

Д.А. Петроченков

ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ ВЕРХНЕДЕВОНСКИХ ЮВЕЛИРНО- ПОДЕЛОЧНЫХ АММОНИТОВ МАРОККО

На мировой рынок поступает большой объем изделий из ювелирно-поделочных аммонитов Марокко. Коммерческий интерес представляют слои плотных известняков из верхнедевонских отложений с большим количеством аммонитов и других видов фоссилий. Добыча кондиционных блоков мощностью 30—60 см осуществляется траншеями, без применения взрывных работ. Порода состоит из кальцита до 95 мас. % с небольшим количеством доломита, кварца, алюмосиликатов, пирита, гетита, апатита, нераскристаллизованного вещества, в отдельных фрагментах барита. Повышенные содержания гетита придают породе коричневые и красновато-коричневые оттенки. Содержания канцерогенных и радиоактивных элементов близки к фоновым. Опыт добычи и переработки ювелирно-поделочных аммонитов Марокко может быть полезным в РФ, обладающей значительными ресурсами уникального по декоративности аналогичного ювелирно-поделочного сырья.

Ключевые слова: ювелирно-поделочное сырье, аммонит, фоссилицированный известняк, Марокко.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-34-41

Введение

На мировом рынке широко представлены коллекционные и интерьерные аммониты. В последние десятилетия возрос спрос и на ювелирные, сувенирные изделия из аммонитов. Популярен в мире канадский ископаемый перламутр — аммолит, получаемый из стенок аммонитов [6]. Одним из основных поставщиков аммонитов и изделий из них является Марокко [3]. В Марокко добывают различные виды аммонитов из девонских, среднеюрских и нижнемеловых отложений. Регион слабо изучен и в литературе о местах добычи аммонитов, стратиграфии отложений известны отрывочные сведения.

Основной объем марокканских аммонитов коммерческого качества связан с

отложениями франского яруса верхнего девона — 380 млн лет. Отложения представлены аргиллитами и чередованием известняков, мергелей, песчаников. Мощность отложений колеблется от 20 до 50 м [5]. Выходы отложений и основные месторождения аммонитов расположены в окрестностях гг. Эрфуд и Ризани (рис. 1). Аммониты представлены отрядами *Gonititida*, *Agoniatitida* (рис. 2, а) и *Clymeniida* в пределах которых выделяется большое количество рядов [5]. Коммерческий интерес представляют белемниты и наutilusы, которые наряду с аммонитами используются в ювелирных изделиях и сувенирной продукции.

В статье приведены данные о методах добычи верхнедевонских аммонитов ювелирно-поделочного качества, собран-

Карьеры месторождений — это траншеи, вскрывающие продуктивный пласт (рис. 3, а) и прослеживающие его по простиранию. В верхней части разреза — тонкий, около 10 см, гравийно-дресвяный слой пролювия с песком и глиной. Ниже — зона около 80 см смещенного элювия, состоящая из обломков до 10 см измененных исходных пород с большим процентом глинистого материала. Ниже — структурный элювий — известняк, мощностью около 1 м (рис. 3, б). Слой легко разбирается на отдельные обломки. Цвет описанных слоев преимущественно желтовато-коричневый, желтовато-оранжевый. Ниже залегает не измененный или слабо измененный пласт фоссилицированного известняка (рис. 4, а). Мощность кондиционного пласта колеблется от 30 до 60 см.

Для фоссилицированного известняка на отдельных участках характерна цветовая зональность по напластованию. Верхняя часть, около 25 см, неравномерно коричневого цвета, связанного с ожезнением по микротрещинкам (рис. 4, б). Нижняя часть слоя, также около 25 см, — серого и темно-серого цвета. Контакт между цветовыми зонами достаточно четкий. Часто водопроницаемые зоны красновато-коричневого цвета связаны с включениями фоссилий, что придает им многоцветную окраску, повышающую привлекательность. Известняк,

выходящий на поверхность на участках временных водотоков, подвергается выщелачиванию по наиболее проницаемым зонам, расположенным по напластованию.

Отработка месторождения осуществляется при помощи экскаватора, бульдозера. Рабочие перфоратором просверливают отверстия в кондиционных блоках и отделяют их с помощью кувалды и клиньев. Кондиционные блоки складываются на краю карьера для отправки на камнеобрабатывающую фабрику и в небольшие мастерские. Взрывные работы на карьерах не применяются. Отработка проводится по простиранию пласта на одном или нескольких участках. Отработка по падению пласта нерентабельна из-за увеличения объема вскрышных работ. Распределение кондиционных блоков в пласте достаточно равномерно. В результате эксплуатационных работ траншея протягивается на несколько километров. Эксплуатационная разведка месторождений не проводится.

Специализированные поиски месторождений фоссилицированных известняков с применением буровой техники в Марокко не проводятся. Поиски осуществляются путем исхаживания перспективной территории с целью обнаружения обломков известняка или выхода коренных пород с включениями фосси-



Рис. 3. Карьер месторождения фоссилицированных известняков (а). Стенка карьера: 1 — маломощный пролювиальный слой; 2 — смещенный элювий известняка; 3 — структурный элювий известняка. Граница слоя 2 и 3 указаны автором (б)



Рис. 4. Пласт фоссилицированного известняка с включением аммонита диаметром 20 см (а). Обломок пласта мощностью 65 см. Верхняя часть (указана автором) — кондиционный слой с большим количеством фоссилий (б)

лий. Перспективный участок детально изучают с пробной обработкой. Границы месторождения оконтуривают канавами и оформляют лицензию на его эксплуатацию. Карьер закладывают так, чтобы вскрыть кондиционный неразрушенный выветриванием пласт фоссилицированного известняка на минимальной от поверхности глубине и провести его обработку по простиранию. В настоящее время такой метод поисков наряду с уже обрабатываемыми месторождениями полностью обеспечивают потребности в кондиционном сырье. Вывоз сырья из страны запрещен.

Геммологические характеристики аммонитов

Комплекс исследований аммонитов из фоссилицированных верхнедевонских известняков проведен на кафедре геммологии МГРИ-РГГРУ, в ФГУП «ВИМС» и ИГЕМ (РАН). Он включал определение микротвердости, люминесценции, описание прозрачных шлифов, количественное определение химического, минерального состава, радиационных характеристик, электронно-зондовые исследования.

Количественное определение химического состава выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА). Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА)

на установке «Х° Pertr PRO MPD». Микротвердость определялась на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой весом 50 г и выдержал 15 с. Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «MULTISPEC System Eickhorst» с $\lambda = 250$ и 365 нм. Описание прозрачных шлифов проведено под микроскопом «Полам Р-112». Электронно-зондовые исследования проведены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющим определять содержания элементов методом локального рентгеноспектрального анализа (ЛРСА), провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ). Испытание радиационных характеристик проведено в АСИЦ ВИМС.

Результаты исследований

Из проведенного геммологического анализа верхнедевонских аммонитов ювелирно-поделочного качества можно сделать ряд выводов. Порода с фоссилиями, включая аммониты, состоит преимущественно из кальцита — 88–95 мас. %, что позволило отнести ее к известняку. В небольшом количестве — до 3 мас. % присутствует доломит. Минералы донного осадка представлены, мас. %: кварцем — от 1 до 10, алюмосиликатами — от 1 до 4. В процессе диагенеза морского осадка и минерализации камер аммонита образовались, мас. %: пирит — менее 1, гетит — до 3, апатит — менее 1, не-

раскристаллизованное вещество — до 1, в одной пробе барит — 10. Арагонит, образующий исходную раковину аммонита, не фиксируется. Из элементов-примесей фиксируются устойчивые содержания, мас. %: Si — от 0,01 до 0,07, Ва — от 0,003 до 0,02, а в одной пробе — 6,67, в отдельных пробах Ni — до 0,03 и As — до 0,02. Содержания остальных элементов-примесей менее 0,01 мас. %.

В аммонитах отчетливо проявлены контуры стенок и перегородок раковин, выделяющихся темно-серым цветом (рис. 2, а). Ширина стенок колеблется от 0,4 до 1 мм, перегородок — от 0,1 до 0,4 мм. Они выполнены различными по размеру и морфологии кристаллами кальцита. Основная часть кристаллов призматической формы размером 100—500 мкм. Ряд кристаллов занимает всю ширину стенок и перегородок, дру-

гие пересекают их без изменения формы, в результате их контур стирается. Исходная структура арагонитовых слоев полностью утрачена (рис. 5, а).

Первоначально неразрушенные воздушные камеры выполнены кальцитом белого и светло-серого цвета. Кальцит преимущественно непрозрачный, просвечивающий в краях. Небольшие фрагменты выполнены полупрозрачным бесцветным кальцитом. Текстура блочно-мозаичная, массивная (рис. 2, а), излом раковинистый. Люминесценция не наблюдается. Кристаллы кальцита призматической формы, слабо удлиненные, размером преимущественно 0,1—1,0 мм. В центральной части камер размер кристаллов увеличивается до 2 мм, характерны полисинтетические двойники (рис. 5, а). Кристаллы плотносросшиеся, разноориентированные, содержат большое количество мелких, до 8 мкм, пор, а также включения доломита размером до 8 мкм, гидроксидов железа, размером 2—4 мкм и апатита размером до 4 мкм (рис. 5, б).

Химический состав кальцита в аммонитах характеризуется относительно низкими содержаниями Mg, Fe, Mn. Четких закономерностей в распределении элементов-примесей в кальците, выполняющих различные структурные элементы раковин, не наблюдается. Цвет и прозрачность кальцита определяется размером кристаллов, количеством микропор, составом и количеством микровключений.

Жилые камеры и первоначально разрушенные воздушные, основная часть аммонита, выполнена известковистым мергелем темно-серого, черного, коричневого, редко красновато-коричневого и оранжевого цветов, последние связаны с зоной окисления. Мергель плотный, непрозрачный, текстура массивная, раскалывается с раковинистым изломом, не люминесцирует. Характерны включения белого цвета, выполненные средне-

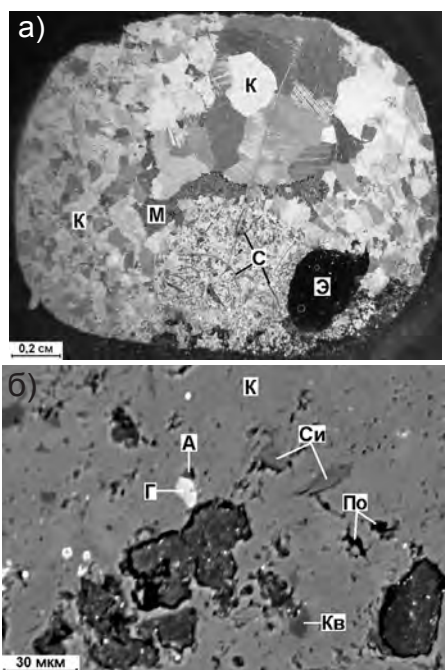


Рис. 5. Фрагменты аммонита: прозрачный шлиф. Николи X. — известковый мергель (М), кальцит (К), стенки и перегородки раковины (С), эпоксидная смола (Э) (а); включения кварца (Кв), кальцита (К), алюмосиликатов (Си), гетита (Г), апатит (А) в ОРЭ (б)

крупнозернистым кальцитом. Кристаллы кальцита в мергеле размером от 0,1–1,5 мм, разноориентированные, плотносросшиеся, слабо удлинённой формы. Мергель содержит большое количество микропор и микровключения кварца, алюмосиликатов, гидроксидов железа, пирита, апатита, доломита и нераскристаллизованного вещества.

Включения кварца угловатой формы размером 10–20 мкм распределены равномерно в достаточно большом количестве. Включения алюмосиликатов изометричной и вытянутой формы размером 5–15 мкм имеют сложный контур (рис. 5, б). В них фиксируются высокие содержания Al, Si, O, K, Ca, Fe, повышенные Na, Mg. Фиксируются редкие кристаллики пирита размером до 5 мкм. Гетит размером 1–12 мкм располагается по контурам зерен кальцита и алюмосиликатов, образует скопления размером до 60 мкм. Характерна квадратная, шестиугольная форма включений, указывающая на замещение им пирита. Гетит определяет коричневатый, красновато-коричневый, а при высоких содержаниях и коричневатый-красный цвет породы. Апатит призматической и округлой формы размером 2–15 мкм. Включения доломита угловатой и округлой формы размером 2–8 мкм. Включения нераскристаллизованного вещества размером до 15 мкм изометричной и слабо вытянутой формы, имеют сложный контур. В них фиксируются высокие содержания Fe, Al, Si, Ca, Cu, O.

Различные фрагменты фоссилизированного известняка с включениями аммонитов имеют близкие значения микротвердости от 158 до 174 кгс/мм², обусловленные преимущественно кальцитовым составом. Порода хорошо полируется до стеклянного блеска. Включения аммонитов могут широко использоваться в ювелирных изделиях, преимущественно для изготовления кулонов.

Результаты испытаний радиационных характеристик фоссилизированных известняков показали низкую удельную активность, Бк/кг: ²²⁶Ra — 72, ²³²Tb — 11, ⁴⁰K — 45, ¹³⁷Cs < 4 и A_{эфф} — 99. В соответствии с Приложением А ГОСТа 30108-947 к СП 2.6.1.2800-10 «Материалы и изделия строительные» порода относится к I классу (A_{эфф} < 370 Бк/кг), позволяющему использовать ее без ограничения.

Заключение

Большой объем аммонитов, изделий из них поступает на мировой рынок из верхнедевонских отложений Марокко. Коммерческий интерес представляют слои фоссилизированного известняка, мощностью 30–60 см. Порода состоит из кальцита до 95 мас. % с небольшим количеством доломита, кварца, алюмосиликатов, пирита, гетита, апатита, нераскристаллизованного вещества, в отдельных фрагментах барита.

Гетит образовался в результате окисления пирита. Повышенные содержания гетита придают фоссилизированному известняку коричневые и красновато-коричневые оттенки. Порода не содержит повышенных содержаний канцерогенных и радиоактивных элементов, однородна по твердости, хорошо полируется до стеклянного блеска.

Добыча фоссилизированных известняков осуществляется траншеями с использованием бульдозеров, экскаваторов. Взрывные работы не применяются. В Марокко производится широкий ассортимент изделий от кабошонов до фонтанов и облицовочной плитки. Вывоз из страны сырья запрещен.

Опыт добычи и переработки фоссилизированных известняков с аммонитами Марокко может быть полезным в РФ, обладающей значительными ресурсами уникального по декоративности и технологическим характеристикам аналогичного ювелирно-поделочного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буканов В. В. Цветные камни. Геммологический словарь. — СПб., 2001. — 208 с.
2. Петроченков Д. А. Камнесамоцветное сырье Ульяновской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 5. — С. 319—323.
3. Петроченков Д. А. Геммологические аспекты верхнедевонских ювелирно-поделочных аммонитов Марокко / Доклады XII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 1. — М.: МГРИ-РГРРУ. 2015. — С. 321—322.
4. Петроченков Д. А. Минеральный состав и структурные особенности ювелирных аммонитов Костромской области // Известия вузов. Геология и разведка. — 2017. — № 2. — С. 22—27.
5. Полянин В. С., Полянина Т. А., Дусманов Е. Н. и др. Минерально-сырьевая база цветных камней России: перспективы ее освоения и развития // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 9. — С. 66—76.
6. Bockwinkel J., Becker R. T., Ebbighausen V. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, Southern Morocco) // Fossil Record. 2013. vol. 01.16(1), pp. 5—65.
7. Bockwinkel J., Becker R. T., Ebbighausen V. Upper Givetian ammonoids from Dar Kaoua (Tafilalt, SE Anti-Atlas, Morocco) // Berliner paläobiologische Abhandlungen. 2009. Vol. 11. pp. 61—128.
8. De Baets K., Klug C., Plusquellec. Y. Zlichovian faunas with early ammonoids from Morocco and their use for the correlation of the eastent Anti-Atlas and the western Dra Valley // Bulletin of Geosciences, 2010, 85 (2). pp. 317—352.
9. Mychaluk K., Zevinson A., Russelle H. Ammolite: Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. 2001. Spring. vol. XXXVII, pp. 4—25.
10. Mychaluk K. Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. 2009. Vol. 45, no 3, pp. 192—196.
11. 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, Vol. 89, pp. 79—132.
12. Zakharov Y. D., Tanabe K., Shigetani Y., Safronov P. P., Smyshlyaeva O. P., Dril S. T. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data // Cretaceous Research, 2016, Vol. 58, pp. 29—41. **ПТДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Петроченков Дмитрий Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, e-mail: p-d-a@mail.ru, Российский государственный геологоразведочный университет МГРИ-РГРРУ.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 2, pp. 34—41.

D.A. Petrochenkov

FEATURES OF MINING UPPER DEVONIAN MOROCCAN AMMONITES SUITABLE FOR JEWELRY AND ORNAMENTAL PURPOSES

Huge quantity of decorative Moroccan ammonites enters the world market. Of commercial interest is the Upper Devonian dense limestone layer containing great many ammonites and other fossils. The blocks 30–60 cm thick are cut by dozers and shovels, without blasting. The mineralogy of the fossilized limestone suitable for jewelry and ornamental purposes is comprehensively studied using X-ray technique and electron microprobe analysis. The rock contains 95 wt% of calcite with a small quantity of dolomite, quartz, aluminosilicate, pyrite, goethite, apatite and nondecrystallized substance, some particles contain barite. Due to high content of goethite, the rock has brown and reddish-brown color. Regarding impurity elements, stable content is recorded for Sr from 0.01 to 0.07 wt% and Ba from 0.003 to 0.02 wt% (one sample contained 6.67 wt%). Cancer-causing and radioactive elements show nearly background content.

The experience gained in mining and processing of decorative ammonite in Morocco can be useful in Russia holding considerable reserves of this unique raw material for jewelry and ornamental purposes.

Key words: raw material for jewelry and ornamental purposes, fossilized limestone, goethite, cancer-causing and radioactive elements, Morocco.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-34-41

AUTHOR

Petrochenkov D.A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor, e-mail: p-d-a@mail.ru, Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Bukanov V.V. *Tsvetnye kamni. Gemmologicheskii slovar'* (Colored stones. Gemological dictionary), Saint-Petersburg, 2001, 208 p.
2. Petrochenkov D.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2006, no 5, pp. 319–323.
3. Petrochenkov D.A. *Doklady XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Novye idei v naukach o Zemle»*. T. 1. (Reports of XII International scientific-practical conference «New ideas in Earth Sciences», vol. 1), Moscow, MGRI-RGRRU. 2015, pp. 321–322.
4. Petrochenkov D.A. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 2017, no 2, pp. 22–27.
5. Polyani V.S., Polyani T.A., Dusmanov E. N. *Razvedka i okhrana nedr*. 2015, no 9, pp. 66–76.
6. Bockwinkel J., Becker R. T., Ebbighausen V. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, Southern Morocco). *Fossil Record*. 2013. vol. 01.16(1), pp. 5–65.
7. Bockwinkel J., Becker R. T., Ebbighausen V. Upper Givetian ammonoids from Dar Kaoua (Tafilalt, SE Anti-Atlas, Morocco). *Berliner paläobiologische Abhandlungen*. 2009. Vol. 11. pp. 61–128.
8. De Baets K., Klug C., Plusquellec. Y. Zlichovian faunas with early ammonoids from Morocco and their use for the correlation of the eastern Anti-Atlas and the western Dra Valley. *Bulletin of Geosciences*, 2010, 85 (2). pp. 317–352.
9. Mychaluk K., Zevinson A., Russelle H. Ammolite: Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada. *Gems & Gemology*. 2001. Spring. vol. XXXVII, pp. 4–25.
10. Mychaluk K. Update on ammolite production from Southern Alberta, Canada. *Gems & Gemology*. 2009. Vol. 45, no 3, pp. 192–196.
11. Walaszczyk I., Kennedy W. J., Dembicz K., Gale A. S., Praszler T., Rasoamiamanana A. H., Randrahaly 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, Vol. 89, pp. 79–132.
12. Zakharov Y. D., Tanabe K., Shigeta Y., Safronov P. P., Smyshlyayeva O. P., Dril S. T. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data. *Cretaceous Research*, 2016, Vol. 58, pp. 29–41.

FIGURES

Fig. 1. Schematic geological map of the Erfurt and Rissani regions with the specified locations of fossilized limestone deposits (1–3) according to the data from [5] with the author's amendments.

Fig. 2. (a) Frasnian-stage Agoniatitida-order ammonite, diameter 4.7 cm. (b) Manufacturing goods from fossilized limestone. Foreground: tabletops and a fountain, Erfurt (b).

Fig. 3. (a) Open pit fossilized limestone mine. (b) Pit wall: 1—thin proluvium layer; 2—displaced limestone alluvium; 3—structural limestone alluvium. Boundaries 2 and 3 of the layer are outlined by the author.

Fig. 4. (a) Fossilized limestone layer with an inclusion of ammonite 20 cm in diameter. (b) Fragment of a layer 65 cm thick. The top portion (indicated by the author) is a good-quality layer with a great quantity of fossils.

Fig. 5. (a) Ammonite fragments, thin section. Nicols X: M—lime marl, C—calcite; S—walls and partitions in shell; E—epoxy resin; (b) inclusions of quartzite (Q), calcite (Ca), aluminosilicate (Si), goethite (G) and apatite (A).