

## Декоративно-ювелирные гетероморфные аммониты из кампанских отложений (р. Северная Сосьва, Северный Урал): новый минеральный тип

Представлены результаты изучения аммонитов с гетероморфной раковиной из кампанских отложений верхнего мела (р. Северная Сосьва) в качестве полезного ископаемого – декоративных образцов и ювелирного материала.

Комплекс исследований раковин аммонитов включал определение плотности, микротвёрдости, люминесценции, минерального и химического состава, оптико-петрографические и электронно-микроскопические исследования. Раковины аммонитов состоят преимущественно из кварца (> 79 мас. %), основная часть которого (> 52 мас. %) представлена аморфной формой. В кремнистом алевролите, выполняющем разрушенные камеры аммонита установлены также кристобалит, тридимит, альбит, микроклин, глауконит, иллит и смектит, пирит, ильменит, гидроксиды железа. Из элементов-примесей установлены повышенные содержания Ba (около 0,0129 мас. %) и Cr, V, Zn, Rb, Sr, Zr (< 0,01 мас. %). По минеральному составу раковины аммонитов выделены в новый кремниевый тип.

Стенки раковин характеризуются яркой цветной иризацией, которая связана с сохранением структуры исходных пластинчатых слоёв арагонита, полностью замещённых кварцем в кристаллической и аморфной форме. Яркая цветная иризация раковин позволяет использовать аммониты в качестве камнесамоцветного материала. Установлен новый минеральный тип аммолита – аммолит кремниевый. Сбор раковин аммонитов может проводиться из кампанских отложений в береговых обрывах или осыпях без горных выработок, что не требует значительных материальных затрат и не нарушает экологию среды.

*Ключевые слова:* аммонит, аммолит, ювелирные материалы, кампанский ярус, верхний мел, Северный Урал.

ПЕТРОЧЕНКОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой <sup>1</sup>, p-d-a@mail.ru

БАРАБОШКИН ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор <sup>2</sup>, ejbaraboshkin@mail.ru

<sup>1</sup> Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), г. Москва

## Decorative-jewelry heteromorphic ammonites from Campanian deposits of the Severnaya Sosva River valley, Northern Urals: A new mineral type

D. A. PETROCHENKOV <sup>1</sup>, E. Yu. BARABOSHKIN <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), Moscow

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow

The article presents results of a study of ammonites with the heteromorphic shell from Campanian deposits of the Upper Cretaceous, Severnaya Sosva River, as an industrial mineral providing the decorative specimens and jewelry material.

The complex of investigation of the ammonite shells included determinations of their density, microhardness, luminescence, mineral and chemical composition and the optical petrographic and electron microscopic studies. The ammonite shells consist predominantly of quartz (more than 79 wt. %) represented mostly (more than 52 wt. %) by an amorphous form. The cherty siltstone filling the destroyed ammonite chambers also contains cristobalite, tridymite, albite, microcline, glauconite, illite and smectite, pyrite, ilmenite, and iron hydroxides. Of the impurity elements, increased contents of Ba (about 0.0129 wt. %) and Cr, V, Zn, Rb, Sr, and Zr (less than 0.01 wt. %) were determined. Based on the mineral composition, the ammonite shells are classified as a new siliceous type.

The walls of the shells are characterized by bright colored iridescence, which is associated with preservation of the structure of the original aragonite lamellas completely replaced by quartz in the crystalline and amorphous forms. The bright colored iridescence of the shells makes it possible to use the ammonites as a gem stone material. A new mineral type of ammolite, the siliceous ammolite, has been established. The ammonite shells may be gathered from the Campanian deposits in coastal cliffs or talus without mining workings, which does not require significant material costs and does not disturb the environment.

*Key words:* ammonite, ammolite, jewelry materials, Campanian, Upper Cretaceous, Northern Urals.

Аммониты и изделия из них в последние десятилетия широко представлены на мировом рынке, включая российский, и спрос на них устойчиво возрастает [7]. Аммониты декоративного и ювелирно-поделочного качества успешно, без значительных материальных затрат добываются и в различных регионах России. Аммониты связаны с отложениями от нижнетриасового (Приморский край) до верхнемелового (Север Красноярского края) возраста, характеризуются разнообразием видов, размеров и минерального состава [6].

По минеральному составу раковин аммонитов, который определяет их декоративные и технологические характеристики, были выделены семь типов: кальцитовый, кальцит-пиритовый, пиритовый, кальцит-апатитовый, кальцит-гётитовый, кальцит-баритовый и кальцит-гипсовый [6, 7]. Особенно высоко ценится в качестве камнесамоцветного материала перламутровый слой раковин аммонитов с яркой цветовой иризацией, получивший название аммолит [5]. Наиболее широко известен на мировом рынке аммолит из Канады [11, 12]. Аммолит, не уступающий по качеству канадскому, был найден на севере Красноярского края. Известны раковины аммонитов с яркой цветной иризацией перламутрового слоя в Ярославской, Ульяновской, Самарской областях. По минеральному составу были выделены: аммолит арагонитовый и аммолит апатитовый [5].

В 2022 г. при изучении верхнемелового разреза р. Северная Сосьва ниже пос. Усть-Манья (рисунки 1, 2) найдены гетероморфные аммониты с яркой цветной иризацией перламутрового слоя (рис. 3), которые могут представлять интерес в качестве декоративных образцов и ювелирного материала (рисунки 4, 5).

Цель данной работы – установление минерального, химического состава аммонитов, оценка их декоративных, технологических характеристик, проведение экологической экспертизы, а также изучение процессов фоссилизации раковин в ходе диагенеза морских отложений, разработка критериев их поиска.

**Стратиграфическое положение аммонитов.** Верхнемеловой разрез в береговых обрывах р. Северная Сосьва известен с конца XVIII в. и изучался впоследствии многими геологами [3, 4]. С учётом вновь полученных данных отложения, содержащие аммониты, представлены снизу-вверх (см. рис. 1, А):

На чёрных глинах альбского возраста с размытом залегает пачка тёмно-серых, до чёрных с по-

верхности бурых глауконитовых массивных и толстоплитчатых (~ 1 м) кремнистых биотурбированных песчаников нижнего кампана. В трёх метрах выше подошвы встречены редкие раковины «гладких» [smooth] аммонитов *Baculites* sp. с остатками замещённого кремнезёмом перламутра и пустоты от белемнитов (рис. 3, А). В шлифах наблюдаются многочисленные зёрна глауконита, биокласты радиолярий, диатомовых водорослей и спиккулы губок. Предполагаемая мощность пачки – 8–9 м.

Вышележащая часть разреза изучена в коренных породах стенки отрыва оползня.

Толща чередования тёмно-серых с поверхности бурых глауконитовых плитчатых (~ 0,1–0,5 м) кремнистых песчаников, чередующихся с 5–10 см прослоями чёрных песчаных и алевроитовых глин. Породы полностью биотурбированы. На расстоянии 1,25 м выше подошвы встречена протяжённая линза (длиной 7–10 м) с остатками «гладких» *Baculites* sp. и *Baculites* sp. «со сглаженными рёбрами». Мощность 3,8 м.

Толща толстоплитчатых (0,5–1 м) кремнистых глауконитовых тёмно-серых, до чёрных песчаников, с поверхности – бурых. Вверх по разрезу мощность прослоев уменьшается. Песчаник чередуется с прослоями глинисто-кремнистых песчаников (0,1–0,5 м), образующими небольшие ниши на выветренном склоне. Породы биотурбированы, на нескольких уровнях встречены непротяжённые (первые метры) линзы с аммонитами среднего кампана. В шлифах в кремнистом матриксе присутствуют многочисленные зёрна глауконита, остатки радиолярий, диатомовых водорослей, спиккулы губок. В 0,6 м выше подошвы встречены остатки *Baculites obtusus* Meek, *Scaphites (S.) hippocrepis* III (De Kay) и пустоты от белемнитов, а в 5,6, 6,6 и 7,8 м выше подошвы – небольшие (до 1 м протяжённостью) линзы с аммонитами *Baculites mclearni* Landes, редкие «гладкие» *Baculites* sp. На верхнем уровне ещё обнаружены *Scaphites (S.) hippocrepis* III (De Kay), *S. (S.)* sp. (см. рис. 3, Б). Видимая мощность – 8,1 м. Выше с размывом залегают четвертичные отложения.

В осыпи под разрезом встречен тот же комплекс аммонитов: *Baculites obtusus* Meek, *B. mclearni* Landes, *Scaphites (S.) hippocrepis* III (De Kay); а также единичные «гладкие» *Baculites* sp. и *Baculites* sp. «со сглаженными рёбрами» [1, 2].

Встреченная в разрезе последовательность аммонитов близка к последовательности, известной

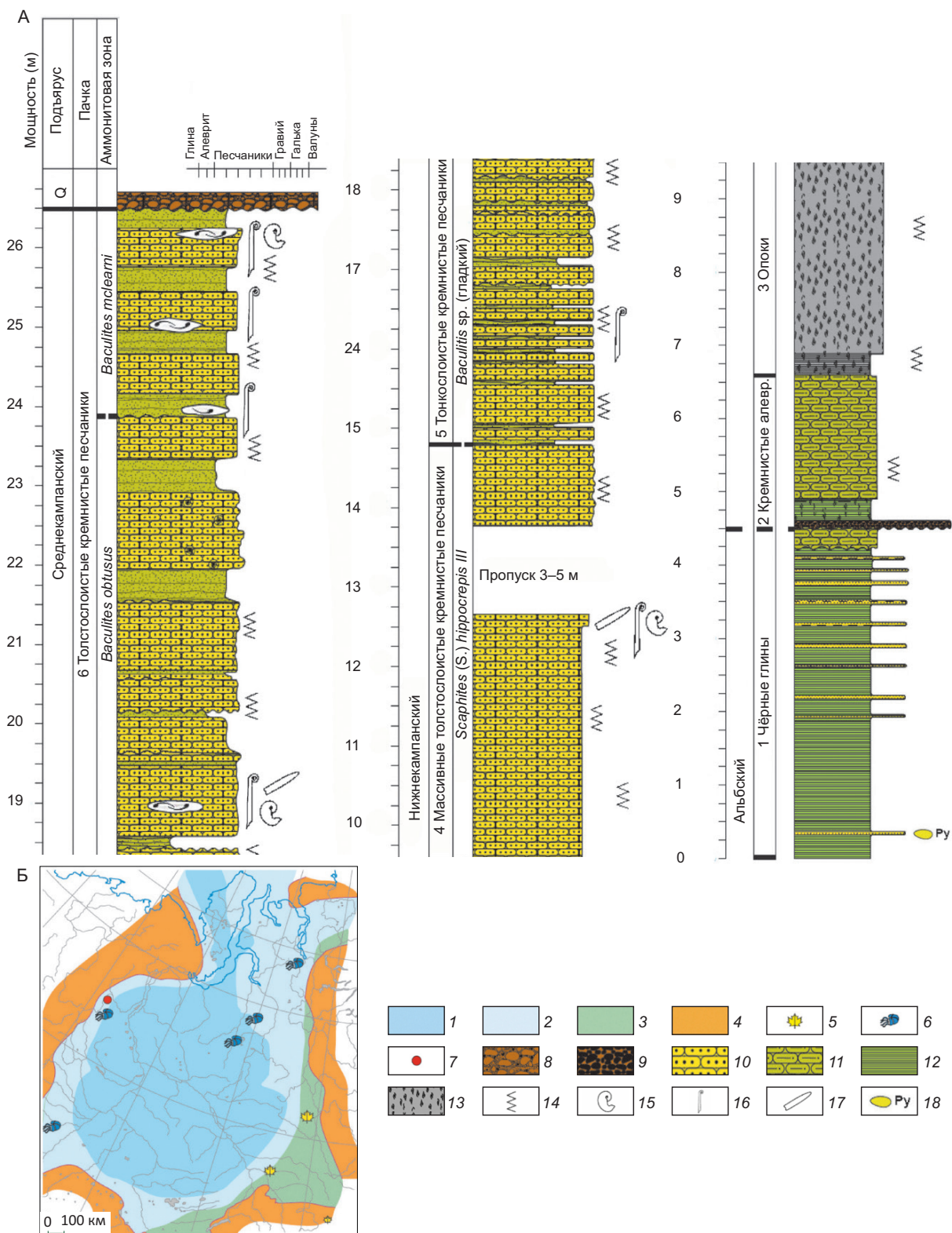


Рис. 1. Разрез кампанских отложений в районе пос. Усть-Манья (А) и его положение (Б). По [2], с изменениями:

1–3 – отложения: 1 – морские, 2 – прибрежные, 3 – озёрно-аллювиальные; 4 – области денудации; 5–6 – находки: 5 – флоры и 6 – аммонитов; 7 – разрез Усть-Манья; 8 – конгломераты; 9 – фосфоритовые гравелиты; 10 – песчаники; 11 – алевролиты; 12 – глины; 13 – опoki; 14 – биотурбации; 15 – *Scaphites*; 16 – *Baculites*; 17 – белемниты; 18 – конкреции пирита

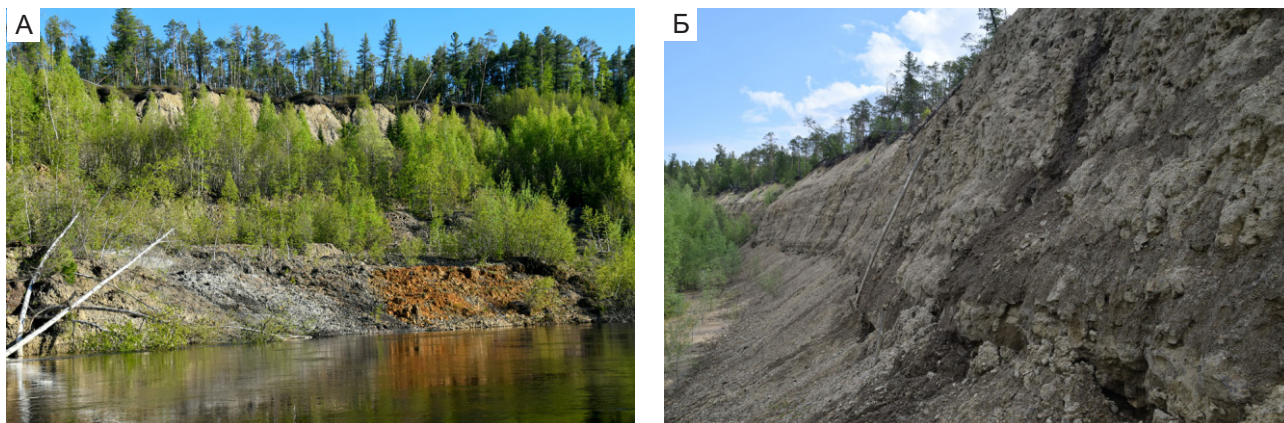


Рис. 2. Правый берег р. Северная Сосьва ниже пос. Усть-Манья: вид с реки с оползем на переднем плане (А) и вид кампанского разреза в стенке отрыва оползня (Б)

из разрезов Западного Внутреннего Пролива (ЗВП) [Western Interior Seaway] Северной Америки [9, 10], на основании чего и установлен ниже- и средне-кампанский возраст пород.

Раковины аммонитов с яркой цветной иризацией перламутрового слоя относятся преимущественно к роду *Baculites*, наиболее распространённому в кампанском ярусе. Их концентрация отмечается в верхней части разреза средне-кампанского подъяруса (аммонитовая зона *Baculites mclearni*) (см. рис. 1, А). Раковины расколоты и деформированы (см. рис. 3). Целые, хорошо сохранившиеся

раковины при изучении разреза встречались редко. Это можно объяснить расположением аммонитов непосредственно в отложениях, при небольшом количестве конкреций, которые обеспечивают их быструю консервацию и хорошую сохранность. Распределение аммонитов неравномерное, характерна их концентрация в небольших линзах. Встречаются аммониты в относительно небольшом количестве, но вполне достаточном для их рентабельного сбора.

Сбор аммонитов декоративного и ювелирного качества может осуществляться в береговых

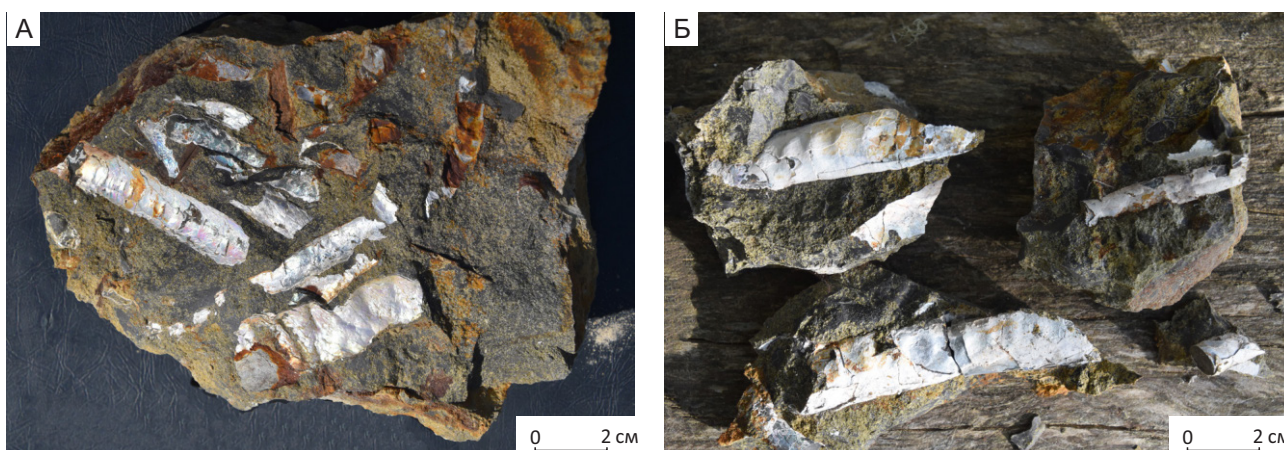


Рис. 3. Раковины аммонитов рода *Baculites* разной сохранности с цветной иризацией перламутрового слоя в породе из нижней (А) и верхней (Б) частей разреза

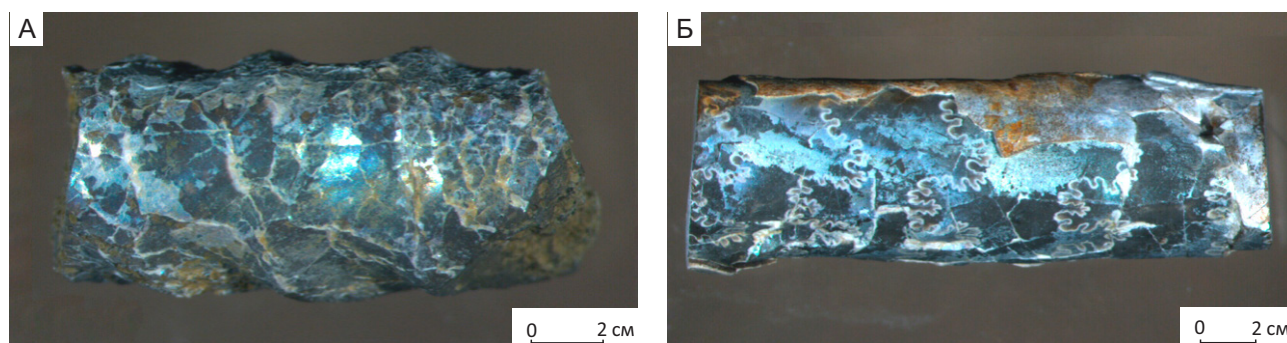


Рис. 4. Вставки для ювелирных изделий из фрагментов раковин с яркой цветной иризацией (А, Б)

обрывах, осыпях и в руслах рек (см. рис. 2) без горных выработок, что не требует значительных материальных затрат и не нарушает экологию среды. Отложения кампана распространены в регионе на большой площади (см. рис. 1, Б), что существенно расширяет район их поиска и позволяет предполагать новые объекты, возможно с более хорошей сохранностью и насыщенностью раковин аммонитов.

**Методы исследования.** Комплекс исследований аммонитов был проведён в лабораториях МГРИ, МГУ, ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ИГЕМ» РАН. Он включал определение микротвёрдости, плотности, люминесценции, оптико-петрографический анализ, количественное определение минерального и химического состава, электронно-микроскопические исследования.

Количественное определение химического состава раковин аммонитов выполнено методом 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 «Leika DMRX». Микротвёрдость определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G 150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с  $\lambda = 254$  и  $365$  нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на дифрактометре «X'Pert PRO MPD». Электронно-микроскопические исследования выполнены на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Jeol GSM 5610LV (Япония) с энергодиспер-



Рис. 5. Кольцо (А) и кулон (Б) с фрагментами раковин аммонитов с яркой цветной иризацией

сионным спектрометром (ЭДС) Oxford и Jeol IT500 с ЭДС Jeol, позволяющим получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ) и вторичных электронах (ВЭ). Радиационно-гигиеническая оценка проводилась в лаборатории изотопных методов анализа ФГБУ «ВИМС» по аттестованной методике, внесённой в Реестр Росстандарта.

**Геммологические характеристики раковин аммонитов.** По данным качественного (из-за недостатка материала) рентгеноструктурного анализа, перламутровый слой раковин аммонитов состоит из кристобалита, небольшого количества тридимита и кварца, структура полуаморфная (на рентгенограмме гало), признаки карбонатов не фиксируются.

Таблица 1. Минеральный состав раковин аммонитов и вмещающей породы, по данным РКФА

№ пробы	Характеристика	Минеральный состав	Содержание, мас. %
ПК	Преимущественно перламутровый слой, с минерализованными камерами	Кварц	32,3
		Кристобалит	3,4
		Тридимит	5,5
		Аморфный кремнезём	38,8
		Смектит + иллит	20,0
А	Раковина в целом	Кварц	18,3
		Кристобалит	1,0
		Тридимит	8,0
		Аморфный кремнезём	52,1
		Смектит + иллит	20,6
ВП	Вмещающая аммониты порода	Кварц	16,9
		Кристобалит	0,5
		Тридимит	8,2
		Аморфный кремнезём	39,4
		Плагиоклаз	12,3
		Смектит + иллит	22,7

По данным РКФА, перламутровый слой с фрагментами минерализованных камер состоит в среднем (мас. %): кварц – 32,3, кристобалит – 3,4, тридимит – 5,5, аморфный кремнезём – 38,8, смектит и иллит – 20,0. Раковина в целом (преимущественно минерализованные камеры) состоит в среднем (мас. %): кварц – 18,3, кристобалит – 1,0, тридимит – 8,0, аморфный кремнезём – 52,1, смектит и иллит – 20,6. Карбонаты в пробах не фиксируются (табл. 1).

Из анализов следует, что в камерах раковин по сравнению с перламутровым слоем уменьшается содержание кварца, кристобалита, увеличивается содержание аморфного кремнезёма. Глинистая часть породы образована смектитом, иллитом и, вероятно, кварцем. Кварц может быть представ-

лен и более крупными включениями. Смектит, иллит и кварц отражают терригенный морской осадок. Исходный арагонит раковин аммонитов полностью замещён различными формами кварца.

По данным РФА (табл. 2), химический состав проб близок и соответствует их минеральному составу. Высокие содержания  $\text{SiO}_2$  (86,36 и 87,77 мас. %) отражают преимущественно кремниевый состав раковин.  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – отражают состав алюмосиликатов. Низкие содержания S (< 0,05 мас. %) при высоких содержаниях  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (> 2,1 мас. %) указывают на присутствие пирита в крайне незначительном количестве и концентрацию железа в других минеральных формах, в частности, в гидроксидах, железистой разновидности иллита – глауконите.

Таблица 2. Химический состав раковин аммонитов и вмещающей породы, по данным РФА

№ пробы	Содержание компонента, мас. %											
	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	S	ППП
ПК	0,25	0,55	2,92	86,36	0,70	0,19	0,21	0,01	2,42	0,02	0,02	6,04
А	0,23	0,51	2,23	87,77	0,60	0,22	0,14	0,01	2,18	0,03	0,05	5,69
ВП	0,24	0,66	3,30	85,09	0,80	0,27	0,23	0,01	2,94	0,02	0,01	6,17

Примечание. ППП – потери при прокаливании.

Таблица 3. Содержание элементов-примесей в раковинах аммонитов и вмещающей породе, по данным РФА

№ пробы	Содержание элементов, мг/кг ( $\times 10^{-4}$ мас. %)											
	Cr	V	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	U	Th	Pb	As
ПК	67	58	8	29	36	35	78	130	< 5	< 5	< 5	< 5
А	59	57	7	35	29	32	58	128	< 5	< 5	< 5	< 5
ВП	77	68	9	36	36	36	94	150	< 5	< 5	< 5	< 5

Отметим повышенные содержания  $TiO_2$  (0,14–0,21 мас. %), связанные с минералами титана, характерными для прибрежно-морских отложений. Элементы-примеси присутствуют в небольшом количестве и с низкими содержаниями (мас. %): Ba – 0,0128–0,0130; Zr, Sr, Rb, Zn, V, Cr – в интервале 0,001–0,01; Cu – не превышает 0,0008 (табл. 3).

Установленный минеральный состав декоративно-ювелирных раковин аммонитов из кампанских отложений (р. Северная Сосьва) позволяет отнести их к новому кремниевому минеральному типу.

Вмещающий аммониты глауконитовый кремнистый песчаник, по данным РКФА, состоит (мас. %): кварц – 16,9, кристобалит – 0,5, тридимит – 8,2, аморфный кремнезём – 39,4, плагиоклаз – 12,3, смектит и иллит – 22,7 (см. табл. 1). По сравнению с раковинами аммонитов в нём уменьшается содержание кварца, кристобалита, аморфного кремнезёма, возрастает содержание алюмосиликатов. Химический состав их близок (см. табл. 2), а небольшие различия отражают расхождение в содержаниях минералов (см. табл. 1). Фиксируются аналогичные с близкими содержаниями элементы-примеси (см. табл. 3). Можно отметить чуть более высокие содержания Cr, V, Rb, Zr и Ba.

Раковины гетероморфных аммонитов, представляющие интерес в качестве декоративных образцов и ювелирного материала, небольшого размера, не превышающего 10 см, а их обломки, встречающиеся в породе, преимущественно от 1 до 5 см (см. рис. 3). Большинство раковин деформировались, приобретая эллипсоидную форму. Их перегородки разрушались, и камеры заполнялись вмещающей аммониты породой.

Перламутровый слой тонкий (от 0,1 до 1 мм), из-за его разрушения и небольших размеров самих аммонитов. В отдельных фрагментах он может легко послойно откалываться. В перламутровом слое проявлена яркая цветная иризация в зелёных, оранжевых и жёлтых цветах, которая и определяет ценность данных аммонитов как полезного ископаемого (рисунки 4, 5). Иризация проявлена не на всей поверхности раковин. Присутствуют значительные по площади участки белого, светло-серого цвета с матовым, реже стекляннным блеском. В отдельных фрагментах проявлены лопастные линии. Характерны плёнки ожелезнения, трещинки и поры, выполненные гидроксидами железа коричневого цвета, которые устраняются в щавелевой кислоте. Люминесценция перламутрового слоя не проявлена, плотность 2,23–2,35 г/см<sup>3</sup>. Микротвёрдость колеблется в очень широком диапазоне и, несмотря на кремниевый состав, остаётся низкой. Присутствуют фрагменты с рыхлым материалом, микротвёрдость которых – 43 кг/мм<sup>2</sup>. Микротвёрдость с плотной поверхностью составляет в среднем 377 кг/мм<sup>2</sup>. Аналогичное распределение микротвёрдости наблюдается и в стенках раковин (рис. 6, А). Плотные участки, несмотря на большое количество пор (на фотографии светло-серого цвета), имеют микротвёрдость в среднем 325 кг/мм<sup>2</sup>, а рыхлые (серого цвета с ровной поверхностью) – менее 40 кг/мм<sup>2</sup>.

Кремнистая порода, выполняющая внутреннее пространство раковин, серого цвета, плотная, устойчивая к механическим воздействиям, раскалывается с неровным, мелкокорковистым изломом. Цемент серого цвета с включениями зёрен белого, светло-серого глауконита различной степени изменения, при увеличении видна зелёная окраска

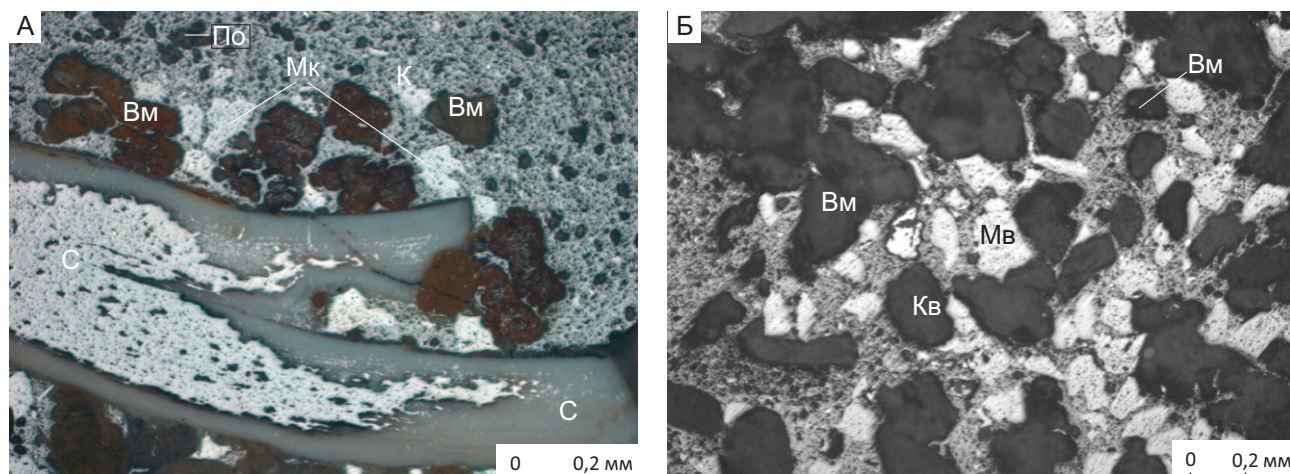


Рис. 6. Аншлиф, включающий стенку (С), камеру (К) аммонита (А) и вмещающую его породу (Б):

Мк – минеральные включения, Вм – выбоины минеральных включений, По – поры

отдельных из них. Большинство включений размером менее 1 мм, при максимальном 2 мм, угловатой, овальной, изометричной и слабо удлинённой формы. Включения распределены неравномерно, при распиловке и раскалывании выкрашиваются с образованием многочисленных каверн и пор (см. рис. 6, А). Характерны трещинки и поры, выполненные гидроксидами железа коричневого цвета. Плотность породы низкая – от 1,84 до 1,95 г/см<sup>3</sup>. Цемент породы содержит большое количество пор, а микротвёрдость, учитывая преимущественно кремниевый состав, низкая – около 135 кг/мм<sup>2</sup>, что обуславливает неустойчивость включений. Микротвёрдость включений определяется минеральным составом (см. табл. 1) и колеблется от 86 до 642 кг/мм<sup>2</sup>. Люминесценция не проявлена.

Порода, включающая раковины аммонитов и выполняющая их внутреннее пространство, аналогична. В раковинах присутствует меньшее количество зёрен глауконита, и они меньшего размера (см. рис. 6). В качестве ювелирного материала может использоваться перламутровый слой с яркой цветной иризацией – аммолит (см. рисунки 4, 5). Аммолит устойчиво закреплён в породе, что позволяет использовать её в качестве естественной подложки. Аммолит изученных гетероморфных аммонитов уступает по качеству арагонитовому и сопоставим с апатитовым. Отметим, что гетероморфные аммониты встречаются редко,

а с яркой цветной иризацией перламутрового слоя найдены впервые, что может привлечь к ним повышенный интерес.

Проведена экологическая оценка аммонитов в качестве ювелирно-поделочного материала. По данным РФА (см. табл. 3), содержания канцерогенных элементов (включая As, Pb) ниже чувствительности метода. Определение радиационных характеристик аммонитов показало, что удельная активность радионуклидов составила (Бк/кг): <sup>226</sup>Ra < 20, <sup>228</sup>Ra < 20, <sup>224</sup>Ra < 20, <sup>232</sup>Th < 20, <sup>40</sup>K – 201, <sup>137</sup>Cs < 10 и A<sub>эфф</sub> – 66. Данные значения удовлетворяют требованиям (A<sub>эфф</sub> < 740 Бк/кг) СП 2.6.1.2800–10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счёт 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. По данным РФА, содержание радиоактивных элементов ниже чувствительности метода (см. табл. 3), что подтверждает сделанный вывод.

**Оптико-петрографические и электронно-микроскопические исследования.** Изучены прозрачные шлифы и аншлифы включающие раковины аммонитов и вмещающую их породу. В шлифе отчётливо выделяется стенка аммонита с чётко выраженными ровными контактами с вмещающей её породой (рис. 7, А, Б). Стенка толщиной 0,2–0,6 мм частично разрушена, имеет

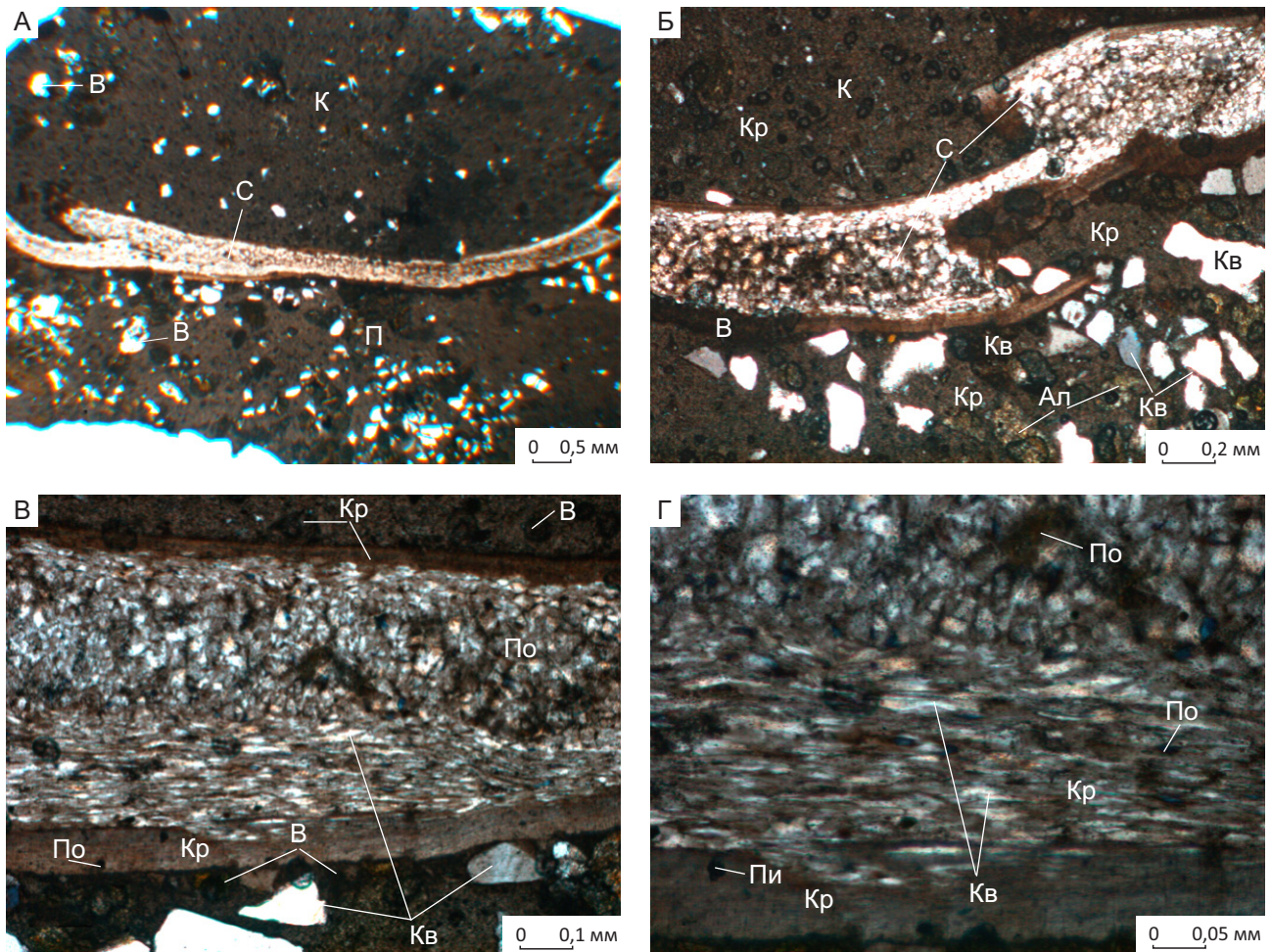


Рис. 7. Прозрачный шлиф, включающий поперечный спил стенки раковины аммонита (С), разрушенную камеру (К) и вмещающую породу (П) (А). Фрагменты детализации (Б–Г):

Б – фрагмент стенки аммонита, разрушенная камера, вмещающая аммонит порода; В, Г – структура стенки аммонита; николи: А – параллельны, Б–Г – скрещены; Кв – кристаллы кварца; Ал – алюмосиликаты; По – поры; В – выбоины, образованные в результате выкрашивания включений; Кр – слабокристаллизованный кремнезём

зональное строение. Выделяются краевые слои шириной 0,04–0,09 мм, соответствующие положению исходных конхиолиновых слоёв раковины (см. рис. 7, В, Г). Внутренняя линия контакта – неровная, обусловленная частичным их замещением. Слои плотные с небольшим количеством пор, размером менее 0,01 мм, образованы слабо-раскристаллизованным кварцем (здесь и далее называется кварцем, поскольку разделить кварц, кристобалит и тридимит не представляется возможным). Присутствуют редкие включения пирита округлой формы, размером менее 0,015 мм, выполняющего поры.

К краевым слоям примыкают слои, в которых сохраняется исходная структура пластинчатого арагонита. Ширина слоёв – невыдержанная, от 0,09 до 0,25 мм (см. рис. 7, В, Г). Контакт с краевыми слоями хорошо выражен, имеет неровную линию. Слои состоят из удлинённых кристалликов кварца пластинчатой формы, толщиной менее 0,007 мм и шириной менее 0,035 мм, расположенных в аморфном кварце. В слое присутствует небольшое количество пор, ориентированных вдоль слоистости, и редкие включения пирита чёрного цвета (при параллельных николях), округлой, изометричной и вытянутой форм, размером менее 0,015 мм.

Центральная часть стенки утратила исходную структуру арагонита. Она состоит из слабонакристаллизованного кварца с включениями кристаллов кварца изометричной угловатой и округлой формы, размером 0,005–0,03 мм (см. рис. 7, В, Г). Количество пор невелико, а их размер не превышает 0,01 мм. Присутствуют включения пирита размером до 0,05 мм. Мелкие включения глобулярной формы, более крупные имеют сложную изометричную и вытянутую формы, извилистый контур. Включения распределены неравномерно, образуют скопления.

По данным РЭМ, стенка аммонита образована кварцем с широким диапазоном размеров и морфологии, с большим количеством микропор (рис. 8). По данным РСМА, стенка выполнена кварцем, в нескольких спектрах фиксируется  $Al_2O_3$  от 0,13 до 0,29 мас.%, что может указывать на присутствие микровключений алюмосиликатов, принесённых раствором. Карбонаты не фиксируются, что свидетельствует о полном замещении исходного арагонита кварцем.

В центральной части стенки расположено выделение кварца сложной формы с неровным контуром, шириной до 30 мкм. Выше сплошного выделения кварца расположена зона шириной около 48 мкм, образованная комковатыми, тонкопризматическими, игольчатыми выделениями кварца, ориентированными вдоль стенки. Комковатые выделения имеют извилистый контур, вытянутую форму и размер до 12 мкм. Большая часть мелких (около 1–3 мкм) выделений изометричной, округлой формы. Тонкопризматические, игольчатые выделения (кристаллики) толщиной менее микрона и шириной 2–4 мкм, близкие к размеру пластинчатых кристаллов арагонита [5]. Прослеживается и нечётковыраженная исходная структура пластинчатых арагонитовых слоёв. Микропоры размером от менее 1 до 3 мкм округлой и вытянутой формы. Вытянутые микропоры также ориентированы вдоль стенки (см. рис. 8, Б).

Зона, расположенная ниже сплошного выделения кварца, шириной около 12 мкм, имеет похожее строение с выше расположенной. Для неё характерна более высокая степень унаследованности исходной структуры призматических арагонитовых слоёв (см. рис. 8, В–Д). При больших увеличениях хорошо видны пластинчатые кристаллы кварца, близкие по размерам к кристаллам арагонита, толщина которых от 0,2 до 0,9 мкм, а ширина 0,5–2 мкм (см. рис. 8, Е). Нарушают исходную

структуру слоёв присутствие микропор размером до 1,2 мкм и более крупные комковатые изометричные и вытянутые выделения кварца размером 3–40 мкм.

Таким образом, иризация стенок аммонитов обусловлена наследованием кристаллами кварца исходной структуры пластинчатых арагонитовых слоёв, а цветовая гамма связана с их толщиной. Для тонких слоёв толщиной 0,2–0,4 мкм характерен зелёный цвет, толщиной 0,5–0,7 мкм – жёлтый и толщиной 0,8–0,9 мкм – красный [5]. При толщине слоёв более 0,9 мкм и нарушении пластинчатой структуры иризация не проявлена. По минеральному составу выделен новый тип аммонита – аммонит кремниевый; наряду с ранее установленными аммонитом арагонитовым и аммонитом апатитовым [5].

Внутреннее пространство раковин выполнено слабонакристаллизованным кремнезёмом с небольшим количеством включений кварца и алюмосиликатов, размером преимущественно менее 0,1 мм, при максимальном 0,5 мм. Включения распределены неравномерно (см. рис. 7, А, Б). По данным РСМА, выделяются включения кварца, альбита, микроклина, глауконита, смектита, ильменита, пирита. Включения кварца размером менее 40 мкм. Элементы-примеси в кварце не установлены. Включения альбита размером до 10 мкм выделяются в алюмосиликатах по высоким содержаниям  $Na_2O$  (до 13,51 мас.%). Включения кварца и альбита слабо выражены в ОРЭ. Установлены по высоким содержаниям  $K_2O$  (до 16,20 мас.%) включения микроклина, размером до 20 мкм, выделяющиеся более светлой окраской в ОРЭ, чем кварц и альбит. Включения кварца, альбита и микроклина – округлой, угловатой, изометричной и удлинённой формы (рис. 9).

Включения глауконита – овальной, округлой формы, размером до 40 мкм, выделяются по повышенным содержаниям  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$  (см. рис. 9, А, Г). Для него характерно замещение, в результате которого образуются смектит, кварц, пирит и большое количество микропор. При распиловке и полировке происходит в значительном количестве его выкрашивание.

Предположительно выделены включения смектита овальной формы размером до 30 мкм. По данным РСМА, в нём фиксируются содержания  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SO_3$ ,  $Cl$  (см. рис. 9, А). В камере присутствуют обломки перегородок раковины длиной до 20 мкм и толщиной 1,5 мкм,

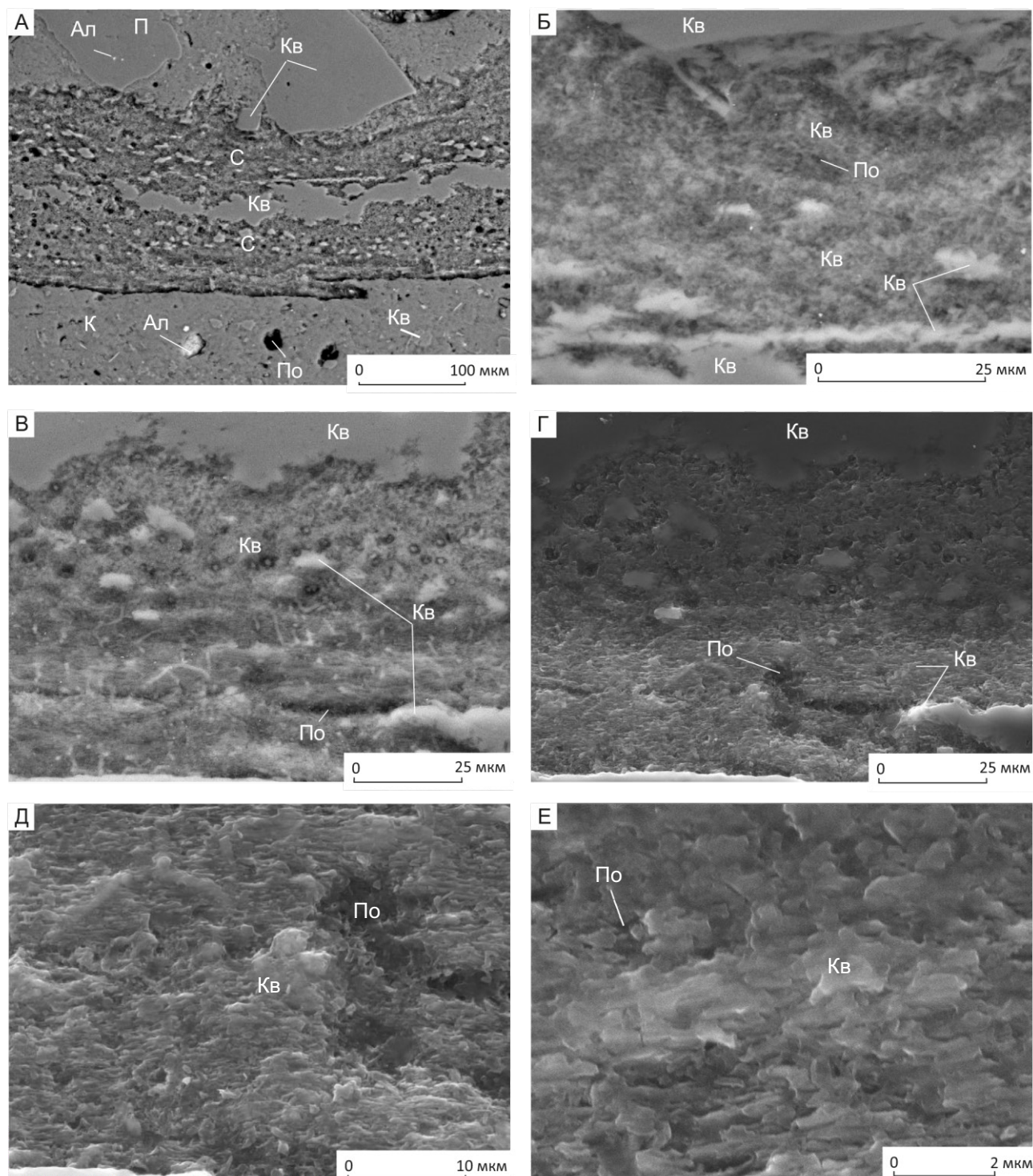


Рис. 8. А – фрагмент стенки раковины аммонита (С) с прилегающей камерой (К) в кремнистом песчанике (П); Б–Е – фрагменты детализации стенки. РЭМ:

А–В – данные ОРЭ; Г–Е – ВЭ; Кв – кварц; Ал – алюмосиликаты; По – микропоры

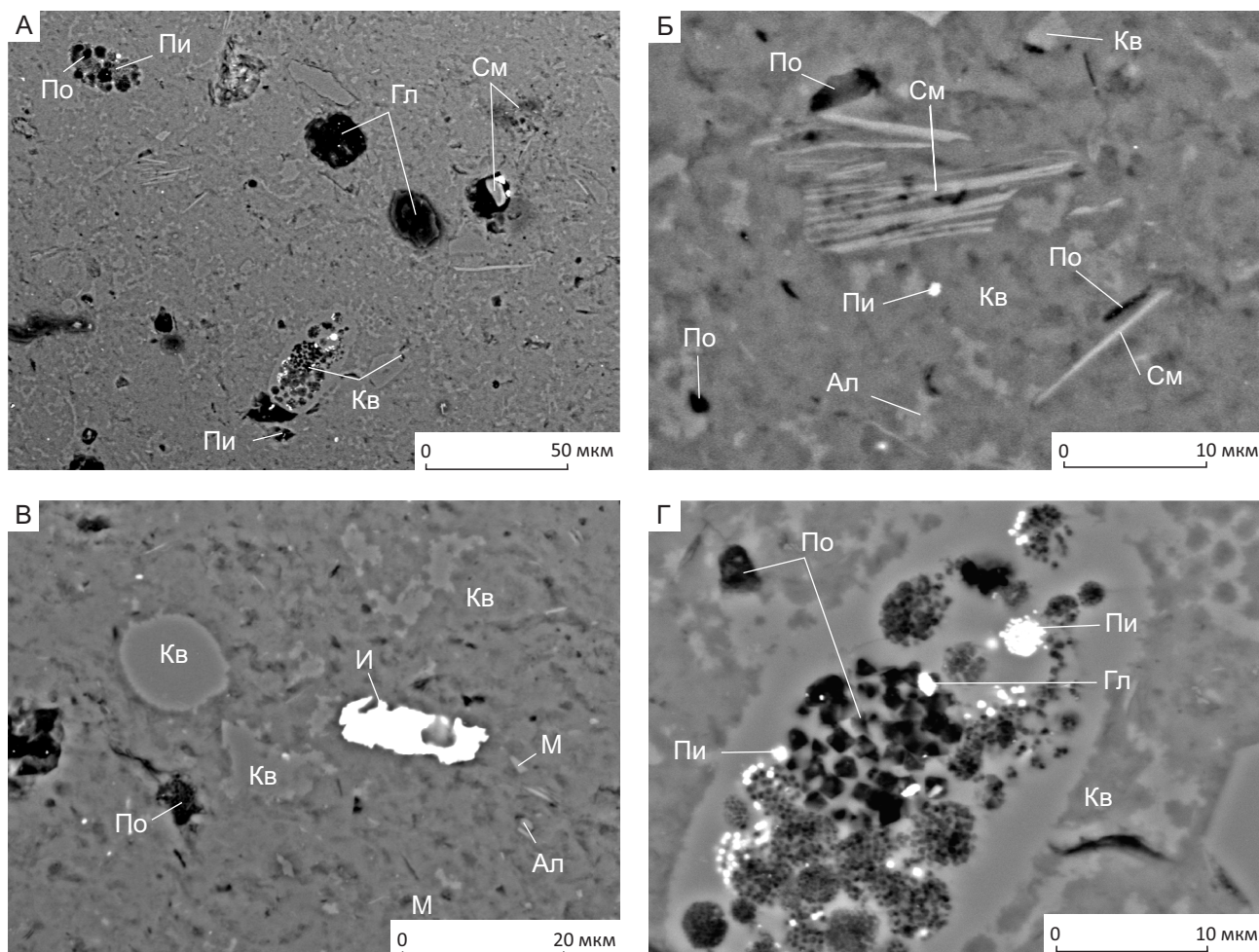


Рис. 9. Камера раковины аммонита (А–Г). РЭМ, ОРЭ:

Кв – кварц; Ал – альбит; М – микроклин; Гл – глауконит; См – смектит; И – ильменит; Пи – пирит; По – микропоры

так же выполненные тонкодисперсным смектитом (см. рис. 9, Б).

Установлено включение ильменита по высоким содержаниям  $TiO_2$  (52,04 мас. %) и  $Fe_2O_3$  (41,85 мас. %), фиксируется  $MnO$  (5,46 мас. %) и  $SiO_2$  (0,65 мас. %), который свидетельствует о сростании с кварцем. Включение размером  $8 \times 30$  мкм сильно корродированное (см. рис. 9, В).

Включения пирита – малочисленны, микронного размера глобулярной формы, при сростании образуют выделения до 4 мкм округлой и вытянутой формы со сложным контуром. Кристаллы размером более 2 мкм приобретают характерную форму, отражающую кубический габитус пирита (см. рис. 9, Г). Пирит – более поздний минерал, образуется в результате распада железистых алюмо-

силикатов, вероятно, и с участием бактерий, располагается преимущественно в порах. При окислении пирита в экзогенных условиях образуются гидроксиды железа, выполняющие поры, микротрещинки и окрашивающие фрагменты породы в коричневые цвета.

Цементом породы является слабораскристаллизованный кремнезём (см. рис. 9). По данным РСМА, в нём помимо высоких содержаний  $SiO_2$  (до 99,69 мас. %) фиксируются  $Al_2O_3$  (до 1,65 мас. %),  $K_2O$  (до 0,36 мас. %),  $Na_2O$  (до 0,12 мас. %),  $Fe_2O_3$  (до 0,91 мас. %), указывающие на различные минеральные включения тонкодисперсной размерности. Присутствует большое количество микропор размером 1–5 мкм, которые во многом определяют низкую микротвёрдость. Поры

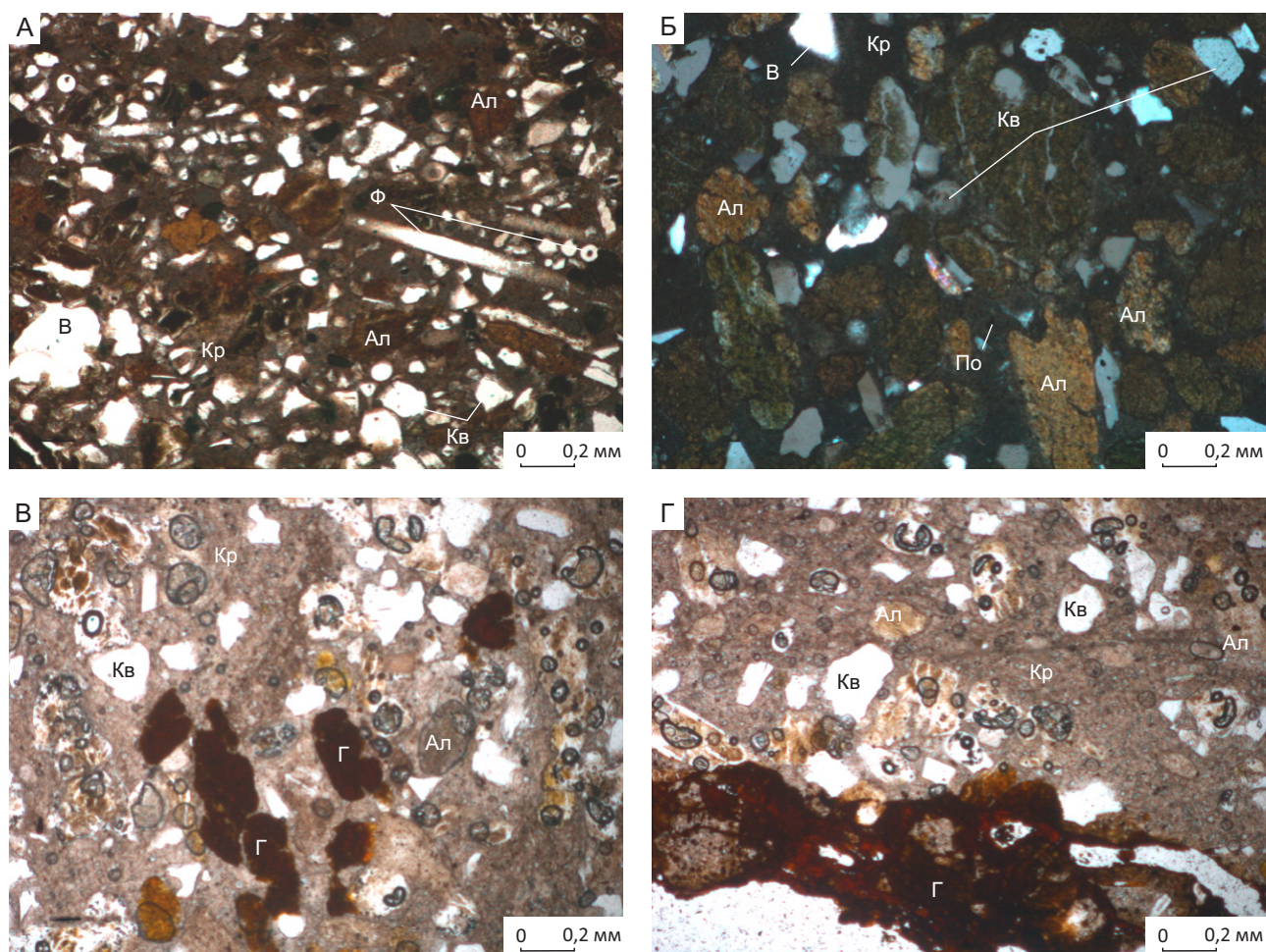


Рис. 10. Прозрачные шлифы кремнистого песчаника, вмещающего раковины аммонитов (А–Г):

Кв – кварц; Ал – алюмосиликаты; Кр – слабокристаллизованный кремнезём; Г – гидроксиды железа; Ф – спикеры губок; В – выбоины; николи: А, В, Г – параллельны, Б – скрещены

размером до 15 мкм, связаны с выкрашиванием включений при подготовке аншлифа (см. рис. 9). Порода, выполняющую разрушенные камеры аммонитов, по минеральному составу и гранулометрии можно отнести к кремнистому полиминеральному алевролиту.

Порода, включающая аммониты, состоит из многочисленных неравномерно распределённых включений кварца, алюмосиликатов, сцементированных слабокристаллизованным кремнезёмом (см. рисунки 7, А, Б, 10 и 11).

По минеральному и гранулометрическому составу породу можно отнести к кремнистому полиминеральному, разнозернистому песчанику, у которого цементом является слабокристаллизо-

ванный кремнезём. Песчаник аналогичен алевролиту, выполняющему внутреннее пространство раковин аммонитов, и отличается значительно большим количеством, размером и разнообразием включений.

По данным РСМА, выделяются включения кварца, альбита, микроклина, глауконита, смектита, ильменита, пирита. Включения кварца, альбита, микроклина размером до 250 мкм округлой, угловатой изометричной и удлинённой формы. Включения глауконита округлой формы, размером до 300 мкм (см. рис. 11). Для глауконита характерно замещение, с образованием смектита, кварца, пирита и большого количества микропор, а при распиловке и полировке в значительной степени –

выкрашивание. Выделения смектита размером до 30 мкм формируются в результате замещения алюмосиликатов и в первую очередь глауконита.

Установлено включение ильменита размером около 6 мкм (см. рис. 11, В), в котором отмечают высокие содержания  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$ . Фиксируются также микронные включения с высокими содер-

жаниями  $TiO_2$  при отсутствии  $Fe_2O_3$ , что может свидетельствовать о присутствии других минеральных форм титана. Количество зёрен минералов титана незначительно.

Количество включений пирита невелико, а их размер не превышает 7 мкм. Образования микронного размера глобулярной формы, а более крупные – кубической (см. рис. 11, Б), расположены в порах. При окислении пирита образуются гидроксиды железа. Они выполняют трещинки, поры, размер выделений достигает 3 мкм. Часть железа, установленного РФА (см. табл. 2), несомненно, связана с ними. Мелкие раковины фориссий выполнены кварцем, их размер достигает 1 мм по удлинению (см. рис. 10, А). Присутствуют мелкие обломки стенок раковин аммонитов, выполненные слабокристаллизованным кремнезёмом.

Цемент песчаника – слабокристаллизованный кремнезём с большим количеством микропор (см. рис. 11). По данным РСМА, в нём, как и в алевролите, фиксируются, помимо высоких содержаний  $SiO_2$ , содержания  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$ , указывающие на различные минеральные включения тонкодисперсной размерности.

Микропоры многочисленны, присутствуют как в кремнистом цементе, так и в алюмосиликатах, преимущественно в глауконите (см. рис. 11). Поры вытянутые, изометричной формы, крупными, размером до 200 мкм, связанные с выкрашиваниями включений. Имеет место и выщелачивание алюмосиликатов. Большое количество микропор в цементе песчаника приводит к его низкой микротвёрдости и неустойчивости включений, которые легко выкрашиваются.

Наличие в стенках раковин фрагментов с разрушенными слоями, а в алевролите и песчанике минералов с низкой твёрдостью, большим количеством микропор, пор и каверн, требуют предварительной пропитки материала специальными смолами.

**Выводы.** Гетероморфные аммониты с яркой цветной иризацией из кампанских отложений (р. Северная Сосьва) состоят преимущественно из кварца (> 79 мас. %), основная часть (> 52 мас. %) которого представлена аморфной формой. Установлены также кристобалит, тридимит, альбит, микроклин, иллит, глауконит, смектит, пирит, гидроксиды железа, ильменит. Исходный арагонит раковин полностью замещён кварцем в кристаллической и аморфной форме. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания

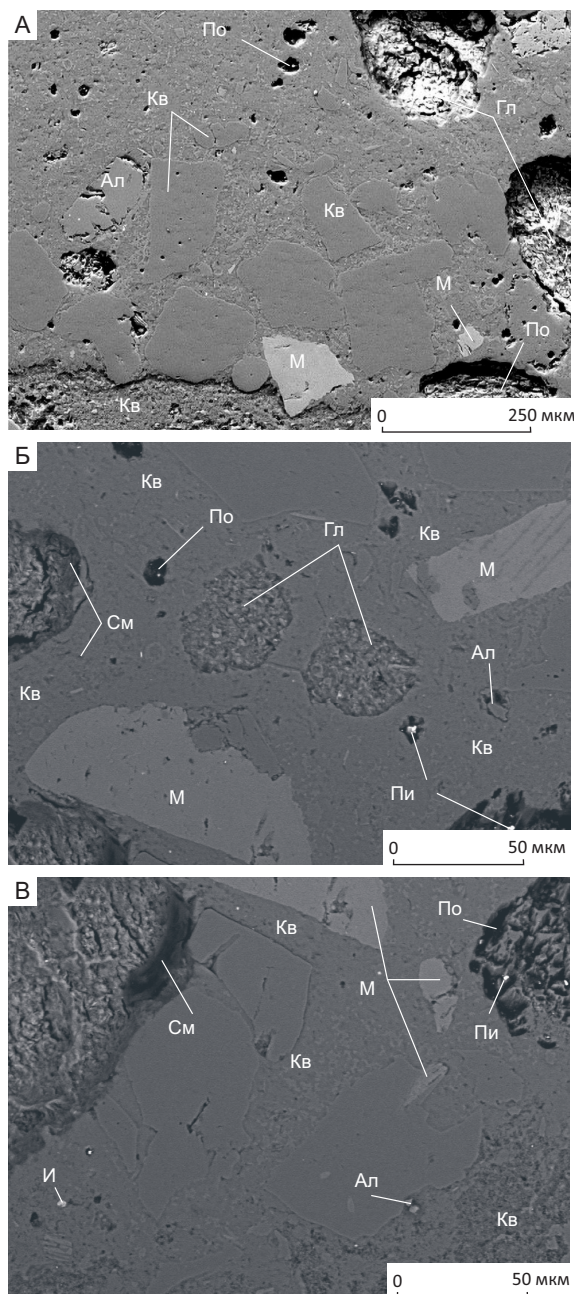


Рис. 11. Кремнистый песчаник (А–В). РЭМ, ОРЭ:

Кв – кварц; Ал – альбит; М – микроклин; Гл – глауконит; См – смектит; И – ильменит; Пи – пирит; По – микропоры

Va (около 0,0129 мас. %), а также Cr, V, Zn, Rb, Sr, Zr с содержанием < 0,01 мас. %. По минеральному составу раковины аммонитов выделены в кремневый тип. Аммониты расположены в кремнистом полиминеральном разномзернистом песчанике, который по минеральному составу аналогичен кремнистому алевролиту, выполняющему камеры раковин.

Кремнистые отложения кампанского яруса, в которых были встречены аммониты, формировались в условиях биогенного кремненакопления, связанного с холодным течением, шедшим в южном направлении вдоль гигантского меридионального пролива, пересекавшего Палеоарктику и Западную Сибирь [1, 2]. Это происходило на фоне развивавшейся трансгрессии, обеспечивавшей привнос в западносибирский бассейн биофильных элементов с восточного склона Урала при дефиците терригенных осадков. Не исключается и проявление апвеллингов. Сочетание этих факторов и сравнительно небольшие глубины бассейна вызвали бурное развитие кремнистого планктона – диатомовых водорослей, силикофлагеллят и радиолярий. Похожие условия проявились здесь и в более позднее время, в эоцене [8]. Диагенетическое преобразование биогенного кремнезёма приводило к замещению исходного арагонитового вещества раковин аммонитов кремнезёмом – кристобалитом, тридимитом и кварцем.

Стенки раковин аммонитов характеризуются яркой цветной иризацией, которая связана с сохранением структуры исходных пластинчатых тонких (< 0,8 мкм) слоёв арагонита. Факт метасоматического замещения арагонита стенок аммо-

нитов кварцем с сохранением структуры пластинчатых слоёв установлен впервые. Выделен новый минеральный тип аммонита – аммонит кремневый. Раковины аммонитов характеризуются высокой декоративностью (благодаря яркой цветной иризации), положительными технологическими и экологическими характеристиками, что позволяет использовать их в качестве декоративных образцов и камнесамоцветного материала для ювелирных изделий.

Сбор раковин аммонитов может проводиться в береговых обрывах, осыпях без горных выработок, что не требует значительных материальных затрат, и не нарушает экологию среды. Возможен их попутный сбор из карьеров под инженерные сооружения и по добыче различных видов полезных ископаемых. Отложения кампанского яруса в регионе распространены на значительной площади, что позволяет предположить значительные ресурсы раковин аммонитов коммерческого качества. Концентрация раковин характерна для верхней части среднекампанских отложений. Установленные минеральный и химический составы раковин аммонитов позволяют проводить их идентификацию, а особенности технологических характеристик выбрать оптимальную методику обработки.

*Авторы признательны В. А. Маринову (ООО «ТННЦ», г. Тюмень), Н. Н. Семакову (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск) Д. А. Мирзабаеву (ТГУ, г. Тюмень) и Т. А. Барабошкиной (МГУ, г. Москва) за помощь в сборе материалов.*

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22–17–00091, <http://rscf.ru/project/22-17-00091/>.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барабошкин Е. Ю., Маринов В. А.* Новые находки поздне меловых аммонитов Западной Сибири – материал для палеографических реконструкций // Современные проблемы изучения головоногих моллюсков. Морфология, систематика, эволюция, экология и биостратиграфия: материалы совещания (Москва, 25–27 октября 2021 г.) / ред. Т. Б. Леонова, В. В. Митта. – Вып. 6. – М.: ПИН РАН; ИП Скороходов В. А., 2021. – С. 63–66.
2. *Барабошкин Е. Ю., Маринов В. А., Семаков Н. Н., Мирзабаев Д. А., Барабошкина Т. А.* Новые данные о кампанских отложениях р. Северная Сосьва (Северный Урал). Предварительные результаты // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: материалы Одиннадцатого Всероссийского совещания. 19–24 сентября 2022 г., г. Томск / Ред. Е. Ю. Барабошкин. – Томск: ТГУ, 2022. – С. 45–49.
3. *Глазунова А. Е., Балахматова В. Т., Липман Р. Х., Романова В. И., Хохлова И. А.* Стратиграфия и фауна меловых отложений Западно-Сибирской низменности // Труды ВСЕГЕИ. – 1960. – Т. 29. – 348 с.

4. *Маринов В. А., Соболев Е. С., Игольников А. Е., Урман О. С.* Биостратиграфия терминального мела Сибири // Материалы совещания «Меловая система России и ближнего Зарубежья : проблемы стратиграфии и палеогеографии» / ред. Е. М. Первушов. – Саратов : Саратовский университет, 2007. – С. 137–153.
5. *Петроченков Д. А.* Аммолит. – М. : Горная книга, 2021. – 192 с.
6. *Петроченков Д. А.* Интерьерные и ювелирно-поделочные аммониты Европейской России. – М. : Горная книга, 2021. – 354 с.
7. *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.
8. *Смирнов П. В., Константинов А. О.* Биогенное кремненакопление в Западно-Сибирском морском бассейне в палеоцене–эоцене: факторы и стадии // Литосфера. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 26–47.
9. *Cobban W. A.* The Late Cretaceous ammonites *Scaphites Leei* Reeside and *Scaphites hippocreps* (Dekay) in the Western Interior of the United States // Geological Survey professional paper. – 1969. – № 619. – 29 p.
10. *Cobban W. A., Walaszczuk I., Obradovich J. D., McKinney K. C.* A USGS Zonal table for the Upper Cretaceous middle Cenomanian-Maastrichtian of the Western Interior of the United States based on ammonites, inoceramids, and radiometric ages // U.S. Geological Survey. Open-File Rep. – 2006. – 1250. – 46 p.
11. *Mychaluk K.* Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. – 2009. – Vol. 45. – № 3. – P. 192–196.
12. *Mychaluk K., Levinson A., Russelle H.* Ammolite : Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. – 2001. – V. 37. – № 1. – P. 4–25.

## REFERENCES

1. *Baraboshkin E. Yu., Marinov V. A.* Novyye nakhodki pozdnemelovykh ammonitov Sibiri – material dlya paleograficheskikh rekonstruktsiy [New finds of Late Cretaceous ammonites of Siberia – material for paleographic reconstructions], *Sovremennyye problemy izucheniya golovonogikh mollyuskov. Morfologiya, sistematika, evolyutsiya, ekologiya i biostatigrifiya: materialy zasedaniya* (Moskva, 25 – 27 oktyabrya 2021 g.), ed. T. B. Leonova, V. V. Mitta, Is. 6, Moscow, PIN RAN publ.; IP Skorokhodov V. A. publ., 2021, pp. 63–66. (In Russ.)
2. *Baraboshkin E. Yu., Marinov V. A., Semakov N. N., Mirzabayev D. A., Baraboshkina T. A.* Novyye dannyye o kampanskikh otlozheniyakh r. Severnaya Sos'va (Severnnyy Ural). Predvaritel'nyye rezul'taty [New data on the Campanian deposits of the river. Northern Sosva (Northern Urals). Preliminary results], *Melovaya sistema Rossii i blizhnego zarubezh'ya: problemy stratigrafii i paleogeografii, materialy Odinnadtsatogo Vserossiyskogo soveshchaniya*. 19–24 sentyabrya 2022 g., Tomsk, Tomsk, TGU publ., 2022, pp. 45–49. (In Russ.)
3. *Glazunova A. Ye., Balakhmatova V. T., Lipman R. KH., Romanova V. I., Khokhlova I. A.* Stratigrifiya i fauna melovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti [Stratigraphy and fauna of Cretaceous deposits of the West Siberian Lowland], *Trudy VSEGEI*, 1960, V. 29, 348 p. (In Russ.)
4. *Marinov V. A., Sobolev Ye. S., Igol'nikov A. Ye., Uрман O. S.* Biostatigrifiya terminal'nogo mela Sibiri [Biostratigraphy of the terminal chalk of Siberia], *Materialy soveshchaniya “Melovaya sistema Rossii i blizhnego Zarubezh'ya: problemy stratigrafii i paleogeografii”*, ed. Ye. M. Pervushov, Saratov, Saratovskiy universitet publ., 2007, pp. 137–153. (In Russ.)
5. *Petrochenkov D. A.* Ammolit [Ammolite], Moscow, Gornaya kniga publ., 2021, 192 p. (In Russ.)
6. *Petrochenkov D. A.* Inter'yernyye i yuvelirno-podelochnyye ammonity Yevropeyskoy Rossii [Interior and jewelry-ornamental ammonites of European Russia], Moscow, Gornaya kniga publ., 2021, 354 p. (In Russ.)
7. *Petrochenkov D. A., Bykhovskiy L. Z.* Yuvelirno-podelochnyye ammonity: problemy otsenki i perspektivy dobychi [Jewelry and ornamental ammonites: problems of assessment and prospects for production], *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*, 2018, No. 4, pp. 15–22. (In Russ.)
8. *Smirnov P. V., Konstantinov A. O.* Biogennoye kremne nakopleniye v Zapadno-Sibirskom morskoy basseynе v paleotsene–eotsene: faktory i stadii [Biogenic silicon accumulation in the West Siberian sea basin in the Paleocene–Eocene: factors and stages], *Litosfera*, 2017, V. 17, No. 4, pp. 26–47. (In Russ.)
9. *Cobban W. A.* The Late Cretaceous ammonites *Scaphites Leei* Reeside and *Scaphites hippocreps* (Dekay) in the Western Interior of the United States, Geological Survey professional paper, 1969, No. 619, 29 p.

10. Cobban W. A., Walaszczuk I., Obradovich J. D., McKinney K. C. A USGS Zonal table for the Upper Cretaceous middle Cenomanian-Maastrichtian of the Western Interior of the United States based on ammonites, inoceramids, and radiometric ages, U.S. Geological Survey. Open-File Rep, 2006, 1250, 46 p.
11. Mychaluk K. Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada, Gems & Gemology, 2009, Vol. 45, No. 3, pp. 192–196.
12. Mychaluk K., Levinson A., Russelle H. Ammolite : Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada, Gems & Geology, 2001, V. 37, No. 1, pp. 4–25.

Статья поступила в редакцию 04.03.24; одобрена после рецензирования 08.04.24; принята к публикации 09.04.24.  
The article was submitted 04.03.24; approved after reviewing 08.04.24; accepted for publication 09.04.24.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию  
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227  
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1