

УДК 549.651.12 (470.31)

## ЗАМЕЩЕНИЕ КАРБОНАТНОГО ОРГАНОГЕННОГО ДЕТРИТА КАЛИЕВЫМ ПОЛЕВЫМ ШПАТОМ В МОСКОВСКОМ ЯРУСЕ СРЕДНЕГО КАРБОНА ПОДМОСКОВЬЯ

Ю.В. Яшунский<sup>1</sup>, И.А. Новиков<sup>2</sup>, С.В. Гришин<sup>3</sup>,  
Б.Б. Шкурский<sup>4</sup>, Д.В. Альбов<sup>4</sup>, И.Г. Быстров<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ООО «Минерал-Инфо»

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

<sup>3</sup> Геологический институт РАН, Москва

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

<sup>5</sup> Всероссийский институт минерального сырья, Москва

Поступила в редакцию 20.03.17

Впервые приведено описание псевдоморфоз калиевого полевого шпата по кальцитовому органогенному детриту (фрагменты скелетов иглокожих, раковины фораминифер) из карбонатных отложений среднего карбона (подольский и мячковский подъярусы московского яруса) Московской обл. Для полевого шпата, представленного санидином, приведены результаты микронзондовых определений химического состава, параметры элементарной ячейки, показатели Al/Si упорядоченности.

*Ключевые слова:* аутигенный калиевый полевой шпат, санидин, псевдоморфозы, средний карбон, Подмосковье.

*Yashunsky Yu.V., Novikov I.A., Shkurskii B.B., Grishin S.V., Albov D.V., Bystrov I.G.* Replacement of organogenic carbonate detritus by potassium feldspar in Moscovian Stage of Middle Carboniferous in Moscow Basin. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2017. Volume 92, part 2. P. 58–64.

A first description is given to the vivid and unambiguous pseudomorphic replacement of calcite organogenic detritus (fragments of echinoderms, Foraminifera shells) by potassium feldspar from carbonate deposits of the Podolskian and Myachkovian regional substages of Middle Carboniferous (Middle Pennsylvanian) in the Moscow Basin. For the feldspar, represented by sandine, microprobe data on its chemistry, unit cell parameters, characteristics of Al/Si ordering.

*Key words:* authigenic potassium feldspar, sanidine, pseudomorphs, Middle Carboniferous, Moscow Basin.

### Введение

В отечественной и зарубежной литературе многократно описаны находки аутигенных калиевых полевых шпатов (КПШ) в осадочных карбонатных породах, не подвергавшихся существенным термобарическим воздействиям, их формирование связывается большинством исследователей с гравитационно-рассольным эпигенезом (Махнач, 1989; Поликарпов и др., 1979; Чайковский, Чиркова, 2013; Hagen et al., 2001; Hearn, Sutter, 1985; Kastner, 1971; Kastner, Siever, 1979; Leitner, 2015; Spoetl et al., 1996, 1998). Эти исследования содержат обширную информацию о локализации КПШ в конкретных геологических формациях, данные об их химическом составе и кристаллической структуре, однако сведения о взаимоотношениях этих новообразований с карбонатным органогенным детритом крайне скудны.

Частичное и полное замещение раковинного (брахиоподы) и криноидного детрита аутигенным альбитом и кварцем в шлифах было описано Б. Стрингхэмом

в известняках формации Брейзер миссисипского возраста (нижний карбон) из обнажений в каньоне р. Прово, штат Юта, США (Stringham, 1940).

В работах М. Кастнер (Kastner, 1971; Kastner, Siever, 1979) лишь упоминается о микроскопически установленных случаях замещения карбонатного органогенного детрита калиевым полевым шпатом, что, по мнению этого автора, является одним из основных критериев аутигенности данных минеральных образований.

### Объекты исследований

Замещение кальцитового органогенного детрита аутигенным калиевым полевым шпатом было обнаружено в карбонатных отложениях подольского и мячковского подъярусов московского яруса среднего карбона, вскрытых в южной части Московской синеклизы, в Подольском (ныне рекультивированном) и Домодедовском карьерах в Московской обл. к югу от Москвы (рис. 1).

Изученный интервал сложен переслаиванием органогенно-детритовых известняков, глинистых известняков, доломитов и неравномерно доломитизированных известняков (Иванова, Хворова, 1955; Махлина и др., 2001).

Замещение органогенного кальцитового детрита калиевым полевым шпатом установлено на двух уровнях разреза. Первый уровень соответствует границе щуровской свиты подольского подъяруса и коробчеевской свиты мячковского подъяруса среднего карбона. В Подольском карьере он представлен прослоем доломитизированных глин (2–5 см), диагностированных ранее как продукт преобразования вулканических пеплов (Махлина и др., 2001).

Наиболее детально этот уровень был изучен в Домодедовском карьере. Здесь на неровной поверхности желтовато-серых тонкозернистых доломитов щуровской свиты залегают пластичные в водонасыщенном состоянии частично доломитизированные глины (5–7 см), выше – плотные доломитовые мергели (3–5 см). В северной части карьера прослой глины и мергелей серые и темно-серые с тонкокристаллическим пиритом, в центральной части они желтовато-серые, окисленные, с многочисленными псевдоморфозами гетита по пириту. Выше по разрезу залегают в различной степени доломитизированные органогенно-детритовые известняки основания коробчеевской свиты.

Второй уровень был изучен только в Домодедовском карьере, где он приурочен к средней по мощности части домодедовской свиты мячковского подъяруса и расположен в 8 м выше по разрезу относительно первого уровня. Он представлен двумя прослоями рыхлых желтовато-серых частично доломитизированных глин (5–10 см), расстояние между которыми составляет 1,5 м, залегающих среди доломитизированных органогенно-детритовых известняков. Ранее на основании наличия в одном из прослоев глин большого количества биотита и полевого шпата было сделано предположение, что эти глины являются измененным вулканическим пеплом (Goreva et al., 2009).

В прослоях глинистых пород обоих уровней нами были установлены многочисленные монокристаллы кварца, циркона, апатита и ильменита, гексагональные таблички темно-зеленого биотита, остроугольные с занозистым изломом обломки кварца и обломки КППШ неправильной формы. Важно отметить, что, помимо циркона, апатита и ильменита, иные минералы тяжелой фракции, такие как гранат, рутил, турмалин, ставролит, дистен и др., типичные для водного переноса, здесь отсутствуют. Таким образом, перечисленные компоненты явно имеют пирокластическую природу, а прослой, их содержащий, является пепловыми, большая часть материала которых в процессе диагенеза и эпигенеза была преобразована в глинистые минералы.

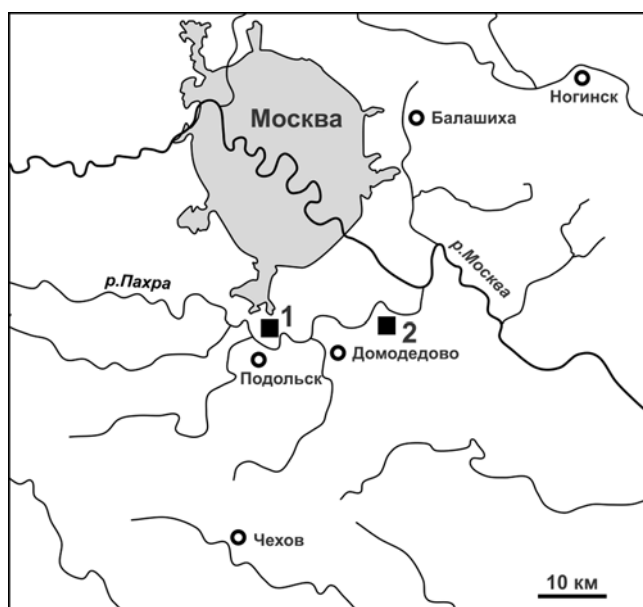


Рис. 1. Расположение карьеров: 1 – Подольский, 2 – Домодедовский

### Методы исследований

В Домодедовском карьере было проведено детальное опробование пепловых прослоев нижнего и верхнего уровней и вмещающих их карбонатных отложений пробами весом по 2–3 кг.

Поскольку в настоящее время разрез в Подольском карьере недоступен, нами была изучена одна проба глин из первого уровня, отобранная ранее и любезно предоставленная А.Э. Давыдовым.

Для всех микроскопических и аналитических определений навески калиевого полевого шпата и иных минералов выделялись путем ручного отбора под бинокулярным микроскопом из нерастворимых остатков, полученных растворением карбонатных пород в 10%-ном водном растворе уксусной кислоты при комнатной температуре. В ряде случаев для удаления доломита нерастворимые остатки дополнительно обрабатывались в 10%-ном водном растворе соляной кислоты при комнатной температуре.

**Химический состав.** Количественный химический состав калиевых полевого шпатов изучался на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8100 (JEOL, Япония). Анализ осуществлялся в полированных препаратах с углеродным напылением при ускоряющем напряжении 20 kV, токе на цилиндре Фарадея 20 nA и диаметре зонда 1 мкм. Время экспозиции на основные элементы составляло 10 сек. Для элементов Si, Na, Fe, K, Al, Mg, Mn, Ca, Ti использовались аналитические линии K $\alpha$ -серии, для Ba и Sr – L $\alpha$ -серии. Кристаллы-анализаторы: для Si, Na, Al, Mg, Sr – TAP, для Mn, Fe, Ba – LIF, для Ti, Ca и K – PETH. Используемые стандарты: на Si, K – KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, на Na – NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, на Fe – Fe<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, на Al – AlPO<sub>4</sub>, Ca – Ca<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>12</sub>Cl, на Mg – CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, на Mn – MnSiO<sub>3</sub>, на Ti – TiO<sub>2</sub>, на Ba – BaSO<sub>4</sub>, на Sr –

$\text{SrSO}_4$ . Расчет поправок осуществлялся по методу ZAF-коррекции с использованием программы фирмы JEOL.

Изображения агрегатов полевого шпата в отраженных электронах и в характеристических излучениях элементов были получены на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO LS10 (Zeiss, Германия), оснащенный энергодисперсионным спектрометром Oxford X-Max50 (Oxford, Соединенное Королевство).

**Рентгенофазовый анализ.** Рентгенографические измерения выделенной полевошпатовой фракции выполнены на автоматическом рентгеновском дифрактометре Empyrean (PANalytical, Нидерланды) с использованием рентгеновской трубки с Cu-анодом и никелевым фильтром. Режим работы трубки:  $V = 45 \text{ kV}$ ,  $I = 40 \text{ mA}$ . Запись дифракционных спектров производилась в диапазоне  $10\text{--}60^\circ 2\theta$  с шагом  $0,017^\circ$ . Образцы для измерения готовились путем нанесения исследуемого порошка на поверхность бесфоновой кремниевой пластины. Образец во время съемки вращался со скоростью 4 об./сек. Уточнение параметров элементарной ячейки проводилось методом Ле Бейля (Le Bail, 2005) с помощью программы JANA2006 (Petricek et al., 2014), для описания профиля пиков использована функция псевдо-Фойт.

### Строение псевдоморфоз

В известняках и частично доломитизированных известняках мячковского подъяруса, вскрытых в Домодедовском карьере, установлены три морфологические разновидности новообразованных полевых шпатов. Во-первых, это каймы, нарастающие на окатанные обломочные песчаные зерна полевых шпатов и достраивающие эти зерна до идиоморфных кристаллических форм с отчетливой триклинной морфологией. Во-вторых, это псевдоскелетные футлярные идиоморфные кристаллы, присутствующие в слоях, не содержащих обломочные зерна полевых шпатов. Эти две разновидности оказались полностью идентичными формам, обнаруженным в известняках касимовского яруса верхнего карбона в Русавкинском карьере, где была доказана их аутигенная природа (Яшунский и др., 2016).

Третья разновидность в виде псевдоморфоз калиевого полевого шпата по карбонатному органическому детриту встречается исключительно в глинах и мергелях обоих уровней, содержащих пирокластический материал. В прослоях первого (нижнего) уровня содержание псевдоморфного полевого шпата составляет 5–10% от веса пород, в прослоях второго (верхнего) – 1–3%.

Замещению подвержен практически весь карбонатный детрит: от тонких (0,01 мм) недиагно-

стируемых фрагментов до крупного криноидного детрита (0,5–1,5 см) – члеников стеблей морских лилий, табличек панцирей и игл морских ежей рода *Archaeocidaris* (рис. 2). Замещаются также стенки раковин фораминифер, по-видимому, рода *Paleonubecularia* (рис. 2), а полости камер фораминифер отряда Palaeotextulariida полностью выполняются тонкокристаллическим алюмосиликатом (рис. 3). Замещение иных карбонатных скелетных остатков не наблюдается.

Псевдоморфозы сложены тонкозернистыми агрегатами бесцветных и прозрачных кристаллов полевого шпата размером 0,005–0,01 мм. Упаковка зерен неплотная, разреженная, степень замещения кальцита в пределах детрита составляет в среднем 30–50, реже 70–80 и более процентов.

Морфология кристаллических индивидов в агрегатах весьма однообразна, примитивна и представлена короткостолбчатыми вытянутыми по оси С индивидами с преобладанием простых форм (110) и (1 $\bar{1}$ 0) над несколько подчиненной ( $\bar{1}$ 01), что позволяет уверенно отнести их к адуляровому габитусному типу (Боруцкий, 2003, с. 172, рис. 43 г). На отдельных кристаллах наблюдается слабо развитая грань второго пинакоида (010).

В открытых микрополостях пород, не заполненных карбонатным материалом, на поверхности тонкозернистых агрегатов формируются более крупные, до 0,05–0,07 мм, кристаллы. Часть индивидов может быть отнесена к бавенскому габитусному типу с простыми формами (010) + (001) > (110) + (1 $\bar{1}$ 0) (рис. 4, слева), часть – к финистерскому типу с простыми формами (010) > (110) + (1 $\bar{1}$ 0) + (001) + ( $\bar{1}$ 01) (рис. 4, в центре) (Боруцкий, 2003, с. 172, рис. 43 а, в). Индивиды финистерского типа образуют, в частности, легко диагностируемый манебахский двойник по (001), сердцевидной формы, с ясным двойниковым швом и маленьким востком около шва (рис. 4).

### Состав и структура псевдоморфного полевого шпата

По данным микронзондового анализа, химический состав полевого шпата, замещающего кальцитовый органический детрит, во всех изученных пробах оказался весьма постоянным, с подавляющим преобладанием  $\text{K}_2\text{O}$  над  $\text{Na}_2\text{O}$  и крайне низкими содержаниями CaO и BaO в катионной части (таблица).

По данным рентгенофазового анализа, все пробы содержат одну фазу – санидин (сингония моноклинная, пространственная группа C2/m). Рассчитанные по данным дифракционных спектров параметры элементарных ячеек и показатели Al/Si упорядоченности в структурно неэквивалентных

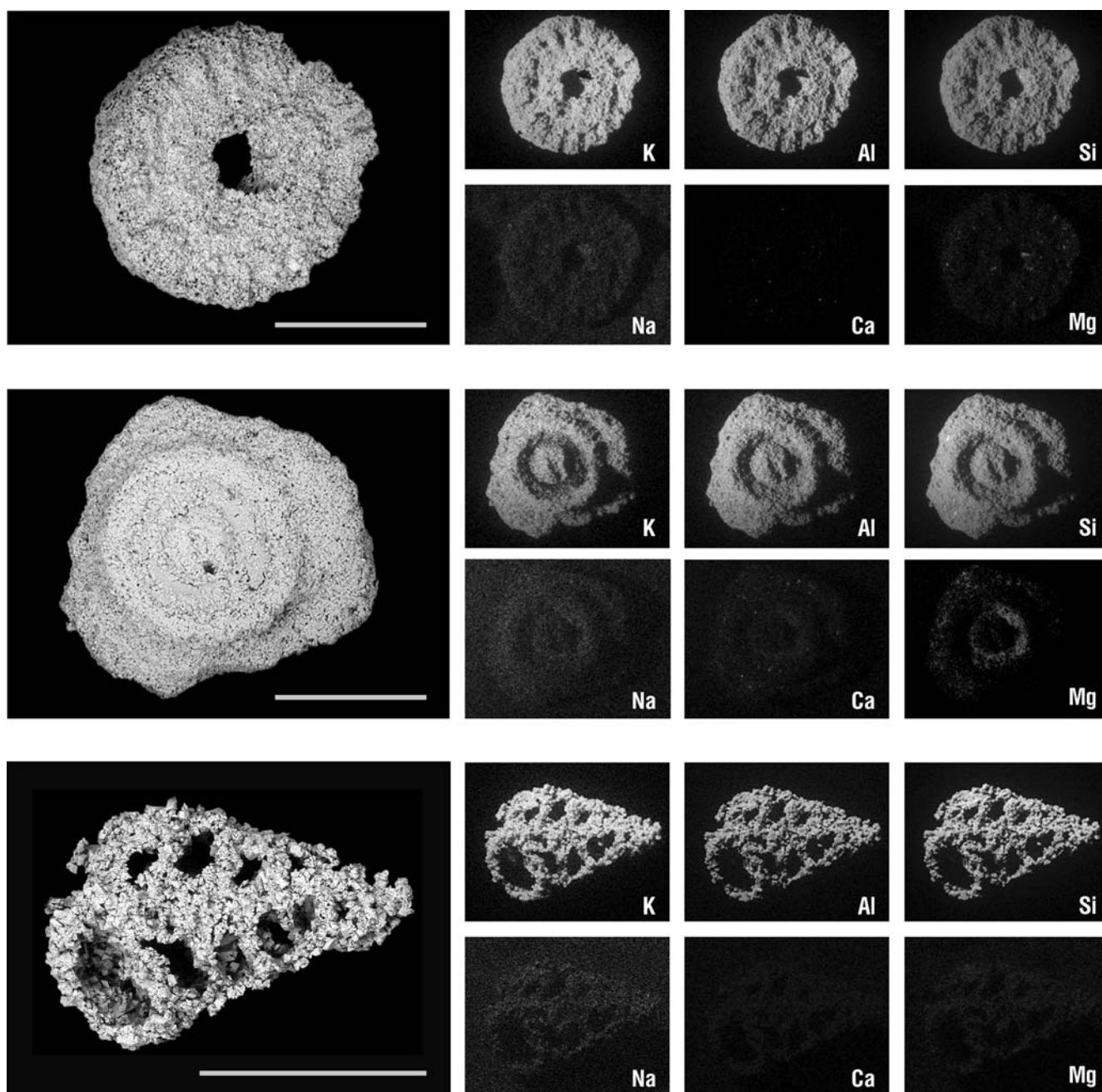


Рис. 2. Членок морской лилии, табличка панциря морского ежа *Archaeocidaris* и раковина фораминиферы рода *Palaeotextularia* (?), замещенные тонкокристаллическим калиевым полевым шпатом. Обр. DM-001, прослой первого пеплового уровня. РЭМ. Изображения в отраженных электронах (слева) и в характеристическом рентгеновском излучении указанных элементов (справа). Длина масштабной линейки 0,5 мм

тетраэдрических позициях также оказались практически одинаковыми для всех проб (таблица).

Совокупность этих данных позволяет, согласно классификации (Боруцкий, 2003), идентифицировать данный калиевый полевой шпат как высокий санидин, формула усредненного состава которого, рассчитанная методом нормирования баланса заряда по кислороду, близка к идеальному К-санидину:  $(K_{0.970}Na_{0.006}Ba_{0.001}Sr_{0.001}Ca_{0.004})[Al_{0.994}Si_{3.002}O_8]$ .

Полевые шпаты, слагающие кристаллические каймы на обломочных зернах ПШ и псевдоскелетные кристаллы, не были проанализированы рентгенографически, однако, по данным микрозондового анализа, их усредненный химический состав

практически совпадает с составом К-санидина псевдоморфоз и может быть представлен соответственно следующими формулами:  $(K_{0.969}Na_{0.005}Sr_{0.001}Ca_{0.003})[Al_{0.998}Si_{3.002}O_8]$  и  $(K_{0.953}Na_{0.006}Ca_{0.004})[Al_{0.989}Si_{3.012}O_8]$ .

Идентичность химического состава всех разновидностей новообразованных калиевых полевых шпатов позволяет предположить наличие единого процесса их формирования, а имеющиеся морфологические различия объясняются особенностями литологического состава вмещающих пород.

Авторы выражают благодарность А.С. Алексееву и Б.Е. Боруцкому за конструктивные замечания и ценные рекомендации при подготовке статьи к печати.

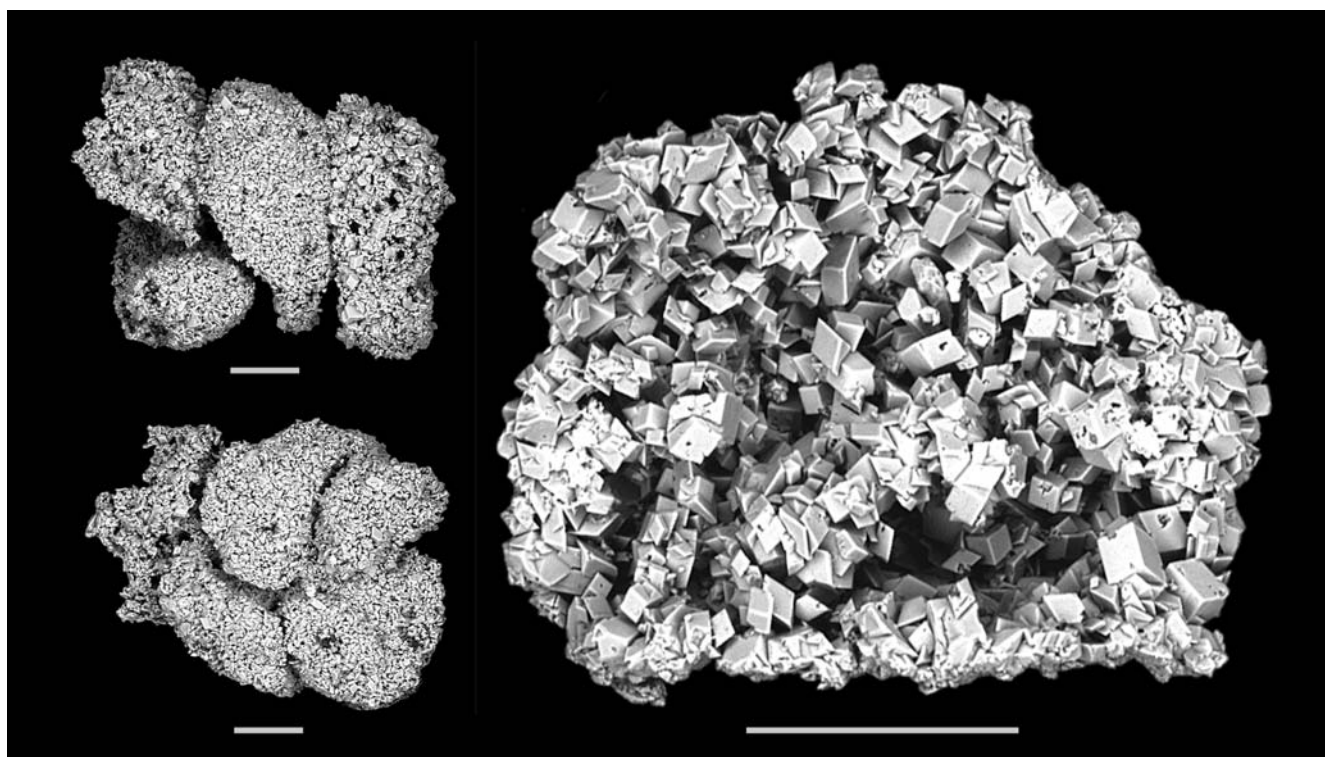


Рис. 3. Камеры раковин фораминифер отряда Palaeotextulariida, выполненные тонкокристаллическим калиевым полевым шпатом (слева), и фрагмент выполнения при большем увеличении (справа). Обр. DM-001, прослой первого пеплового уровня. РЭМ. Длина масштабной линейки 0,05 мм

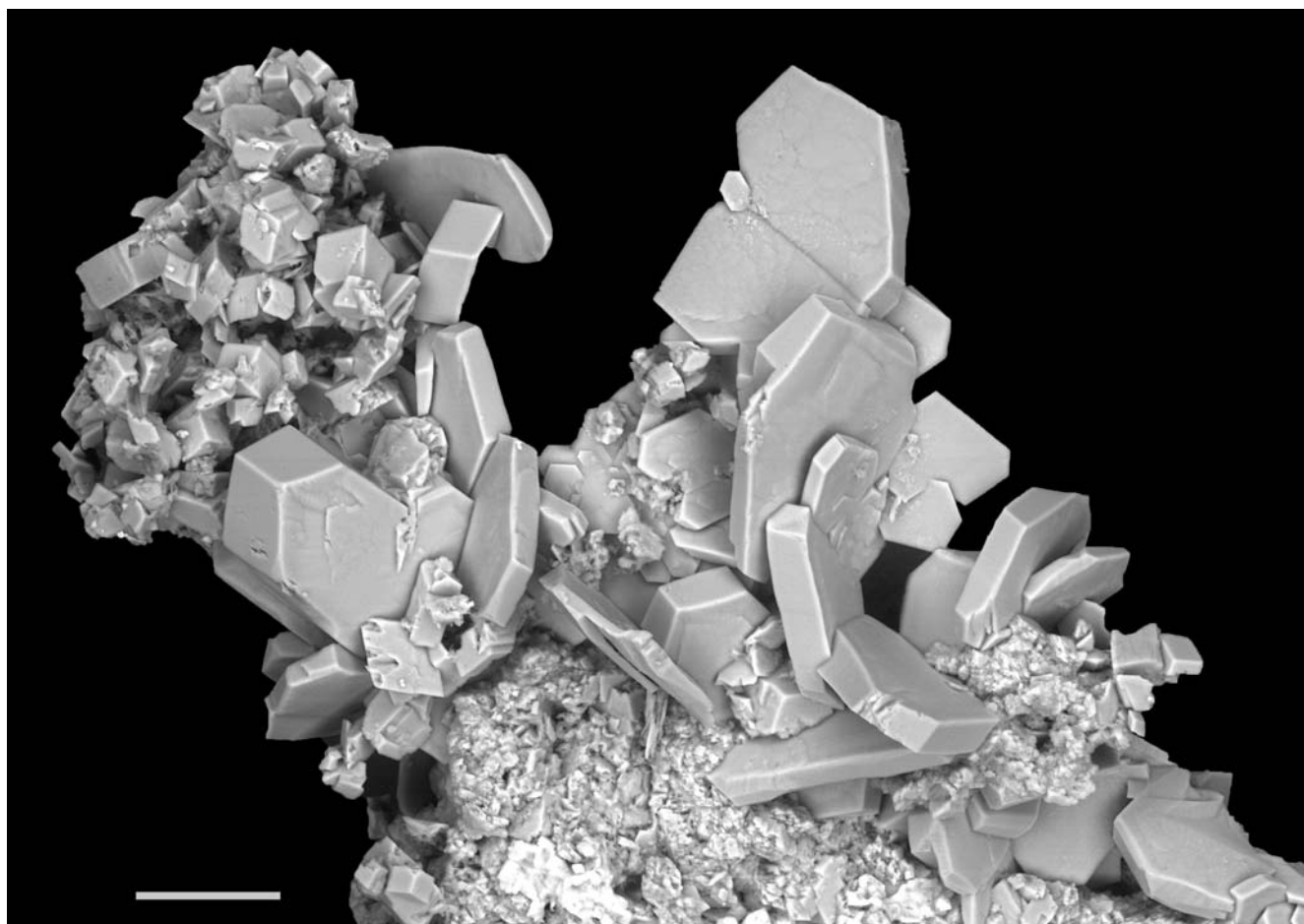


Рис. 4. Кристаллы калиевого полевого шпата, выросшие в открытой микрополости пород. Обр. DM-026, прослой первого пеплового уровня. РЭМ. Длина масштабной линейки 0,05 мм

Средний химический состав (мас. %) и результаты расчета порошковых рентгенограмм КППШ (в скобках строки Сумма – количество аналитических определений состава)

Параметры	Подольский карьер		Домодедовский карьер	
	Прослой первого пеплового уровня		Прослой второго пеплового уровня	
			нижний	верхний
K <sub>2</sub> O	16,22	16,35	16,47	16,50
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,05	0,07	0,08
BaO	0,09	0,03	0,03	0,03
SrO	0,02	0,01	0,05	0,05
CaO	0,01	0,07	0,18	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,25	18,19	18,08	18,16
SiO <sub>2</sub>	64,88	64,74	64,53	64,51
MgO	0,03	0,03	0,05	0,05
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,03	0,05	0,04
MnO	0,02	0,03	0,01	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,11	0,06	0,05
<b>Сумма</b>	<b>99,65 (37)</b>	<b>99,64 (70)</b>	<b>99,60 (10)</b>	<b>99,58 (46)</b>
a, Å	8,5908(10)	8,5881(13)	8,5881(7)	8,5902(8)
b, Å	13,0129(17)	13,003(2)	13,0036(13)	13,0088(14)
c, Å	7,1695(8)	7,1713(10)	7,1688(6)	7,1717(7)
β, Å	116,044(3)	116,038(3)	116,044(2)	116,033(2)
T(1) = 2t <sub>1</sub>	0,55	0,59	0,57	0,58
T(2) = 2t <sub>2</sub>	0,45	0,41	0,43	0,42
t <sub>1</sub> – t <sub>2</sub>	0,11	0,18	0,15	0,15

ЛИТЕРАТУРА

Боруцкий Б.Е. Калиевый санидин // Минералы: Справочник. Т. 5. Вып. I. Каркасные силикаты. Силикаты с разорванными каркасами, полевые шпаты / Ред. Н.Н. Мозгова, М.Н. Соколова. М.: Наука, 2003. С. 196–226.

Иванова Е.А., Хворова И.В. Стратиграфия среднего и верхнего карбона западной части Московской синеклизы // Тр. Палеонтол. ин-та АН СССР. Т. 53. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 282 с.

Махлина М.Х., Алексеев А.С., Горева Н.В. и др. Средний карбон Московской синеклизы (южная часть). Т. 1. Стратиграфия. М.: Палеонтол. ин-т РАН, 2001. 244 с.

Махнач А.А. Катагенез и подземные воды. Минск: Наука и техника, 1989. 335 с.

Поликарпов А.И., Поляковский В.Я., Мелкова Н.В. О значении аутигенных калиевых полевых шпатов в породах соляно-мергельной толщи Верхнекамского калийного месторождения // Зап. Всес. минерал. об-ва. 1979. Ч. 108, вып. 4. С. 471–475.

Чайковский И.И., Чиркова Е.П. Аутигенные полевые шпаты Верхнекамского месторождения солей // Проблемы

минералогии, петрографии и металлогении. Вып. 16. Пермь: Пермск. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. С. 68–74.

Яшунский Ю.В., Новиков И.А., Шкурский Б.Б. и др. Аутигенный калиевый полевой шпат из известняков верхнего карбона Московской области // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91, вып. 6. С. 49–61.

Goreva N.V., Isakova T.N., Alekseev A.S. et al. Domodedovo section. Neostatotype of Moscovian Stage and Myachkovian Substage // Type and reference Carboniferous sections in the south part of the Moscow Basin. Field trip guidebook, August 11–12, 2009 of the International Field Meeting of the I.U.G.S. Subcommittee on Carboniferous Stratigraphy “The historical type sections, proposed and potential GSSP of the Carboniferous in Russia” / Eds. A.S. Alekseev, N.V. Goreva. Moscow: Borissiak Paleontological Institute of RAS, 2009. P. 65–90.

Kastner M. Authigenic feldspars in carbonate rocks // Amer. Mineralogist. 1971. Vol. 56. P. 1403–1442.

Kastner M., Siever R. Low temperature feldspars in sedimentary rocks // Amer. J. Sci. 1979. Vol. 279. P. 435–479.

*Le Bail A.* Whole powder pattern decomposition methods and applications: A retrospection // Powder Diffraction. 2005. Vol. 20. P. 316.

*Leitner C.* Authigenic K-feldspar in salt rock (Haselgebirge Formation, Eastern Alps) // Geophys. Res. Abstracts. 2015. Vol. 17. EGU2015-7010.

*Hagen E., Kelley S.P., Dypvik H.* et al. Direct dating of authigenic K-feldspar overgrowths from the Kilombero Rift of Tanzania // J. Geol. Soc. London. 2001. Vol. 158, N 5. P. 801–807.

*Hearn J.R., Sutter J.F.* Authigenic potassium feldspar in Cambrian carbonates: evidence of Alleghanian brine migration // Science. 1985. Vol. 228, N 4707. P. 1529–1531.

*Petricek V., Dusek M., Palatinus L.* Crystallographic Computing System JANA2006: General features // Z. Kristallogr. 2014. Vol. 229, N 5. P. 345–352.

*Spoetl C., Kralik M., Kunk M.J.* Authigenic feldspar as an indicator of paleo-rock/water interactions in Permian carbonates of the northern Calcareous Alps, Austria // J. Sed. Res. A. 1996. Vol. 66, N 1. P. 139–146.

*Spoetl C., Kunk M.J., Ramseyer K., Longstaffe F.J.* Authigenic potassium feldspar: a tracer for the timing of palaeofluid flow in carbonate rocks, Northern Calcareous Alps, Austria // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1998. Vol. 144. P. 107–128.

*Stringham B.* Occurrence of feldspar replacing fossils // Amer. Mineralogist. 1940. Vol. 25, N 2. P. 139–144.

**Сведения об авторах:** *Яшунский Юрий Владимирович* – канд. геол.-минерал. наук, вед. геолог-аналитик ООО «Минерал-Инфо», *e-mail:* yuyashunsky@gmail.com; *Новиков Иван Александрович* – инж. лаб. рудных месторождений ИГЕМ РАН, *e-mail:* toiaia@rambler.ru; *Гришин Сергей Викторович* – инж. лаб. стратиграфии фанерозоя ГИН РАН, *e-mail:* grishin69@mail.ru; *Шкурский Борис Борисович* – канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. петрологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail:* shkurskybb@yandex.ru; *Альбов Дмитрий Васильевич* – канд. хим. наук, науч. сотр. каф. общей химии химического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail:* dmitryalbov@gmail.com; *Быстров Иван Георгиевич* – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. минералогического отдела ВИМС, *e-mail:* bysivg@gmail.com