

УДК 553.5:549:551.763.1 (571.642)

Научная статья

**ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫЕ СЕПТАРИИ О. САХАЛИН:
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГЕММОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ***Д.А. Петроченков¹, Е.Ю. Барабошкин²*¹ Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,
ул. Миклухо-Маклая 23, Москва, 117997, Россия² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы 1, Москва, 119991, Россия

Аннотация. Септарии – вид конкреций с серией радиальных трещин усыхания (или синерезиса), заполненных каким-либо минеральным веществом. Они известны во многих регионах мира и являются декоративным и ювелирно-поделочным материалом. Авторами были собраны септарии из быковской свиты верхнего мела о. Сахалин, а результаты их изучения впервые приводятся в статье. Конкреции представлены глинисто-алевритовыми карбонатами и состоят преимущественно из кальцита (более 88 мас. %). Присутствуют также кварц, альбит, иллит, апатит, каолинит, доломит, пирит; из элементов-примесей установлено повышенное содержание (мас. %) Sr – 0,0365, Ba – 0,0269 и Cr, V, Cu, Zn, Rb, Zr – менее 0,01%. Состав септарий определяет их декоративные и технологические характеристики, обеспечивая возможность изготовления широкого ассортимента изделий, включая ювелирные. Сбор септарий может производиться без горных выработок, что не требует значительных материальных затрат и не нарушает экологию среды.

Ключевые слова: конкреции, аммониты, верхнемеловые отложения, ювелирно-поделочные материалы, Дальний Восток

*Original article***JEWELRY AND ORNAMENTAL SEPTARIA OF SAKHALIN ISLAND:
MINERAL COMPOSITION AND GEMOLOGICAL CHARACTERISTICS***Dmitry A. Petrochenkov¹, Evgeny Yu. Baraboshkin²*¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University,
Miklukho-Maklay 23, Moscow, 117997, Russia² Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119991, Russia

Abstract. Septaria are a type of concretions broken inside by radial-arrow syneresis cracks filled with some mineral substance. They are known in many regions of the world and are used as decorative and ornamental material for jewelry. The authors collected septaria from the Upper Cretaceous Bykov Formation of Sakhalin Island, and the results of their study are presented in the article for the first time. The concretions are represented by clayey-silty carbonates and consist mainly of calcite (more than 88 wt.%). Quartz, albite, illite, apatite, kaolinite, dolomite and pyrite are present; of the impurity elements, higher contents of Sr were established – 0.0365 wt.%, Ba – 0.0269 wt.% and Cr, V, Cu, Zn, Rb, Zr – less than 0.01 wt.%. The composition of septaria determines their decorative and technological characteristics, providing the possibility of manufacturing a wide range of products, including jewelry. Septaria can be collected without mining, which does not require significant material costs and does not disturb the ecology of the environment.

Key words: nodules, ammonites, Upper Cretaceous, jewelry and decorative materials, Far East

Септарии – это сферосидеритовые или известковые конкреции с трещинами уплотнения (синерезиса), которые выполнены различными минералами, но чаще всего кальцитом (Левинсон-Лессинг, Струве [Levinson-Lessing, Struve], 1963). В качестве ювелирно-поделочного материала септарии входят в группу минеральных агрегатов природных неорганических веществ (Киевленко [Kievlenko], 2001). Септарии широко распространены в морских глинистых осадочных породах разного возраста, характеризуются большими размерами, высокой декоративностью, положительными технологическими характеристиками, позволяющими изготавливать из них широкий ассортимент интерьерных и ювелирных изделий. На мировом рынке представлены изделия из септарий Мадагаскара (Петроченков [Petrochenkov], 2019), Марокко (Petrochenkov, 2023), а также России (Петроченков и др. [Petrochenkov et al.], 2018; Барабошкин, Петроченков [Baraboshkin, Petrochenkov], 2022; Петроченков, Быховский [Petrochenkov, Bykhovsky], 2022; Петроченков [Petrochenkov], 2023).

В России сбор и обработка септарий проводятся в Ульяновской обл., Адыгее, Дагестане (Матюшков и др. [Matyushkov et al.], 2014), Карачаево-Черкесии (Петроченков [Petrochenkov], 2023), Кабардино-Балкарии. Известны септарии высокой декоративности и в Республике Северная Осетия-Алания (Барабошкин, Петроченков [Baraboshkin, Petrochenkov], 2022), в Приморском крае и на о. Сахалин. Сбор септарий осуществляется в руслах и береговых обрывах рек, часто вместе с аммонитами декоративного и ювелирно-поделочного качества, без горных выработок, что не требует значительных материальных затрат и не нарушает экологию среды. Тем не менее септарии остаются

слабоизученными геммологически и не входят в перечень полезных ископаемых (камнесамоцветное сырье) России (Петроченков, Быховский [Petrochenkov, Bykhovsky], 2022).

В настоящей статье впервые представлены результаты минералого-геохимических и геммологических исследований септарий ювелирно-поделочного качества. Сахалин, часто содержащий раковины аммонитов прекрасной сохранности (Барабошкин, Петроченков [Baraboshkin, Petrochenkov], 2023). Целью работы являлось установление стратиграфического положения септарий, что очерчивает критерии их поиска; определение минерального и химического состава, структурных особенностей, указывающих на декоративные и технологические характеристики; проведение экологической оценки.

Для изучения возможности использования септарий в качестве ювелирно-поделочного материала были собраны характерные образцы в руслах р. Сусуя и его левого притока в окрестностях пос. Синегорск и р. Найденова в окрестностях пос. Быков (рис. 1). Из септарий были изготовлены полированные пластины (рис. 2, А), вставки для ювелирных изделий (рис. 2, В, С) и сами изделия (рис. 2, D). В настоящее время септарии Сахалина в качестве ювелирно-поделочного материала не используются. В небольших объемах коллекционерами и предпринимателями проводится сбор содержащихся в них раковин аммонитов в качестве декоративных образцов.

Материал и методы

Собранные из различных мест образцы септарий (25 образцов) по декоративным и технологи-



Рис. 1. Места сбора септарий. Долина р. Найденова (окрестности пос. Быков) с выходами верхнемеловых отложений в береговых обрывах и конкрециями с аммонитами и септариями в русле (А); септария с хорошо проявленными прожилками кальцита на выветрелой поверхности, найденная в русле левого притока р. Сусуя (окрестности пос. Синегорск) (В)

Fig. 1. Septaria collecting sites. The valley of the Naydenov River (near settlement of Bykov) with Upper Cretaceous outcrops in coastal cliffs and nodules with ammonites and septaria in the channel (A); a septarium with well-visible veins of calcite on the weathered surface discovered in the channel of the left tributary of the Susuya River (near settlement of Sinegorsk) (B)

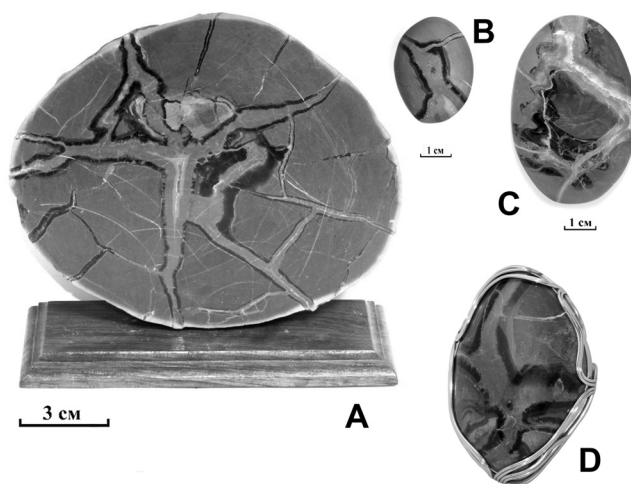


Рис. 2. Украшения из сахалинских септарий: А – полированный спил, В – кабошон, С – кабошон с фрагментом раковины аммонита, D – кольцо

Fig. 2. Jewelry from Sakhalin septaria: A – polished cut, B – cabochon, C – cabochon with an ammonite shell fragment, D – ring

ческим характеристикам близки, что позволило провести их совместное изучение. Комплекс исследований септарий ювелирно-поделочного качества осуществлен в лабораториях МГРИ, МГУ, ВИМС, ИГЕМ РАН. Он включал определение микротвердости (шесть определений), плотности (шесть определений), люминесценции (восемь образцов), оптико-петрографический анализ (три шлифа), количественное установление минерального, химического состава, радиационных характеристик (одна объединенная проба), электронно-зондовые исследования (два образца).

Количественное определение химического состава конкреций выполнено методом рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минераграфический анализы выполнены с использованием микроскопов «Полам Р-112» и «Leika DMRX». Микротвердость определялась на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и выдержкой 15 сек. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multi-spec System Eickhorst» с $\lambda = 254$ и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на дифрактометре «X'Pert PRO MDP». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратно рассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Радиационно-гигиеническая оценка сеп-

тарий проводилась в лаборатории изотопных методов анализа ВИМС по аттестованной методике, внесенной в Реестр Росстандарта.

Стратиграфическое положение септарий

Септарии на Сахалине встречаются в верхнемеловых отложениях верхнесеноманского подъяруса – нижнекампанского подъяруса (быковская свита), представленных глинистыми алевролитами и аргиллитами. Их выходы прослеживаются протяженной полосой от южной части острова до мыса Жонкиер на севере, что позволяет предполагать широкое распространение септарий. Эти отложения формировались в бассейне в тылу аккреционной островной дуги. Условия осадконакопления глубокого шельфа и склона бассейна постепенно сменялись более мелководными, а затем и прибрежно-морскими. В них содержится большое количество остатков морских животных, в том числе гигантских аммонитов, иноцерамов, гастропод (Матюшков и др. [Matyushkov et al.], 2014).

Септарии распределены в породах неравномерно, иногда они образуют скопления в виде горизонтов. При размыве берегов ручьев и рек происходит концентрация септарий в русле, где их удобно собирать (рис. 1). После паводков и ливней в русло поступают новые и новые септарии. При выветривании прожилки кальцита более устойчивы, чем вмещающий мергель, и становятся хорошо видны на поверхности септарий (рис. 1, В), что облегчает их поиски. Септарии обычно имеют размер от 8 до 50 см и шаровидную форму. В них часто присутствуют и раковины аммонитов, повышая их декоративность.

Геммологические характеристики септарий

По данным РКФА, септарии в среднем состоят (мас. %): кальцит – 88,6, кварц – 3,2, плагиоклаз (альбит) – 3,1, иллит – 2, апатит (F) – 1,1, каолинит – 1,0, доломит – 0,8 и пирит – 0,2. Соотношение минералов может меняться в зависимости от количества прожилков в септарии. Кварц, плагиоклаз, иллит и каолинит связаны с морским осадком. Кальцит, апатит, доломит и пирит – новообразованные минералы, возникшие в процессе диагенеза и формирования септарий.

По данным РФА (табл. 1), сумма CaO и P₂O₅ – 83,42 мас. %, что соответствует кальциту, отражая преимущественно карбонатный состав септарий. Al₂O₃ и SiO₂, в сумме составляющие 11,57 мас. %, отражают содержание кварца и алюмосиликатов. Na₂O и K₂O могут входить в состав алюмосиликатов, MgO, MnO и Fe – в состав кальцита и доломита. Низкое содержание S (0,11 мас. %) отражает незначительное количество пирита в сеп-

тариях, а P_2O_5 (0,5 мас. %) – апатита. Установлен-
ное содержание TiO_2 (0,16 мас. %) может указывать
на присутствие минералов титана, характерных для
прибрежно-морских отложений. Из элементов-
примесей установлено повышенное содержание
(мас. %): Sr – 0,0365 и Ba – 0,0269, а в интервале
0,0002–0,001 – Cr, V, Cu, Zn, Rb и Zr (табл. 2).

Содержание канцерогенных элементов в сеп-
тариях (включая Pb и As) находится ниже чувстви-
тельности метода (табл. 2) и не превышает тре-
бования безопасности (ГОСТ ИСО 8124-3-2001,
редакция от 2006.06.01). Отметим, что специаль-
ные нормативные документы по предельному со-
держанию канцерогенных элементов для камнеса-
моцветного сырья не утверждены.

По данным испытаний радиационных харак-
теристик септарий, удельная активность радиону-
клидов составила (Бк/кг): $^{226}Ra \leq 20$, $^{228}Ra \leq 20$, ^{224}Ra
 ≤ 20 , $^{232}Th \leq 20$, $^{40}K - 193$, а $A_{эфф} - 66$, при допусти-
мой $A_{эфф} < 740$. Таким образом, септарии могут ис-
пользоваться без ограничения по радиационному
фактору. Содержание радиоактивных элементов,
по данным РФА (табл. 2), ниже чувствительности
метода, что подтверждает сделанный вывод.

Ширина кальцитовых прожилков в септари-
ях от 1 до 20 мм. Рисунок прожилков очень раз-
нообразен и обладает высокой декоративностью.
Характерны радиально расходящиеся из центра
септарий прожилки, выклинивающиеся у поверх-
ности. Наиболее широкие прожилки характерны
для центральной части септарий. Радиальные про-
жилки пересекаются серией концентрических. Их
размер не превышает 5 мм (рис. 2, А).

Характерной чертой кальцитовых прожилков
является их симметричное строение относительно
стенок трещин, четкий, ровный контакт с мерге-

лем. Жеоды встречаются в прожилках редко, име-
ют небольшие размеры (около 1–2 мм). Для про-
жилков характерно сочетание темно-коричневого
и коричневого цветов. Переход слоев различного
цвета хорошо выражен. Темно-коричневые слои,
в разной степени просвечивающие, занимают,
как правило, зальбанды прожилков. Их ширина
1–5 мм. Коричневые слои непрозрачные, занима-
ют центральную часть прожилков. Фрагментарно
они могут образовывать тонкие (около 1 мм) слои
и на контакте с мергелем. В центральных частях
широких прожилков иногда присутствуют неболь-
шие фрагменты светло-коричневого непрозрачно-
го, а также бесцветного полупрозрачного кальцита.
Текстура кальцитовых прожилков полосчатая, об-
разованная чередованием разноокрашенных слоев.
Видимые минеральные включения отсутствуют.

Кальцитовые прожилки плотные, разламывают-
ся с трудом, с неровным, раковистым изломом. При
раскалывании септарий раскол часто проходит по
осевой части прожилков. Плотность кальцитовых
прожилков 2,68–2,76 г/см³. Микротвердость каль-
цита, кг/мм²: темно-коричневого – от 184 до 240,
коричневого – 170–180, светло-коричневого – 188
и бесцветного – 189. Наблюдается отчетливая лю-
минесценция в желтых тонах слоев коричневого
цвета. Кальцитовые прожилки хорошо полируют-
ся до стеклянного блеска с ровной поверхностью.

Мергель тонкозернистый, серого цвета, плот-
ный, устойчив при ударе. Плотность мергеля
2,59–2,66 г/см³. Плотность мергеля с прожилка-
ми кальцита – 2,63–2,72 г/см³. Микротвердость
мергеля изменяется в широком диапазоне от
137 до 250 кг/мм². Люминесценция мергеля не про-
явлена. На полированной поверхности мергеля по
металлическому блеску и желтому цвету видна ред-

Химический состав септарий, по данным РФА

Table 1

Chemical composition of septaria according to XRF data

Содержание компонента, мас. %											
Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe _{общ}	P ₂ O ₃	S _{общ}	ППП*
0,16	1,38	2,73	8,84	0,46	45,60	0,16	0,67	1,08	0,50	0,11	37,82

Примечание: *ППП – потери при прокаливании

Элементы-примеси в септариях, по данным РФА

Table 2

The content of the minor elements in septaria according to XRF data

Содержание компонента, мг/кг (×10 ⁻⁴ мас. %)											
Cr	V	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	Zr	U	Th	Pb	As
12	13	13	30	24	365	269	19	<5	<5	<10	<10

кая, неравномерно распределенная, тонкая (около 0,1 мм) вкрапленность пирита. Мергель преимущественно хорошо полируется до стеклянного блеска с ровной поверхностью.

Оптико-петрографические и электронно-зондовые исследования

Изучены прозрачные шлифы и аншлифы, включающие прожилки кальцита различной толщины, цвета, прозрачности и структуры в мергеле тела конкреции.

В шлифе при параллельных николях разнообразные по окраске и прозрачности слои кальцита раз-

личаются по оттенкам. Линия контакта слоев четко выражена, ровная, волнистая, а с непрозрачным коричневым слоем тонкозубчатая. Контакт слоев, растущих от противоположных стенок трещины, проходит по середине прожилка по ровной хорошо выраженной линии. В скрещенных николях слои выделяются по структуре, размеру и морфологии кристаллов. Кристаллы ориентированы перпендикулярно стенкам прожилков (рис. 3, А–С).

На контакте с мергелем образованы кристаллики призматической копьевидной формы, размером менее 0,1 мм. В отдельных широких прожилках размер кристаллов достигает 0,5 мм по удлинению. На них нарастают плотно сросшиеся, тонкоприз-

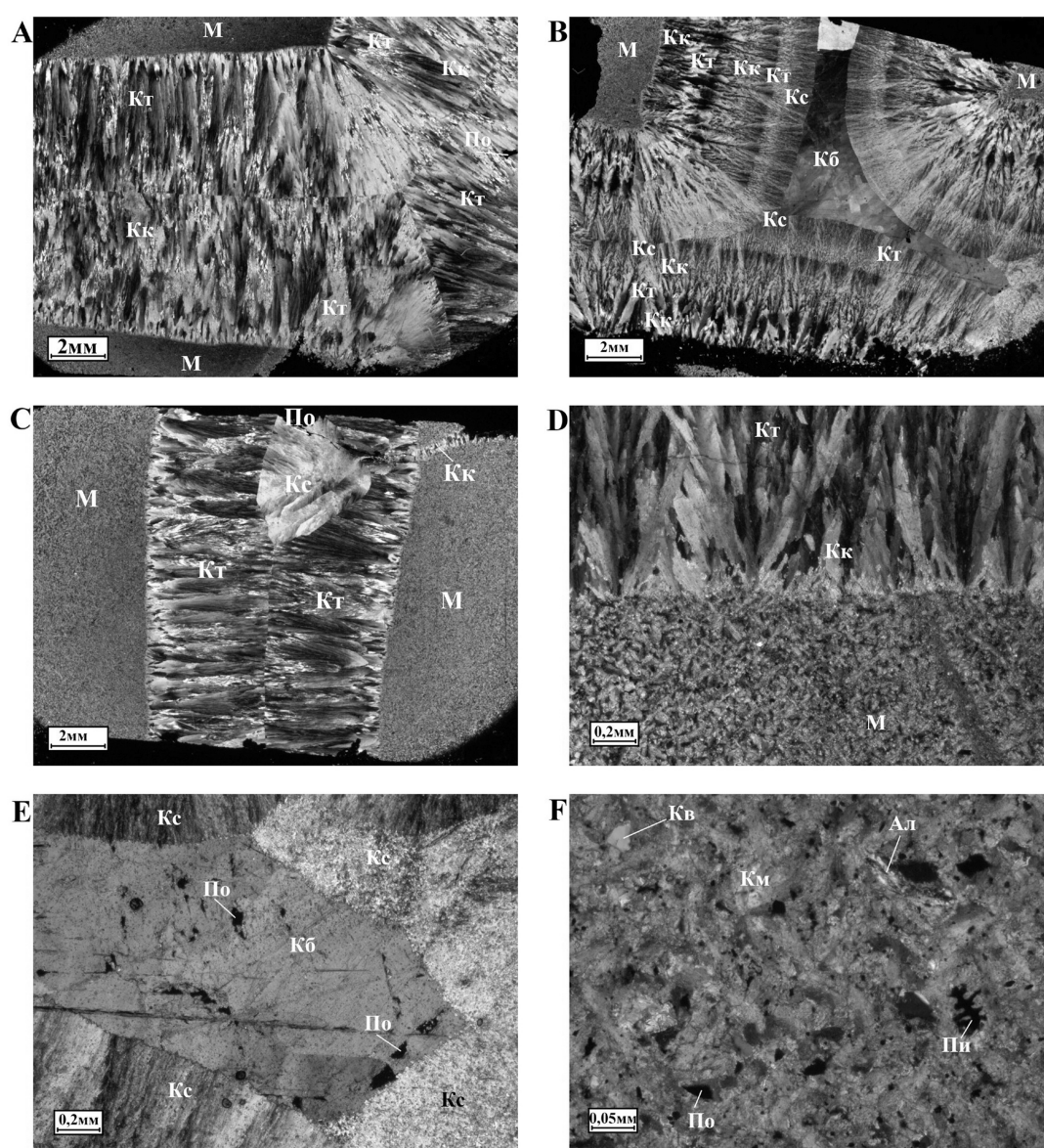


Рис. 3. Прозрачные шлифы фрагментов септарий, включающие прожилки кальцита в мергеле (А–С) и детализации (D–F). Николи +. Кт – кальцит темно-коричневый, Кк – кальцит коричневый, Кс – кальцит светло-коричневый, Кб – кальцит бесцветный, Км – карбонат мергеля, Кв – кварц, Ал – алюмосиликат, Пи – пирит, По – поры

Fig. 3. Thin sections of septaria fragments, including calcite veins in the marl (A–C) and details (D–F). Nicols +. Кт – dark-brown calcite, Кк – brown calcite, Кс – light-brown calcite, Кб – uncolored calcite, Км – carbonate of marl, Кв – quartz, Ал – aluminosilicate, Пи – pyrite, По – pores

матические, копьевидные, сильно удлинённые кристаллы, образующие агрегаты сноповидной формы с волнистым угасанием. Кристаллы образуют первоначальный непрозрачный слой кальцита коричневого цвета (рис. 3, А–D).

Просвечивающий слой темно-коричневого цвета образован более крупными и более изометричными плотно сросшимися кристаллами призматической формы с ровным угасанием, размером до 1 мм. Их рост начинался на окончаниях кристаллов предыдущего слоя, без коррозии и замещения, что определило тонкозубчатую форму контакта (рис. 3, А, В, D). В других прожилках слой образован плотно сросшимися, тонкопризматическими, копьевидными, игольчатыми кристаллами, образующими вытянутые кустовидные агрегаты с волнистым угасанием, размером до 2,5 мм. Промежутки между агрегатами выполнены игольчатыми копьевидными кристалликами, размером менее 0,5 мм. В образце они непрозрачные, светло-коричневого цвета (рис. 3, С).

Следующий слой непрозрачного коричневого кальцита формировался на окончаниях кристаллов предыдущего слоя без их замещения и по структуре близок к первоначальному слою. Для него характерны более мелкие призматические игольчатые кристаллы, которые образуют агрегаты, блоки сноповидной и кустовидной формы размером до 1,2 мм (рис. 3, А–D).

Слой непрозрачного светло-коричневого кальцита также формировался на кристаллах предыдущего слоя без их замещения. Для этого слоя характерны агрегаты кустовидной формы, но образованные более мелкими кристаллами. Многие агрегаты и блоки кристаллов пересекают контакт слоев без изменения морфологии, образуя слой своими более широкими окончаниями (рис. 3, В, С, Е). На контакте с крупнокристаллическим кальцитом присутствуют фрагменты перекристаллизации мелких кристаллов слоя (рис. 3, Е).

Прослой темно-коричневого просвечивающего кальцита, расположенный в светло-коричневом слое, структурно слабо выражен. Для него характерны более изометричные и более крупные кристаллики кальцита в кустовидных агрегатах (рис. 3, В).

Фрагмент бесцветного полупрозрачного кальцита, расположенного в центральной части прожилков, образован плотно сросшимися, крупными (до 1,5 мм) кристаллами изометричной призматической формы. Размер кристаллов определяется шириной фрагмента. Контакт со слоем светло-коричневого кальцита ровный, четко выражен (рис. 3, В, Е).

Контакт слоев на пересечении прожилков не выражен. Характерен плавный, веерообразный переход агрегатов кристаллов сноповидной и ку-

стовидной формы, образующих слои кальцита (рис. 3, А, В). Это указывает на одновременную с близкими условиями минерализацию трещин.

Узкий прожилок образован плотно сросшимися призматическими, удлинёнными кристаллами с ровным угасанием, размером до 0,15 мм по удлинению. Они ориентированы перпендикулярно стенкам трещин и образуют два симметричных слоя шириной около 2,5 мм. Контакт слоев проходит по центру прожилка, имеет ровный контур. Узкий прожилок внедряется в широкий, что указывает на его более позднее образование. На его окончании расположен фрагмент треугольной формы, размером около 4,5 мм (рис. 3, С), в образце светло-коричневого цвета. Он образован в результате перекристаллизации кальцита широкого прожилка. Фрагмент состоит из крупных (до 2,5 мм) агрегатов сноповидной и кустовидной формы с волнистым угасанием, образованных плотно сросшимися призматическими удлинёнными кристаллами кальцита различного размера. Участки, образованные более крупными кристаллами, в образце просвечивающие, более мелкими – непрозрачные.

Количество пор в слоях кальцита незначительно, а их размер не превышает 0,1 мм. Они расположены преимущественно в крупнокристаллическом бесцветном кальците (рис. 3, Е). Минеральные включения в кальците не фиксируются.

Вмещающий мергель тонкозернистый с пелитовой структурой (рис. 3, F). Метасоматические изменения на контакте с кальцитовыми прожилками не наблюдаются. В мергеле присутствуют включения кварца, алюмосиликатов и пирита, сцементированные тонкодисперсным кальцитом. Включения кварца и алюмосиликатов округлой и угловатой формы, размером менее 0,08 мм. Включения пирита округлой, изометричной формы, образуют скопления со сложным контуром, размером до 0,07 мм. Вероятно присутствие единичных включений минералов титана размером менее 0,05 мм, для которых характерен четко выраженный призматический контур. Кристаллы кальцита размером около 0,01 мм образуют мономинеральные выделения между включениями. Количество пор невелико. Часть из них связана с выкрашиванием включений при подготовке шлифа.

В ОРЭ структура кальцита прожилков не проявлена, слабо выделяются слои различного цвета (рис. 4, 5, А–Е). По данным РСМА, слои кальцита в прожилках отчетливо различаются по содержанию Mg, Mn и Fe (табл. 3). В полупрозрачных темно-коричневых и коричневых слоях фиксируется содержание в среднем (мас. %): Mg – 1,09, Mn – 0,25, Fe – 0,11, в одном спектре замечен P – 0,15. В просвечивающих темно-коричневых и коричневых слоях возрастает содержание (мас. %) Mg – 1,23,

Химический состав кальцита в септариях, по данным РСМА

Table 3

Chemical composition of calcite in septaria according to XSMA data

Характеристика кальцита	Содержания элемента, мас. %				
	Mg	Mn	Fe	Ca	O
Полупрозрачный, темно-коричневый, коричневый (6)**	<u>0,75–1,28*</u> 1,09	<u>0,10–0,40</u> 0,25	<u>0,10–0,12</u> 0,11	<u>37,51–39,21</u> 39,30	<u>45,53–47,03</u> 46,53
Просвечивающий, темно-коричневый, коричневый (3)	<u>1,14–1,36</u> 1,23	<u>0,24–0,49</u> 0,39	<u>0,37–0,58</u> 0,47	<u>37,58–38,44</u> 38,07	<u>46,08–47,01</u> 46,48
Непрозрачный, коричневый (3)	<u>0,11–0,30</u> 0,20	<u>0,56–0,92</u> 0,76	<u>0,58–0,79</u> 0,69	<u>36,42–37,13</u> 36,72	<u>46,14–46,32</u> 46,23
Непрозрачный светло-коричневый (3)	<u>0,12–0,24</u> 0,18	<u>1,06–1,28</u> 1,17	<u>1,33–1,41</u> 1,37	<u>36,16–36,70</u> 36,43	<u>45,18–45,81</u> 45,44
Полупрозрачный, бесцветный (3)	0,00	<u>0,12–0,24</u> 0,18	0,00	<u>38,64–39,53</u> 39,09	<u>47,39–47,79</u> 47,56
Мергель (5)	<u>0,20–0,48</u> 0,30	<u>0,38–1,00</u> 0,71	<u>0,10–0,73</u> 0,38	<u>36,05–39,61</u> 37,92	<u>46,84–47,66</u> 47,19

Примечание: * – над чертой крайние значения, под чертой – средние; ** – количество спектров

Mn – 0,39 и Fe – 0,47. В непрозрачных коричневых слоях снижается содержание Mg до 0,20%, возрастает содержание Mn до 0,76% и Fe до 0,69%, в одном спектре зафиксирован Sr (0,15 мас. %). В непрозрачных светло-коричневых слоях снижается содержание Mg до 0,18% и существенно возрастает содержание Mn до 1,17 % и Fe до 1,39%. Полупрозрачный бесцветный кальцит характеризуется отсутствием Mg и Fe и низким содержанием Mn (0,18 мас. %).

На контакте непрозрачных слоев коричневого и светло-коричневого цвета расположен тонкий (менее 0,2 мм) прослой, насыщенный кристаллами апатита. Кристаллы удлиненной и значительно удлиненной призматической формы, размером 25–75 мкм по удлинению (рис. 5, D). Характерны тонкозернистые выделения апатита со сложным контуром, размером до 50 мкм (рис. 5, E). В апатите, по данным РСМА, из элементов-примесей фиксируется повышенное содержание F от 3,93 до 7,52 мас. %, что позволяет отнести его к фторапатиту.

В кальците прожилков присутствует небольшое количество неравномерно распределенных микропор размером преимущественно менее 20 мкм (рис. 5, А–Е). Наибольшее их количество характерно для непрозрачных слоев. В центральной части прожилков на контакте слоев, растущих от противоположных стенок, расположены тонкие (менее 25 мкм) трещины и микропоры (рис. 5, А, В).

Мергель основной массы конкреции тонкозернистый. В нем выделяются включения кварца, алюмосиликатов и пирита, сцементированные кальцитом (рис. 5, F). Включения кварца угловатой и округлой формы, размером до 60 мкм, хоро-

шо видны в ОРЭ. Элементы-примеси в кварце не фиксируются. Включения алюмосиликатов также угловатой и округлой формы, размером до 30 мкм. Часть из них слабопроявлена в ОРЭ. По высокому содержанию Na (до 8,46 мас. %) можно выделить альбит. В отдельных спектрах фиксируется и повышенное (до 5,5 мас. %) содержание К, что может указывать и на присутствие микроклина. Ряд алюмосиликатов содержит мало Na и К, в них повышенные концентрации Са и Fe, которые можно отнести к иллиту. Встречаются алюмосиликаты с высоким (до 16,95 мас. %) содержанием Fe при низком К и Na, что может свидетельствовать о присутствии глауконита.

Включения пирита равномерно распределены в мергеле и имеют округлую форму и размер от 2 до 85 мкм (рис. 5, С, F). Элементы-примеси в пирите не фиксируются. Пирит образовался, по видимому, на стадии диагенеза сингенетично с кальцитом.

Кальцит образует мономинеральные выделения сложной формы между включениями кварца и алюмосиликатов размером до 50 мкм (рис. 5, F). Из элементов-примесей в кальците фиксируется содержание в среднем (мас. %): Mg – 0,30, Mn – 0,71 и Fe – 0,38 (табл. 3). В отдельных спектрах фиксируется повышенное содержание Si, Al и К, что указывает на тесное срастание кальцита с кварцем и алюмосиликатами. В одном спектре установлен титан (0,44 мас. %), что свидетельствует о присутствии в мергеле минералов титана. Микропоры в мергеле многочисленны, но их размер преимущественно не превышает 30 мкм.

До настоящего времени процесс образования септарий полностью не расшифрован. Он разделя-

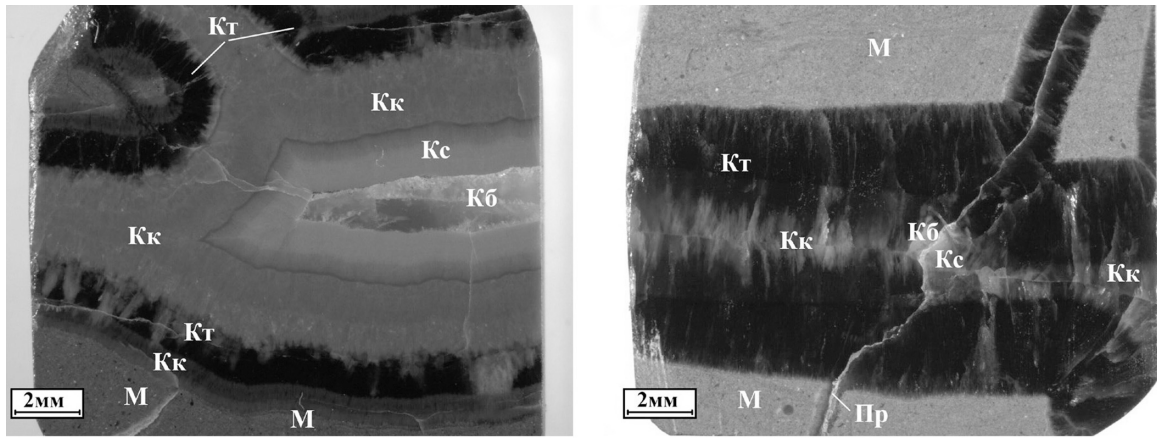


Рис. 4. Аншлифы фрагментов септарий, включающие прожилки кальцита различной толщины, прозрачности и цвета в мергеле (А, В). Кт – кальцит просвечивающий, полупрозрачный темно-коричневого цвета, Кк – кальцит непрозрачный коричневый, Кс – кальцит непрозрачный светло-коричневый, Кб – кальцит полупрозрачный бесцветный, М – мергель, Пр – тонкий кальцитовый прожилок в мергеле

Fig. 4. Polished sections of fragments of septaria, including veins of calcite of various thickness, transparency and color in the marl (A, B). Кт – calcite translucent, translucent dark-brown, Кк – opaque-brown calcite, Кс – opaque light-brown calcite, Кб – translucent uncolored calcite, М – marl, Пр – thin calcite vein in the marl

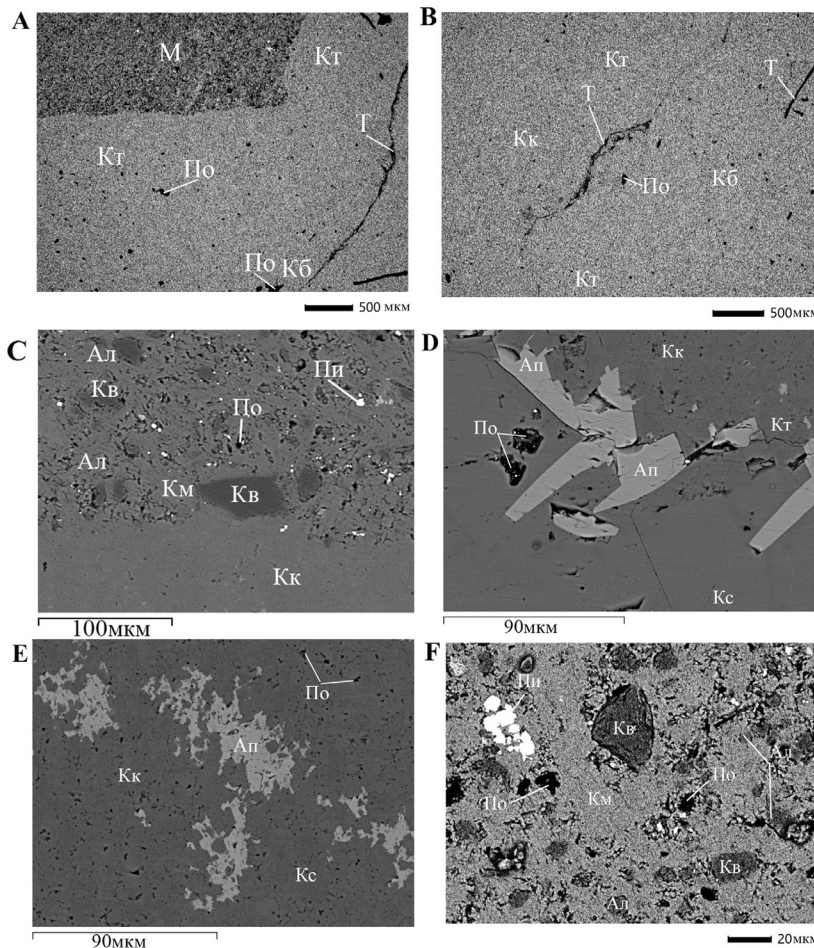


Рис. 5. Фрагменты аншлифов септарий (рис. 4), включающие мергель (М) и прожилки кальцита, образованные слоями различного цвета и прозрачности. Микрозонд, ОРЭ. Кт – кальцит просвечивающий, полупрозрачный, темно-коричневый; Кк – кальцит непрозрачный коричневого цвета; Кс – кальцит непрозрачный светло-коричневого цвета; Кб – кальцит полупрозрачный бесцветный; Км – кальцит мергеля; Ап – апатит; Кв – кварц; Ал – алюмосиликаты; Пи – пирит; По – поры; Т – трещина

Fig. 5. Fragments of polished sections of septaria (Fig. 4), including marl (М) and calcite veins formed by layers of various color and transparency. Microprobe, ORE. Кт – calcite translucent, translucent dark brown, Кк – opaque-brown calcite; Кс – opaque light-brown calcite; Кб – translucent colorless calcite; Км – calcite of the marl; Ап – apatite; Кв – quartz; Ал – aluminosilicates; Пи – pyrite; По – micropores; Т – crack

ется на два этапа. На первом происходит формирование карбонатной конкреции, чаще шаровидной (иногда вытянутой) формы, путем роста минеральных агрегатов вокруг ядра-затравки, сингенетично с осаждением глинистого морского осадка на самых ранних стадиях диагенеза. Затравками, иницирующими вокруг себя отложение карбонатов, могут служить органические остатки, в том числе и раковины моллюсков с фрагментами их тел. Образование конкреций происходит очень быстро (от нескольких месяцев до нескольких лет), что обеспечивает консервацию и хорошую сохранность раковин (Yoshida et al., 2018). На следующих стадиях диагенеза может происходить формирование септарий в результате обезвоживания, уплотнения вещества конкреции при одновременном воздействии напряжений растяжения, в результате которых образуются трещины. В дальнейшем происходит их минерализация кальцитом (Атлас ..., [Makedonov, Predtechensky], 1988; Петтиджон [Pet-tijohn], 1981; Hounslow, 2003).

Заключение

Септарии ювелирно-поделочного качества на Сахалине связаны с верхнемеловыми (верхнесеноманский подъярус – нижнекампанский подъярус) отложениями. Они состоят преимущественно из кальцита – около 89 мас. %. В них также установлены (мас. %): кварц – 3,2, плагиоклаз (альбит, микроклин) – 3,1, иллит (глауконит) – 2, каолинит – 1,0, вероятно присутствие минералов титана, они связаны с терригенными морскими осадками. Минералы, новообразованные в процессе диагенеза осадка и при формировании септарий (мас. %): апатит – 1,1, доломит – 0,8 и пирит – 0,2. Из элементов-примесей установлено повышенное содержание (мас. %): Sr – 0,0365 и Ba – 0,0269.

Прожилки кальцита состоят из симметрично расположенных слоев различной ширины, цвета, прозрачности и структуры. Нарастание слоев шло одновременно и с одинаковой скоростью от противоположных стенок трещины, без их метасоматического замещения. В результате контакт противоположно растущих слоев проходит в центре прожилка. Более широкие прожилки образованы более широкими слоями и с более крупными кристаллами. Выделяются слои: просвечивающие до полупрозрачных темно-коричневого и коричневого цвета, непрозрачные коричневого и светло-коричневого цвета, а также полупрозрачные и прозрачные бесцветные. Непрозрачные слои образованы меткими игольчатыми копьевидными тонкопризматическими разноориентированными кристаллами, образующими агрегаты сноповидной и кустовидной формы. Просвечивающие и по-

лупрозрачные слои образованы более крупными копьевидными тонкопризматическими кристаллами с близкой ориентировкой, также образующие агрегаты сноповидной и кустовидной формы. Имеет место перекристаллизация мелких кристаллов с образованием более крупных. Полупрозрачные и прозрачные бесцветные слои образованы плотно сросшимися крупными призматическими кристаллами.

Различные по окраске и прозрачности слои характеризуются различным содержанием Mg, Mn и Fe. Из минеральных включений в кальцитовых прожилках установлен апатит с высоким содержанием фтора. Цвет кальцитовых слоев определяется прозрачностью, структурой, морфологией и размером кристаллов, содержанием элементов-примесей. Количество пор и минеральных включений в кальцитовых прожилках невелико, что обуславливает высокое качество полировки.

Мергель основной массы конкреции тонкозернистый, спелитовой структурой, метасоматические изменения на контакте с прожилками кальцита не проявлены. Кристаллы кальцита, составляющие цемент, размером около 0,01 мм, образуют мономинеральные выделения между включениями. Из элементов-примесей в кальците фиксируется повышенное содержание Mg, Mn и Fe, которое отличается от их концентраций в прожилках. В мергеле присутствует большое количество микропор, а также минералов с низкой твердостью, осложняющих его полировку.

Септарии характеризуются широким диапазоном размеров, высокой декоративностью, положительными технологическими и экологическими характеристиками. Установленный минеральный и химический состав септарий, включая микровключения и элементы-примеси, позволяет проводить их идентификацию. Септарии встречаются в больших количествах, могут добываться вместе с другими видами ювелирно-поделочного сырья (аммониты, окаменелое дерево) в руслах рек и береговых обрывах Сахалина без использования горных выработок, без больших материальных затрат и нарушений экологии среды.

Широкая распространенность, значительные ресурсы и доступность добычи септарий на территории России делают их перспективным видом камнесамоцветного сырья.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова с использованием оборудования, приобретенного по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас конкреций / Ред. А.В. Македонов, Н.Н. Предчетенский // Труды Всесоюзного научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского. 1988. Т. 340. 323 с.

Барaboшкин 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 (МОИП). Отдел геологический. 2022. Т. 97, вып. 2. С. 35–44.

Барaboшкин Е.Ю., Петроченков Д.А. Ювелирно-поделочные раковины верхнемеловых аммонитов о. Сахалин: минеральный состав и особенности фоссилизации // Бюллетень Московского общества испытателей природы (МОИП). Отдел геологический. 2023. Т. 98, вып. 5–6. С. 21–46.

Киевlenko Е.А. Геология самоцветов. М.: Земля: Ассоциация «Экост», 2001. 582 с.

Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Струве Э.А. Петрографический словарь. М.: Госгеолотехиздат, 1963. 447 с.

Матюшков Г.В., Соловьев А.В., Мельников О.А. Геологическое прошлое острова Сахалин. Южно-Сахалинск: Сахалинский краеведческий музей, 2014. 124 с.

Петроченков Д.А. Аммониты и септарии месторождения Ататао, Мадагаскар. Методы добычи, геммологические характеристики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 3. С. 142–150.

Петроченков Д.А. Ювелирно-поделочные септарии Республики Карачаево-Черкесия // Природа. 2023. № 9. С. 13–25.

Петроченков Д.А., Барaboшкин Е.Ю., Быстров И.Г. Ювелирно-поделочные септарии Республики Дагестан // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12, № 1. С. 79–87.

Петроченков Д.А., Быховский Л.З. Септарии – нетрадиционный вид ювелирно-поделочного сырья: перспективы добычи // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2022. № 3–4. С. 35–42.

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

Hounslow M.W. Septarian concretions // Sedimentology. Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks / Ed. G.V. Middleton. Berlin; Heidelberg: Springer, 2003. P. 657–659.

Petrochenkov D.A. Mineral composition of jewelry septaria of Morocco // Proceedings of the conference “The General Meeting of the Russian Mineralogical Society and the Fedorov Session” / Ed. Yu. Marin. Switzerland: Springer, 2023. P. 575–581.

Yoshida H., Yamamoto K., Minami M., Katsuta N., Sin-ichi S., Metcalfe R. Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis // Scientific Reports. 2018. Vol. 8, N 6308. P. 1–9.

REFERENCES

Baraboshkin E.Yu., Petrochenkov D.A. Stratigraphic position and mineral composition of jewelry and ornamental septaries from the Middle Aptian of the Republic of North Ossetia-Alania (North Caucasus). *Byulleten Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody* (MOIP). Otdel geologicheskii. 2022. 97(3):34–44. (In Russian).

Baraboshkin E.Yu., Petrochenkov D.A. Jewelry-making shells of upper Cretaceous ammonites of Sakhalin Island: mineral composition and features of fossilization. *Byulleten Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody* (MOIP). Otdel geologicheskii. 2023. 98(5–6):21–46. (In Russian).

Kievlenko E.A. Geology of gems. Moscow: The Earth: Association “Ecost”, 2001:1–582. (In Russian).

Levinson-Lessing F.Yu., Struve E.A. Petrographic Dictionary. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1963:1–447. (In Russian).

Makedonov A.V., Predtechensky N.N. (eds). Atlas of nodules. *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo geologicheskogo instituta im. A.P. Karpinskogo*. 1988. 340:1–323. (In Russian).

Matyushkov G.V., Soloviev A.V., Melnikov O.A. Geological Past of Sakhalin Island. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin Regional Museum of Local Lore, 2014:1–124. (In Russian).

Petrochenkov D.A. Ammonites and septaria of Atatao deposit, Madagascar. Features of gemology and produc-

tion. *Gornyi informacionno-analiticheskiy byulleten*. 2019. 3:142–150. (In Russian).

Petrochenkov D.A. Jewelry and ornamental septaria of the Karachay-Cherkes Republic. *Priroda*. 2023. 9:13–25. (In Russian).

Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu., Bystrov I.G. Jewelry-ornamental septaries of the Republic of Dagestan. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*. 2018. 12(1):79–87. (In Russian).

Petrochenkov D.A., Bykhovsky L.Z. Septaria as an unconventional jewelry and ornamental raw material: production prospects. *Mineral resources of Russia. Economics and management*. 2022. 3–4:35–42. (In Russian).

Pettijohn F.J. Sedimentary Rocks. Moscow: Nedra Publishing House, 1981:1–751. (In Russian).

Hounslow M.W. Septarian concretions. In: G.V. Middleton (ed.). Sedimentology. Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks. Berlin; Heidelberg: Springer, 2003:1–657–659.

Petrochenkov D.A. Mineral Composition of Jewelry Septaries of Morocco. In: Proceedings of the conference “The General Meeting of the Russian Mineralogical Society and the Fedorov Session”. Yu. Marin (ed.). Switzerland: Springer, 2023:1–581.

Yoshida H., Yamamoto K., Minami M., Katsuta N., Sinichi S., Metcalfe R. Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. *Scientific Reports*. 2018. 8(6308):1–9.

Сведения об авторах: *Петроченков Дмитрий Александрович* – канд. геол.-минерал. наук, доцент, зав. кафедрой минералогии и геммологии РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, *e-mail*: p-d-a@mail.ru; *Барабошкин Евгений Юрьевич* – докт. геол.-минерал. наук, проф. каф. региональной геологии и истории Земли геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail*: ejbaraboshkin@mail.ru.

Information about the authors: *Dmitry A. Petrochenkov* – Candidate of Science (Geol. and Mineral.), Head of Department Mineralogy and Gemology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, *e-mail*: p-d-a@mail.ru; *Evgeny Yu. Baraboshkin* – Doctor of Science (Geol. and Mineral.), professor of the Department of Regional Geology and Earth History, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University, *e-mail*: ejbaraboshkin@mail.ru.

Поступила в редакцию 27.12.2024
Получена после доработки 22.01.2025
Принята к публикации 12.05.2025

Received 27.12.2024
Revised 22.01.2025
Accepted 12.05.2025