к печати 10.06.2024.
Received by the editors 30.11.2023; received after the review 29.01.2024; accepted for printing 10.06.2024.