

ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин А.Д., Муравьева И.В. Индит и джалиндит — новые минералы индия // Записки ВМО. 1963. Ч. ХСII. В. 4. С. 445–457.
2. Комарова Г.Н., Новоросова Л.Е. О поведении олова и индия в коллоидных агрегатах касситерита на Джалиндинском месторождении на Малом Хингане // Геохимия. 1959. № 8. С. 716–720.
3. Маршукова Н.К., Павловский А.Б., Сидоренко Г.А. Новые минеральные формы оловянных руд // Минералогия рудных месторождений. М.: Наука, 1983. С. 34–37.
4. Методические рекомендации № 40. Применение комплекса МСФУЛ-312-эвм для диагностики минералов. М.: ВИМС, 1993. 53 с.
5. Радкевич Е.А. Метаморфизм руд Синанчи // Изв. АН СССР. Серия геолог. 1948. № 3. С. 131–140.
6. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 671 с.
7. Шумская Н.Н. Определитель рудных минералов по спектральным кривым отражения. Л.: Недра. 1985. 231 с.
8. Ahlfeld F. and Reyes J.M. Mineralogie von Bolivien. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1938. 90 p.
9. Dunn P.J., Peacor D.R., and Sturman D. Paulmooreite, a new lead arsenite mineral from Langban, Sweden // American Mineral., 1979, vol. 64, pp. 352–454.
10. Knopf A. Tungsten deposits of northwestern Inyo county, California: U. S. Geol. Survey Bull. 1916, 640. Pp. 229–249.
11. Fries C. Tin Deposits of the Black Range, Catron and Sierra Counties, New Mexico. US Geol. Surv. Bull., 1940. No 922-M. pp. 355–370.
12. Roy R., Shafer M.W. Phases present and phase equilibrium in the system $\text{In}_2\text{O}_3\text{--H}_2\text{O}$ // J. Phys. Chem., 1954. V. 58. P. 372.

REFERENCES

1. Genkin A.D., Murav'eva I.V. Indite and djalindite are new minerals of In. *Zapiski RMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], 1963, Part ХСII, vol. 4, pp. 445–457. (In Russian)
2. Komarova G.N., Novorossova L.E. About the behavior of Sn and In in the colloform cassiterite aggregates at the Dzalinda deposit at the Little Khingnan Mountains. *Geochemistry*, 1959, no 8, pp. 716–720 (In Russian).
3. Marshukova N.K., Pavlovsky A.B., Sidorenko G.A. New mineral forms of tin ores, *Mineralogy of ore deposits*. Moscow, Nauka Publ., 1983, pp. 34–37 (In Russian)
4. *Methodological recommendations N 40. Practice complex MSFUL-312 for the diagnostics of minerals*. Moscow, VIMS Publ., 1993, 53 p. (In Russian).
5. Radkevich E.A. The metamorphism of Sinancha ores. *Izvestia AN SSSR, Series geolog.*, 1948, pp. 131–140.
6. Chukhrov F.V. *Colloides at the Earth's crust*. M., AN SSSR Publ., 1955, 671 p. (In Russian).
7. Shumskaya N.N. *The identification of ore minerals on spectral reflection curves*. L., Nedra Publ., 1985, 231 p. (In Russian).
8. Ahlfeld, F. and Reyes, J.M. *Mineralogie von Bolivien*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1938, 90 p.
9. Dunn P.J., Peacor D.R., and Sturman D. Paulmooreite, a new lead arsenite mineral from Langban, Sweden. *American Mineral.*, 1979, vol. 64, pp. 352–454.
10. Knopf, A. Tungsten deposits of northwestern Inyo county, California, U.S. *Geol. Survey Bull.*, 1916, 640, pp. 229–249.
11. Fries C. Tin Deposits of the Black Range, Catron and Sierra Counties, New Mexico. *US Geol. Surv. Bull.*, 1940. no. 922-M. Pp. 355–370.
12. Roy R., Shafer M.W. Phases present and phase equilibrium in the system $\text{In}_2\text{O}_3\text{--H}_2\text{O}$. *J. Phys. Chem.*, 1954, v. 58, p. 372.

УДК 549: 553.5 (470.313)

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГЕММОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЮВЕЛИРНЫХ АММОНИТОВ ИЗ КАРЬЕРА ОАО «МИХАЙЛОВЦЕМЕНТ» РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ*

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ, А.В. ПЕТРОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: p-d-a@mail.ru

Впервые детально изучены минеральный состав и геммологические характеристики ювелирных аммонитов из карьера ОАО «Михайловцемент» Рязанской области. Аммониты связаны с отложениями келловее и оксфорда. Аммониты имеют сложное зональное строение и преимущественно (до 96 мас. %) пиритовый состав. Установлены арагонит, бассанит, ссомольнокит, ярозит, кальцит, кварц, апатит, органическое вещество, графит, гипс, ильменит, микроклин, слюда. Стенки и перегородки раковин сохраняют первоначальный арагонитовый состав с пластинчатыми и призматическими слоями. Из элементов-примесей повышенные содержания фиксируются (мас. %): As до 0,023 и Ni до 0,048, Co, Zn, Mo, Sr, Ba и Pb в интервале 0,001–0,01 мас. %. Содержание радиоактивных веществ U, Th находятся на уровне фоновых, при повышенных количествах канцерогенных — As и Pb. Окисление пирита и образование ряда микровключений, возможно происходило предположительно с участием бактерий. Основная часть раковин образована плотно сросшимися кристаллами пирита размером 0,2–0,5 мм удлиненной формы. Присутствуют тонкокристаллический и глобулярный пирит, расположенный в узкой пористой переходной зоне на контакте с арагонитовыми слоями стенок и перегородок раковин. В этой зоне расположено и большинство минеральных микровключений. По своим декоративным и технологическим характеристикам аммониты являются высококачественным ювелирным материалом биоминеральной группы. Сбор раковин аммонитов может осуществляться попутно с разработкой карьера по добыче цемента без значительных материальных затрат.

Ключевые слова: аммонит; арагонит; пирит; Рязанская область; юрские отложения; ювелирные материалы.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-4-18-25

MINERAL COMPOSITION AND STRUCTURAL FEATURES OF JEWELRY AMMONITES FROM MINE OJSC «MIKHAILOVCEMENT», RYAZAN REGION

D.A. PETROCHENKOV, A.V. PETROV

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)
23, Miklukho-Maklaya's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: p-d-a@mail.ru

For the first time, the mineral composition and structural features of jewelry ammonite from mine OJSC «Mikhailovcement» in Ryazan Region are studied in detail. Ammonites are associated with sediments of Callovian and Oxfordian stages. Ammonites have a complex zonal structure and mainly up to 96 wt. % pyrite composition. Aragonite, sulphates of calcium and iron, calcite, quartz, apatite, organic matter, graphite, ilmenite, feldspar, mica are established. The walls and partitions of the shells retain the original aragonite composition with lamellar and prismatic layers. Of the impurity elements, heightened contents are fixed (wt.%): As — up to 0,023 and Ni — up to 0,048, and in the range of 0,001—0,01 wt. %: Co, Zn, Mo, Sr, Ba and Pb. The content of radioactive elements U, Th are at the level of background with elevated levels of carcinogenic — As and Pb. The oxidation of pyrite and the formation of a number of micro-inclusions occurred presumably with the participation of bacteria. The main part of the shell is formed by densely fused pyrite crystals of 0,2—0,5 mm in size. There are fine-crystalline and globular pyrite, located on contact with aragonite layers of the walls and partitions of shells. In this zone, most mineral micro inclusions are located. According to their decorative and technological characteristics, ammonites are high-quality jewelry material of the biomineral group. The collection of ammonite shells can be carried out along the way with the development of a mine for the extraction of cement.

Key words: ammonite; aragonite; pyrite; Ryazan region; Jurassic deposits; jewelry materials.

Аммониты, а также изделия из них пользуются в настоящее время повышенным спросом. Аммониты, как поделочный и ювелирный материал, входят в группу биоминеральных образований [1]. На мировой рынок аммониты поступают преимущественно из Мадагаскара [9], Марокко [4], Канады [8], а также РФ [5]. Аммониты интерьерного и ювелирного качества высокой декоративности собираются на карьере ОАО «Михайловцемент» Рязанской области.

При производстве цемента технологическим циклом ОАО «Михайловцемент» предусматривается использование известняков и глин. В нижней части разреза вскрывается михайловский горизонт верхневизейского подъяруса раннекаменноугольного возраста. Отложения представлены толщей известняков с тонкими прослоями глин, общей мощностью 23 м. Выше залегают глины келловейского и оксфордского ярусов юрского возраста, мощностью около 16 м. Верхняя часть разреза (от 7 до 13 м) представлена покровными суглинками четвертичного возраста. Суглинки при отработке карьера поступают в отвал.

Основным видом ювелирного сырья являются аммониты (рис. 1, а, б). Наряду с аммонитами, представляют интерес и раковины наутилусов (рис. 1, в), которые численно существенно уступают первым и внешне принципиально от них не отличаются. Аммониты и наутилусы залегают в морских глинах юрского возраста и характеризуются большим разнообразием видов [2, 3, 7].

Средний келловейский подъярус залегает трансгрессивно на подстилающих породах. Нижняя часть разреза представлена ожелезнёнными песча-

ми, песчаниками и оолитовым мергелем. В верхней части разреза присутствуют песчанистые, часто известковистые глины. Мощность отложений 3—4 м. В отложениях встречаются аммониты родов: *Kosmoceras*, *Binatisphinctes*, *Erymnoceras*, *Funiferites*, *Brightia*.

Верхний келловейский подъярус представлен серыми глинами с конкрециями серого или желтовато-серого оолитового мергеля с редкими мелкими фосфоритами глинистого типа. Мощность отложений 11—12 м. Отложения фаунистически хорошо охарактеризованы аммонитами родов: *Quenstedticeras*, *Kosmoceras*, *Peltoceras*, *Binatisphinctes*, *Funiferites*, *Brightia* и наутилусами рода *Paracenoceras*.

В оксфордском ярусе в рассматриваемом разрезе выделяется нижний подъярус, залегающий на подстилающих породах с размывом.

Нижний подъярус оксфордского яруса представлен серыми, реже чёрными глинами, нередко мергелистыми, с редкими конкрециями фосфоритов глинистого типа. Мощность отложений 1—3 м. Иногда в глинах встречаются довольно большие конкреции оолитового мергеля. В верхней части разреза распространены плотные, легко расслаивающиеся на тонкие пластины, битуминозные глины. В отложениях встречаются аммониты рода: *Peltoceras*, *Cardioceras* и *Euaspidoceras*.

Аммониты расположены непосредственно в глинах юрских отложений и распределены неравномерно. Раковины пиритизированы, сохраняют исходную форму и перламутровый слой. Размер аммонитов преимущественно от 2 до 5 см в диаметре — наиболее востребованный для ювелирных изделий. Встречаются и более крупные, хорошо

сохранившиеся аммониты до 20 см, имеющие высокую стоимость в качестве интерьерных и коллекционных образцов. Размер наutilusов не превышает 10 см в диаметре. Из обломков крупных аммонитов изготавливают поперечные распилы для ювелирных изделий (рис. 2, б, в). Систематический сбор аммонитов в процессе отработки карьера не производится, в результате основное их количество, включая уникальные по качеству и редкие виды, утрачивается.

Методы исследований

Комплекс исследований аммонитов ювелирно-поделочного качества проведен на кафедре минералогии и геммологии МГРИ, в лабораториях ФГБУ «ВИМС», ФГБУН «ИГЕМ РАН». Он включал определение микротвердости, плотности, люминесценции, определение химического состава, электронно-зондовые и электронно-микроскопические исследования.

Количественное определение химического состава аммонитов выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Микротвердость определялась на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой массой 100 г и экспозицией 10 с для пирита и массой 50 г и экспозицией 10 с для арагонита и каль-

цита. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec Sistem Erikhorst» с λ 254 и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на приборе «X'Pert Pro MPD». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-800», позволяющим получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратно-рассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Электронно-микроскопическое изучение образцов проведено на растровом электронном микроскопе (РЭМ) «Tesla-BS-301», оснащённом рентгеновским спектрометром с дисперсией по энергии, позволяющим определять элементный состав от Mg до U.

Минеральный состав и геммологические характеристики аммонитов

По данным РКФА аммониты и наutilusы состоят преимущественно из пирита — от 88 до 96 мас. %. Из других минералов присутствуют в небольших количествах арагонит, кальцит, бассанит, ссомольнокит, апатит, кварц, рентгеноаморфная фаза (РАФ) и дисперсный графит.

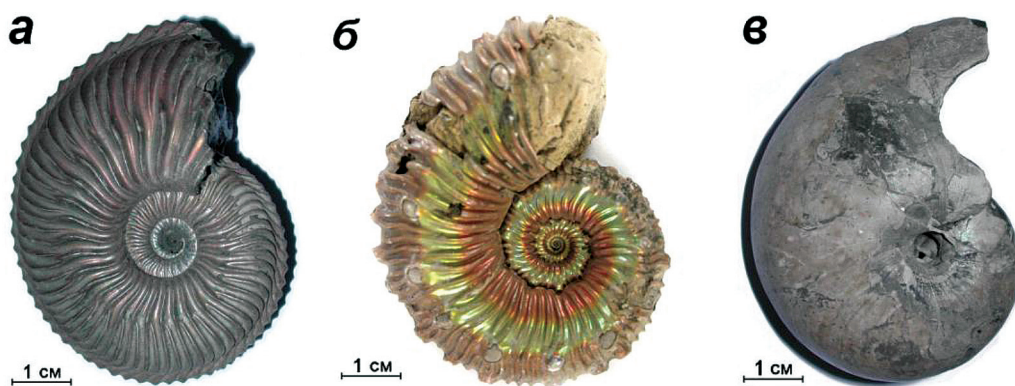


Рис. 1. Аммониты (а, б) и наutilus (в) с сохранившимся слоем перламутра

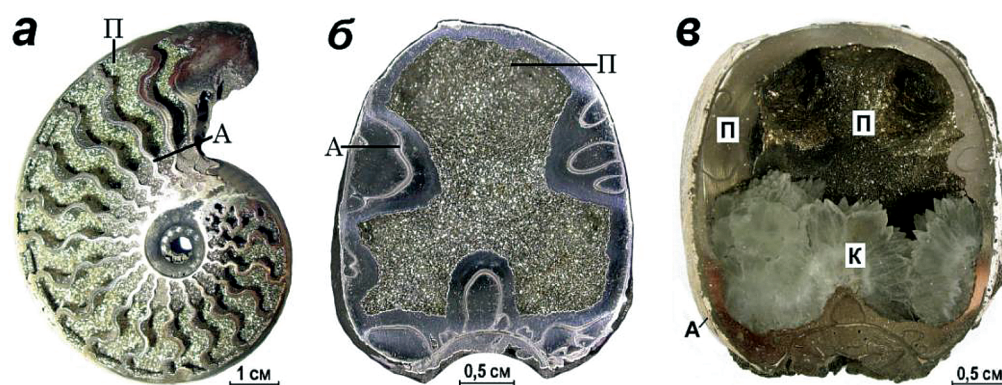


Рис. 2. Продольная (а) и поперечные (б, в) поверхности пиритизированных аммонитов: А — арагонит, П — пирит, К — кальцит

Данные РФА подтверждают минеральный состав аммонитов, а низкие содержания большинства оксидов указывают на отсутствие в заметных количествах, не установленных РКФА минералов (табл. 1). Из элементов-примесей с содержаниями более 0,01 мас. % фиксируются: As — до 0,023 и Ni — до 0,048, а в интервале 0,001—0,01 мас. %: Co, Zn, Mo, Sr, Ba и Pb. Отметим фоновые значения радиоактивных элементов U, Th и повышенные канцерогенных — As и Pb (табл. 2).

Арагонит образует стенки и перегородки раковин аммонитов и наutilusов. Арагонит внешних стенок раковин (перламутровый слой), в зависимости от степени сохранности, белого, желтовато-белого и серого цветов с матовым или перламутровым блеском (рис. 1). На хорошо сохранившемся перламутровом слое наблюдается иризация в красных, оранжевых, жёлтых и зелёных тонах. Толщина перламутрового слоя даже на крупных раковинах не превышает 1 мм. Арагонит, образующий внутренние стенки и перегородки камер раковины, бесцветный или светло-серого цвета с перламутровым или стеклянным блеском (рис. 2).

Плотность арагонита 2,75—2,8 г/см³, что несколько ниже, чем для кристаллов. Микротвёрдость внешней стенки раковины в среднем 115 кг/мм² и существенно зависит от сохранности слоя. Микротвёрдость перегородок камер выше — в среднем 180 кг/мм². Люминесценция при λ 254 нм зелёного цвета наблюдается в центральных частях перламутрового слоя, при λ 365 нм люминесценция усиливается. Внешняя и внутренняя поверхности перламутрового слоя не люминесцируют.

Кальцит присутствует в виде микровключений и его содержание не превышает 1 мас. %. В редких случаях он выполняет отдельные камеры раковин или встречается в виде скопления мелких игольчатых кристалликов на пирите (рис. 2, в). Кальцит, выполняющий камеры, бесцветный или серого цвета, полупрозрачный, образует плотные агрегаты. Блеск кальцита стеклянный, излом раковистый. По результатам РКФА для кальцита характерно

высокое содержание магния в структурной решётке ($\text{Mg}_{0,03}\text{Ca}_{0,97}\text{CO}_3$) по которому он отнесён к магnezальной разновидности. Плотность бесцветного полупрозрачного кальцита, выполняющего камеры раковин, в среднем 2,7 г/см³. Микротвёрдость кальцита 240—290 кг/мм². Кальцит люминесцирует при λ 254 нм зелёным или белёсым цветом, при λ 365 нм свечение усиливается.

Бассанит ($\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$) и ссомольнокит ($\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$) связаны с окислением и гидратацией пирита под воздействием поверхностных вод и содержатся в отдельных образцах до 3 мас. %. Апатит встречается в нескольких образцах, где его содержание 0,5 мас. %. Раковины с апатитом характерны для горизонтов с фосфатизацией отложений, картируемых на Михайловском месторождении. Кварц выявлен также в двух образцах, где его содержание не превышает 0,5 мас. %. Он, по-видимому, связан как с морскими отложениями, так и образовался в процессе минерализации раковин. Фиксируются следы дисперсного графита и органического вещества.

Пирит является основным минералом, выполняющим внутреннее пространство раковин, часто покрывает в той или иной степени их внешние стенки. Если камеры заполнены пиритом не полностью, образуются различной формы жеоды (рис. 2). Неминерализованная часть камер аммонитов ювелирного качества составляет от 10 до 80%. Иногда жеоды могут иметь гладкую, одноцветную поверхность. Обычно жеоды выполнены агрегатами мелких (0,1—1 мм) кристаллов пирита. Наиболее часто встречается пирит кубического габитуса, реже октаэдрического. Наблюдаются и сложные почковидные образования, сочетающие кубический и октаэдрический габитусы кристаллов.

Цвет кристаллов пирита жёлтый, светло-жёлтый, с металлическим блеском (рис. 2, а, б). Агрегаты кристаллов пирита плотные, разламываются с большим трудом, излом неровный, раковистый. Иногда пирит, выполняющий стенки камер, красного, коричневого, оранжевого, жёлтого, зелёного, голубого и фиолетового цветов, связанных с ин-

Таблица 1

Химический состав аммонита по данным рентгеноспектрального флуоресцентного анализа

Номер образца	Содержание компонента, мас. %											
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S _{общ}	Σ
М-10	0,03	0,02	0,16	0,76	0,05	1,93	0,01	<0,01	45,62	0,05	51,37	99,98
Р-5	0,08	0,04	0,24	2,98	0,05	1,15	0,01	<0,01	45,51	0,02	49,18	99,27

Таблица 2

Содержание элементов-примесей в аммоните по данным рентгеноспектрального флуоресцентного анализа

Номер образца	Содержание элемента, мг/кг ($n \times 10^{-4}$ мас. %)															
	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Sr	Zr	Ba	U	Th	Y	Nb	Pb	As
М-10	<5	7	52	160	4	65	42	50	4	11	<5	<5	<5	<5	10	230
Р-5	<10	<10	44	484	37	15	23	24	<10	30	<10	<10	<10	<10	54	206

терференционной окраской минеральных плёнок на поверхности кристаллов [6]. Распределение окрасок зонально-пятнистое, как правило, в одной камере наблюдается сочетание 2—3 цветов, но может наблюдаться и весь цветовой спектр.

Плотность агрегатов пирита 4,6—4,8 г/см³, что несколько ниже, чем у кристаллов. Микротвёрдость пирита от 970 до 1386 кг/мм², что указывает на неоднородность кристаллов. Люминесценция пиритовых агрегатов не наблюдается.

Электронно-зондовые и электронно-микроскопические исследования

Поперечный разрез камеры аммонита характеризуется симметричным положением минеральных образований относительно внутренней стенки и перегородки раковины. Ширина перегородок около 270 мкм, внутренних стенок увеличивается до 350 мкм. По обе стороны от них наблюдаются переходные зоны шириной от 40 до 60 мкм, выполненные тонкокристаллическим пиритом и кальцитом. Далее следует широкая зона однородного крупнокристаллического пирита (рис. 3, а), кристаллы которого выходят своими окончаниями в неминерализованные камеры.

Перегородка аммонита сложена только пластинчатым арагонитовым слоем. Внутренняя и внешняя стенки раковины аммонита состоят из двух араго-

нитовых слоёв: внешнего пластинчатого и внутреннего призматического, ширина которых около 26 мкм. Контакт слоёв достаточно чёткий (рис. 3, б, в). Пластинчатый арагонитовый слой состоит из характерных тонких (0,5 мкм), параллельно ориентированных пластин, образующих жгутовидные образования (рис. 3, в). Внешний участок слоя в значительной степени разрушен, в нём наблюдаются поры. Призматический слой образован ориентированными перпендикулярно стенке раковины аммонита сильноудлинёнными призматическими плотно сросшимися кристаллами. Размер кристаллов 10—15 мкм в длину и 1—1,5 мкм в ширину. Контакт с переходным слоем чёткий. Вдоль него просматриваются цепочки пор (рис. 3, б).

По данным РСМА арагонитовые слои из элементов-примесей содержат (мас. %): Na до 0,35 и Sr до 0,17, которые фиксируются в отдельных спектрах. В стенках раковин присутствуют включения органического вещества, имеющие сложный контур и размер до 250 мкм (рис. 4, а).

Переходный слой имеет ширину от 30 до 200 мкм и сложен тонкокристаллическим пиритом (2—5 мкм), кальцитом и глобулярным пиритом (рис. 4, б, в, 5, а, б). Тонкокристаллический пирит расположен преимущественно на контакте с крупнопризматическим. Контакт переходного слоя с крупнопризматическим пиритом неровный, но достаточно чёткий (рис. 5, б). В этой зоне выделяются шаро-

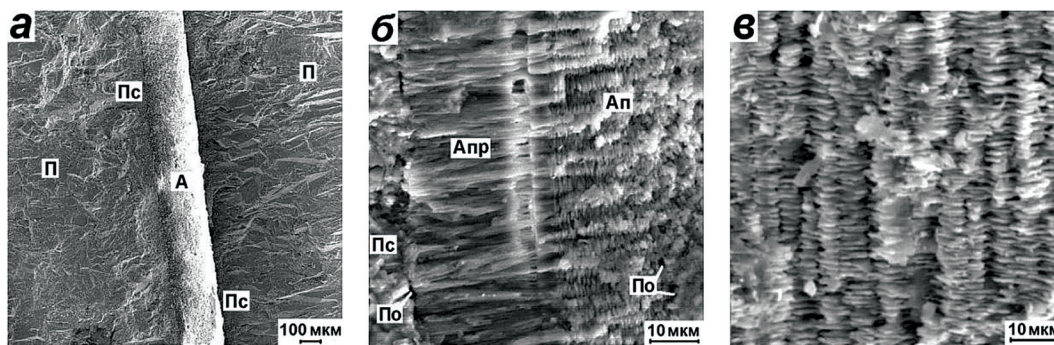


Рис. 3. Общий вид поперечного разреза перегородки раковины аммонита с прилегающими минерализованными зонами (а); структура стенки аммонита (б); фрагмент детализации арагонитового пластинчатого слоя (в). РЭМ: А — арагонитовая перегородка, Ап — пластинчатый и Апр — призматический арагонитовые слои, Пс — переходный тонкокристаллический пиритовый слой, П — пирит крупнокристаллический, По — поры

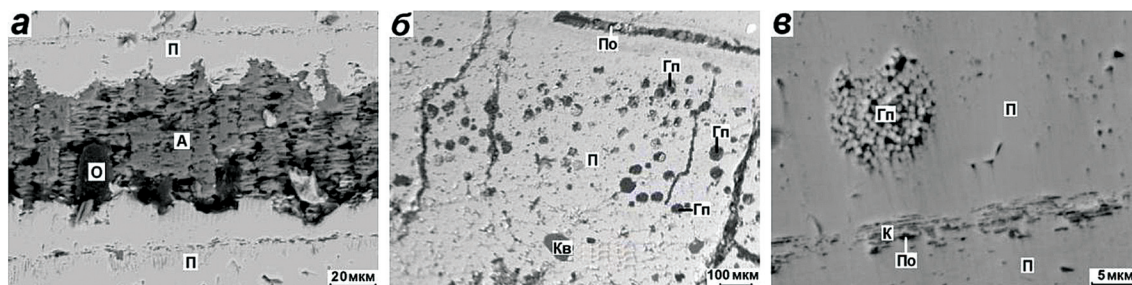


Рис. 4. Арагонитовая стенка раковины (А) с включениями органического вещества (О) и прилегающими слоями пирита (П) (а); тонкокристаллическая пиритовая зона (П) с глобулярным пиритом (Гп) и включениями кварца (Кв) (б); фрагмент детализации выделений глобулярного пирита (Гп) и включениями кальцита (К) (в). Микро-зонд, ОРЭ, По — поры

видные образования диаметром 10—40 мкм, выполненные мельчайшими (до 1 мкм) кристалликами глобулярного пирита (рис. 4, б, в; 5, а, б). Глобулярный пирит представляет собой начало морфологической индивидуализации кристаллизующего вещества. Шаровидные образования глобулярного пирита связаны, по-видимому, с деятельностью микроорганизмов. По контактам перегородки раковины и параллельно ей проходят узкие (3—4 мкм) пористые зоны пирита, в которых фиксируются мельчайшие кристаллики кальцита (рис. 4, в; 5, б). Кристаллы кальцита изометричной формы, размером преимущественно 2—6 мкм, отдельные — достигают 15 мкм. Они достаточно равномерно распределены в пределах слоя и не имеют выраженной ориентировки.

В переходной зоне установлены включения кварца округлой формы размером 70 мкм (рис. 4, б). На другом участке фиксируются многочисленные

кристаллики кварца угловатой формы размером от 40 до 80 мкм (рис. 6, а), возможно связанные с донными осадками. На этом же участке (рис. 6, а) фиксируются мелкие (10—15 мкм) кристаллики, предположительно ильменита, с повышенными содержаниями V, S и Mn, которые также характерны для морских отложений.

Органическое вещество фиксируется в порах по содержанию углерода. Размеры выделений достигают 50 мкм (рис. 6, б). На данном участке выделены единичные кристаллики гипса удлиненной формы размером до 30 мкм по длинной оси (рис. 6, б). Микроклин размером 6×50 мкм занимает пору в пирите с мелкими (2—5 мкм) кристаллами гипса. Гипс имеет в этой зоне значительно большее распространение, чем в центральных частях камер раковины. Присутствуют единичные кристаллы слюды размером 5×100 мкм (рис. 6, в). Микровключения микроклина и слюды связаны с попаданием в

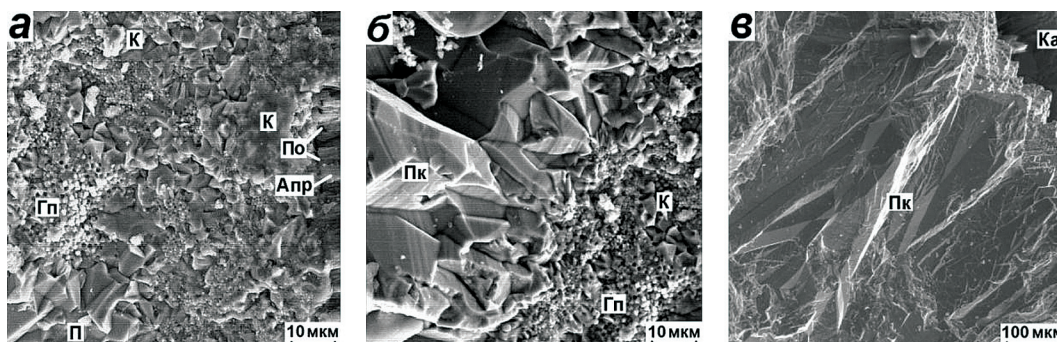


Рис. 5. Структура переходного слоя на контакте с арагонитовым призматическим слоем внешней стенки аммонита (а) и с крупнопризматическим пиритом (б); структура слоя крупнопризматического пирита с окончаниями кристаллов в неминерализованной камере раковины (в). РЭМ. Апр — призматический арагонитовый слой, К — кальцит, Пк — крупнопризматический пирит, Гп — глобулярный пирит, По — поры, Ка — неминерализованная камера

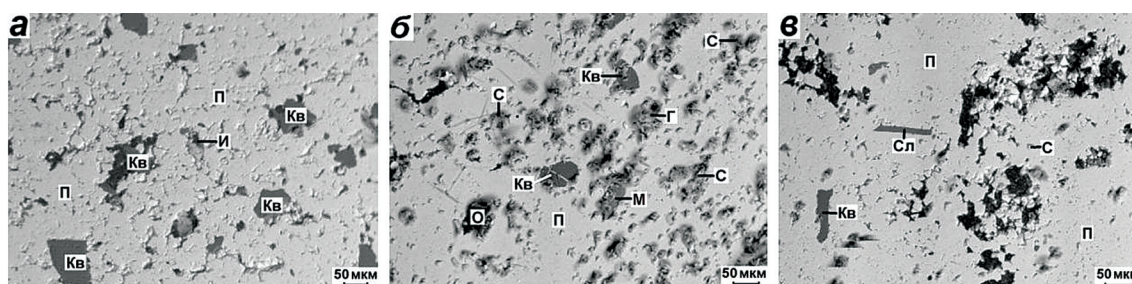


Рис. 6. Микровключения кварца (Кв), ильменита (И), органического вещества (О), сульфатов железа (С), микроклина (М), гипса (Г), и слюды (Сл) в тонкокристаллической пиритовой зоне (П); микрозонд, ОРЭ

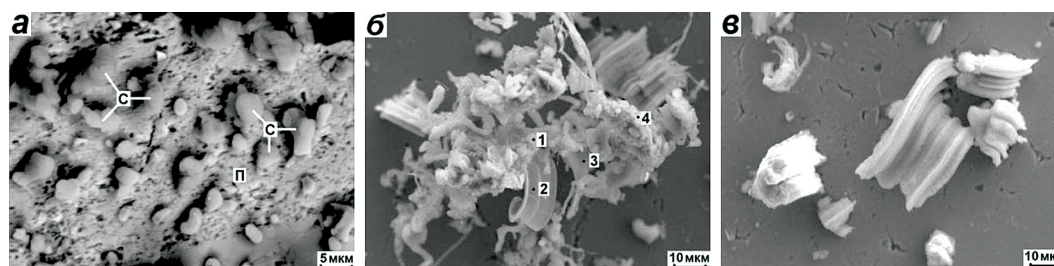


Рис. 7. Выщелоченная поверхность пирита (П) с выделениями сульфатов железа (С) различной формы: а — глобулярный; б — сростки различной формы, в — лентовидной; микрозонд, ОРЭ. 1—4 — номера спектров

Таблица 3

Химический состав сульфатов железа по данным рентгеноспектрального микроанализа

Номер спектра	Содержание элементов, мас. %							
	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	O
1	0,30	1,62	0,35	16,55	0,34	0,19	30,56	40,09
2	0,23	0,89	0,23	20,65	0,23	0,12	29,44	44,87
3	0,30	0,56	0,10	13,18	0,20	0,10	24,66	31,22
4	0,92	3,06	0,23	21,10	0,64	0,59	32,02	40,30

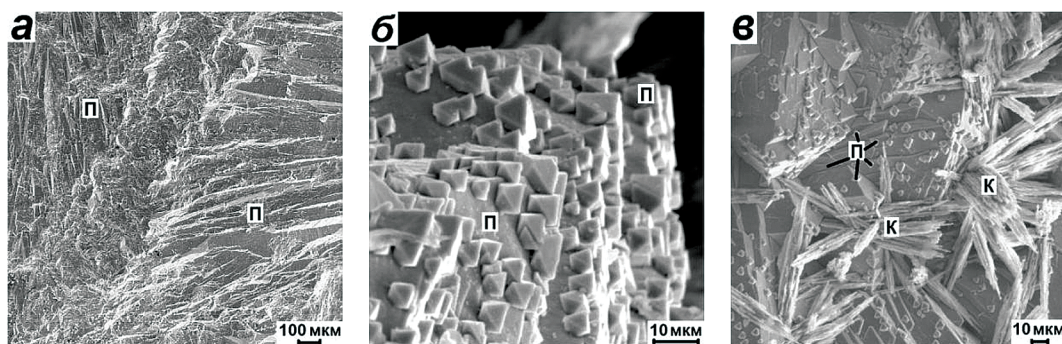


Рис. 8. Зона контакта крупнопризматического пирита с различной ориентировкой кристаллов (а); пирамидальный пирит, выполняющий поверхность неминерализованной камеры с нарастанием мелких октаэдрических кристаллов пирита (б) и игольчатых сростков кальцита (в). РЭМ: П — пирит, К — кальцит

раковины морских отложений, а гипс является новообразованным минералом.

Выделения сульфатов железа (данным РКФА ссомольнокит) достаточно многочисленны и образуются на сильно выщелоченной поверхности пирита (рис. 6, б, в). В начальной стадии роста кристаллы имеют глобулярную форму и размер 1—4 мкм (рис. 7, а). При их срастании формируются комковидные образования размером до 20 мкм, которые состоят из нитевидных, лентовидных, спиралевидных кристаллов (рис. 7, б). Нитевидные кристаллы имеют толщину 1—2 мкм и длину до 60 мкм. Ширина лентовидных кристаллов до 10 мкм, длина — до 60 мкм. При больших увеличениях хорошо видно, что лентовидные кристаллы состоят из сросшихся нитевидных. При их росте характерно скручивание в спираль (рис. 7, в). В сульфатах железа фиксируются повышенные содержания Mg, Al, Si, K и Ca (табл. 3). Часть кристаллов сульфата железа можно отнести к водной форме (табл. 3, спектр 3).

Зона крупнопризматического пирита может выклиниваться на отдельных участках. Длина кристаллов 200—500 мкм, ширина до 150 мкм. Они плотно сросшиеся, на что указывает отсутствие пор, субпараллельны и ориентированы перпендикулярно стенкам раковины. На кристаллах отчетливо видна штриховка, коррозия отсутствует (рис. 5, в). Размер кристаллов несколько возрастает к периферии зоны.

В этой зоне могут наблюдаться поперечные микротрещины, по которым происходило частичное дробление и смещение кристаллов. На контакте пиритовых зон различной ориентировки, образует-

ся полоса шириной 200—300 мкм разориентированных кристаллов (рис. 8, а). Различная ориентировка кристаллов в зонах обусловлена тем, что в одном случае они ориентированы относительно внешней стенки раковины, в другом — перегородок.

Поверхность камеры раковины выполнена пирамидальными головками пирита, являющимися окончаниями крупнопризматических кристаллов (рис. 5, в). Длина граней пирамид колеблется от 50 до 100 мкм. Поверхность неровная, ступенчатая, обусловленная ростом кристаллов. На отдельных участках на головках формируются мелкие (около 3—10 мкм) октаэдрические кристаллы пирита поздней генерации (рис. 8, б). В процессе роста они сливаются, увеличивая размер крупнопризматических кристаллов. На этих же участках формируются игольчатые сростки кальцита. Длина кристаллов достигает 60 мкм при толщине 2—3 мкм (рис. 8, в).

Химический состав пирита в различных точках раковины аммонита достаточно однороден. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Ni, достигающие 0,25 мас. %.

Описанные минеральные и структурные особенности аммонитов ювелирного качества необходимо учитывать при их обработке. Так, различная ориентировка кристаллов пирита в поперечных срезах проявляется при их полировке и в процессе окисления. Слой пирита, примыкающий к стенкам и перегородкам камер, выполнен кристаллами, ориентированными к ним перпендикулярно. Поперечный срез проходит по длинной оси кристаллов, вследствие чего полировка оказывается луч-

шего качества, а окисление происходит медленнее. Эти слои пирита обладают и более высокой микротвёрдостью. Центральные части камер выполнены разноориентированными кристаллами пирита и на поверхности срезов оказываются их косые и торцевые части, хуже принимающие полировку и менее устойчивые к окислению. Арагонитовые перегородки и стенки раковин, окаймляющие их зоны пористого тонкокристаллического и глобулярного пирита с вторичными микровключениями могут быстро разрушаться, что требует их консервации.

Выводы

Аммониты месторождения Михайловское имеют сложное зональное строение и преимущественно пиритовый состав. Стенки и перегородки раковин сохраняют первоначальные пластинчатые и призматические арагонитовые слои. Из других минералов установлены: бассанит, ссомольнокит,

ярозит, кальцит, кварц, апатит, РАФ, графит, гипс, ильменит, микроклин, слюда, выявлено органическое вещество. Образование ряда микровключений происходило, возможно, с участием бактерий.

Основная часть раковин образована плотно срощенными кристаллами пирита размером 0,2—0,5 мм удлиненной формы. Присутствует тонкокристаллический и глобулярный пирит, расположенный в узкой пористой переходной зоне на контакте с арагонитовыми слоями. В этой зоне расположено и большинство минеральных микровключений.

По своим декоративным и технологическим характеристикам аммониты являются высококачественным ювелирным материалом, а интерьерные образцы имеют высокую стоимость. Сбор раковин аммонитов может осуществляться попутно с разработкой карьера без значительных материальных затрат. Минеральный состав и структурные особенности аммонитов ювелирного качества необходимо учитывать при их обработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов В.В. Цветные камни и коллекционные минералы. Энциклопедия. СПб., 2014. 464 с.
2. Герасимов П.А., Митта В.В., Кочанова М.Д. и др. Ископаемые келловейского яруса Центральной России. М.: ВНИГНИ. Мос. Гор. СЮН, 1996. 127 с.
3. Гуляев Д.Б. Инфразональная аммонитовая шкала верхнего бата — нижнего келловея Центральной России // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2001. Т. 9. № 1. С. 68—96.
4. Петроченков Д.А. Особенности отработки верхнедевонских ювелирно-поделочных аммонитов Марокко // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 34—41.
5. 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.
6. Петроченков Д.А., Ружицкий В.В. Минералогические особенности ювелирного пирита из меловых отложений Ульяновской области // Разведка и охрана недр. 2018. № 4. С. 7—12.
7. Средний и верхний оксфорд Русской платформы / Под ред. М.С. Мезежников. Л.: Наука, 1989. 183 с.
8. Mychaluk K. Update on Ammolite production from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. 2009. V. 45. № 3. P. 192—196.
9. Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K., Gale A.S., Praszlier T., Rasoamiamanana A.H., Randrianaly H. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar // Journal of African Earth Sciences. 2014 V. 89. P. 79—132.

REFERENCES

1. Bukanov V.V. Colored stones and collection minerals. *Encyclopedia*. Saint Petersburg, 2014, 464 p. (In Russian).
2. Gerasimov P.A., Mitta V.V., Kochanova M.D. and etc. *Fossil Callovian stage of Central Russia*. Moscow, 1996, 127 p. (In Russian).
3. Gulyaev D.B. The infrazonal ammonite scale of the upper Bahtonian — lower Callovian of Central Russia. *Stratigraphy. Geological correlation*. 2001, vol. 9, no. 1, pp. 68—96. (In Russian).
4. Petrochenkov D.A. Features of production of the upper devonian jewelry-ornamental ammonites of Morocco. *Mining informational and analytical bulletin*. Moscow, 2018, vol. 2, pp. 34—41. (In Russian).
5. Petrochenkov D.A., Bykhovsky L.Z. Jewellery/ornamental ammonites: problems of valuation and production prospects. *Mineral resources of Russia. Economics and Management*, 2018, no. 4, pp. 15—22. (In Russian).
6. Petrochenkov D.A., Ruzhitsky V.V. Mineralogical peculiarities of jewelry pyrite from the Cretaceous deposits of the Ulyanovsk region. *Prospect and protection of mineral resources*, 2018, vol. 4, pp. 7—12. (In Russian).
7. *Middle and Upper Oxford of the Russian Platform*. Edited by M.S. Mezhezhnikov. Leningrad, 1989, 183 p. (In Russian).
8. Mychaluk K. Update on Ammolite production from Southern Alberta, Canada. *Gems & Gemology*. 2009, V. 45, no 3, pp. 192—196.
9. Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K., Gale A.S., Praszlier T., Rasoamiamanana A.H., Randrianaly H. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar. *Journal of African Earth Sciences*. 2014, V. 89, pp. 79—132.