

Ярозевичит $Mn^{3+}Mn^{2+}_3(AsO_4)(OH)_6$ обнаружен в единичных зернах в виде включений в тефроите, развивающемся по якобситу. Размер выделений ярозевичита не превышает 3 мкм. Диагностика минерала проведена по соотношению основных химических компонентов. Химический состав отмечен постоянной примесью железа (см. табл.).

Тилазит $CaMg(AsO_4)F$ встречается в составе браунитовых руд в ассоциации с тефроитом и фриделитом в виде включений в карбонатах (рис. б). Диагностирован по соотношению основных химических компонентов. Результаты химического анализа показывают небольшую примесь фосфора и постоянную примесь марганца (см. табл.).

Свабит $Ca_5(AsO_4)_3F$ относится к группе апатита, обнаружен в составе браунитовых и якобитовых пород, где встречается в виде мелких включений в брауните и якобите (рис. г), а также в составе родонит-спессартин-кальцитовых агрегатов, где представлен многочисленными мелкими (20–30 мкм) зернами. Химический состав характеризуется высоким содержанием фосфора и примесью марганца.

Таким образом, начатые нами в 2016 г. исследования позволяют надеяться на дальнейшие находки редких минералов в марганцевых рудах месторождения Жомарт, и тем самым приближают его к таким всемирно известным минералогическим памятникам природы как месторождения Лонгбан и Стерлинг-Хилл. Наши исследования в этом направлении будут продолжены.

Работы проведены с использованием аналитических возможностей ресурсных центров СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования», «Микроскопии и микроанализа» и «Геомодель». Исследования поддержаны РФФИ (проект № 16-05-00227). Полевой выезд финансировался РФФИ (проект № 16-17-10076).

Литература

Каюпова М. М. Минералогия железных и марганцевых руд Западного Атасу (Центральный Казахстан). Алма-Ата: Наука, 1974.

Рожнов А. А. Сравнительная характеристика марганцевых месторождений атасуйского и никопольско-чиатурского типов // Геология и геохимия марганца. М.: Наука, 1982. С. 116–121.

В. А. Токарева, В. С. Кузнецов

*Воронежский государственный университет, г. Воронеж
vikaczech@gmail.com*

Акцессорные минералы углеродистых сланцев Рыльской рифтогенной структуры КМА

На территории Воронежского кристаллического массива углеродсодержащие породы встречаются в составе докембрийских метаморфических комплексов различного возраста. Максимального развития они достигают в оскольской серии нижнего протерозоя, которая перекрывает железорудную курскую серию. Состав и строение оскольской серии характеризуются ритмичной, неоднократно повторяющейся сменой конгломератов, гравелитов и метапесчаников, переходящих к верхам разреза в карбонатно-сланцевые сланцы с горизонтами амфиболитов, метаморфизованных доломитов и известняков, широким развитием углеродсодержащих пород и вулканитов.

Отложения серии накапливались только в наиболее крупных структурах с длительным устойчивым прогибанием: Тим-Ястребовской, Белгородской, Михайловской, Вологовской, Рыльской [Чернышов и др., 1997].

В работе приводится характеристика акцессорных минералов сланцев оскольской серии Рыльской структуры, химический состав минералов определен с помощью микрорентгеноспектрального анализа. Для исследования из керна скважины 3602 была отобрана крупнообъемная проба сланцев (весом около 7 кг). Породы были издроблены на щековых дробилках до крупности менее 1 мм, а затем подвергнуты гравитационному обогащению на концентрационном вибростоле. Полученный гравитационный концентрат был очищен в чашках с использованием тяжелой жидкости (бромформ) и магнитной сепарацией. Полученные минеральные фракции изучались под биноклем.

Макроскопически углеродистые сланцы Рыльской структуры представляют собой темно-серые до черных породы. Для них характерны микрозернистая, гранобластовая, лепидобластовая, порфиробластовая структуры. Текстура пород сланцеватая, часто плейчатая. Основными породообразующими минералами сланцев являются кварц, слюды (серицит, флогопит, мусковит) и гранаты. В отдельных участках породы интенсивно обогащены углеродистым веществом (графитом) [Скулков, 1985ф].

Углеродистые сланцы характеризуются разнообразными акцессорными минералами. Отмечается значительное количество сульфидов (пирит и пирротин), содержание которых достигает 95 %. Для пирита, составляющего около 70 % тяжелой фракции, характерны идиоморфные кристаллы размером от $n \times 0.1$ мм до $n \times 10$ мкм. Содержание пирротина также значительно (20–25 %), размер зерен сопоставим с пиритом: $n \times 0.1$ мм – $n \times 10$ мкм, характерны сростки с халькопиритом. Другие сульфидные минералы редки. Сфалерит и халькопирит представлены мельчайшими кристаллами размером n – $n \times 10$ мкм. Химический состав пирита и халькопирита близок к стехиометрическому ($Fe_{0.98}S_2$ и $Cu_{0.98}Fe_{1.05}S_2$, соответственно), в сфалерите отмечается примесь Fe (8.82 мас. %) и Mn (2.9 мас. %), формула $(Zn_{0.73}Fe_{0.14}Mn_{0.05})_{0.92}S$.

Оксиды представлены магнетитом и рутилом. Содержание магнетита около 5 %, его химический состав близок к стехиометрическому. Рутил в межрудных сланцах представлен слабоокатанными зернами неправильной формы (рис. 1а) и длиннопризматическими (дигетрагональная призма) столбчатыми кристаллами и их обломками (рис. 1б) темно-вишневого или густо-красного цвета (центральные зоны кристаллов характеризуются более яркой окраской, чем краевые). Химический состав рутила близок к стехиометрическому (табл.). Рутил в виде мельчайших зерен широко распространен во многих (главным образом, в глубинных) магматических породах, а также является типичным терригенно-обломочным минералом. Образование рутила удлиненно-призматической формы происходило, вероятно, в ходе регионального метаморфизма эпидот-амфиболитовой фации пород оскольской серии [Скулков, 1985ф] при изменении других титанистых минералов [Дир и др., 1965]. Окатанная форма зерен рутила предполагает их аллотигенную природу.

Гранат также широко распространен и представлен обломками субизометрической формы с раковистым изломом. По химическому составу (табл.) выделяется две группы гранатов: пиральспиты (рис. 1в) и уграндиты (рис. 1г). Первая группа характеризуется преобладанием алмадинового минала (58–77 %) (рис. 2, №№ 1, 2, 3, 5), представлена зернами неправильной формы с розоватым оттенком. Гранаты второго

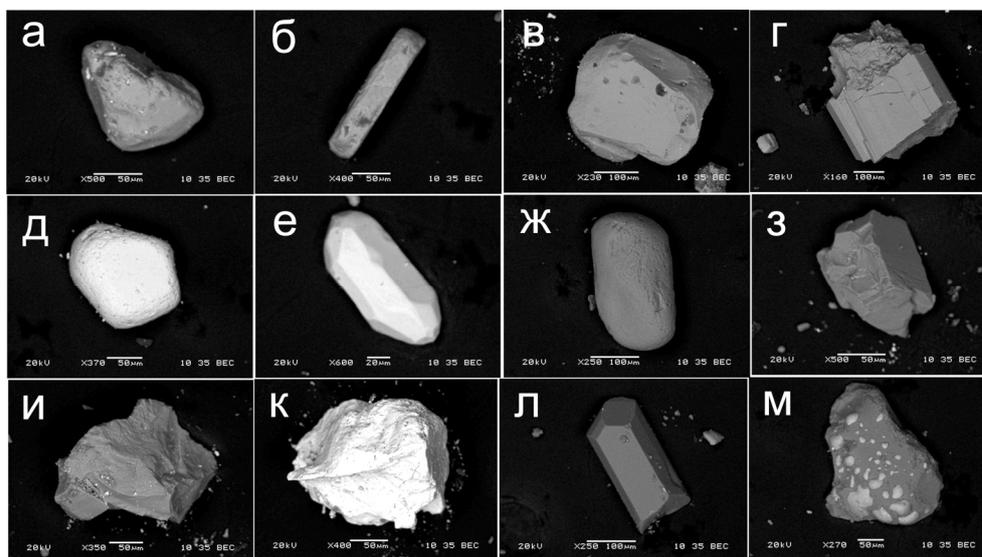


Рис. 1. Аксессуары минералы сланцев Рыльской структуры: а, б – рутил; в, г – гранат; д, е – циркон; ж, з – ставролит; и – оливин; к – барит; л, м – муассанит.

Растровый электронный микроскоп Jeol 6380 LV, ВГУ, аналитик Н. С. Базиков.

типа – это зерна желтовато-зеленого и оранжевого цвета с отдельными четкими гранями кристаллов со значимым количеством гроссуляровой составляющей (рис. 2, №№ 4, 6). В сланцах под микроскопом диагностированы порфиробласты гранатов, которые резко отличаются по химическому составу (более 90 % Sps) (рис. 2, №№ 7, 8). Это свидетельствует о том, что гранаты, выделенные из тяжелой фракции, не являются аутигенными для углеродистых сланцев, и позволяет сделать предположение об их кластогенной природе.

В породах выделяется два типа цирконов. Первый тип представлен сильно окатанными прозрачными зернами, иногда с оранжевым оттенком (рис. 1д). В прозрачных разностях отмечаются повышенные содержания Hf (см. табл.). Ко второму типу относятся менее окатанные зерна, сохранившие свою кристаллическую огранку. Представлены хорошо оформленными длиннопризматическими с дипирамидальными окончаниями прозрачными и полупрозрачными (с розоватым оттенком) кристаллами с гиацинтовой огранкой (рис. 1е), часто трещиноватыми. Интенсивно окатанные зерна цирконов могут свидетельствовать об их длительном нахождении в экзогенных условиях, в том числе в породах, претерпевших несколько циклов выветривания и седиментации. Промежуточными коллекторами могли выступать метаосадочные породы михайловской и обоянской серий КМА, подстилающие образования оскольской серии [Чернышов и др., 1997].

Среди аксессуарных минералов обнаружен ставролит двух типов. Первый представлен сильно окатанными зернами (рис. 1ж) медово-красного цвета с повышенными содержаниями железа и пониженными кремнезема (см. табл.). Зерна второго типа прозрачные со слабым оранжево-розовым оттенком, угловатой формы (рис. 1з).

Таблица

Химический состав аксессуарных минералов из углеродистых сланцев Рыльской структуры (мас. %)

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	SO ₃	BaO	ZrO ₂	HfO ₂	Сум- ма	Формула минерала**
1	38.53	0.00	0.00	29.64	0.74	30.72	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Mg _{1.23} Fe _{0.67} Mn _{0.02} Ca _{0.01}) _{1.93} [Si _{1.05} O ₄]
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	31.7	68.3	0.00	0.00	100	Ba _{0.97} [Si _{1.09} O ₄]
3	31.85	0.00	17.85	38.48	1.79	4.68	5.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Fe _{1.86} Ca _{0.46} Mg _{0.56} Mn _{0.12}) ₃ (Al _{1.27} Fe _{0.73}) ₂ [Si _{2.57} Al _{0.43} O ₁₂]
4	37.96	0.00	17.51	30.14	10.5	1.89	2	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Fe _{2.07} Mn _{0.75} Ca _{0.18}) ₃ (Al _{1.74} Si _{0.20} Fe _{0.05}) ₂ [Si ₃ O ₁₂]
5	36.73	0.00	20.23	27.53	1.46	2.85	11.2	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Fe _{1.62} Ca _{0.95} Mg _{0.34} Mn _{0.10}) _{3.01} (Al _{1.80} Fe _{0.20}) ₂ [Si _{2.91} Al _{0.09} O ₁₂]
6	39.63	0.00	22.54	25.08	1.25	8.22	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Fe _{1.61} Mg _{0.94} Ca _{0.27} Mn _{0.08}) _{2.9} (Al _{2.04} Si _{0.05}) _{2.09} [Si ₃ O ₁₂]
7	39.7	0.00	25.03	11.81	0.00	0.00	23.46	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Ca _{1.93} Fe _{1.07}) ₃ (Al _{1.95} Si _{0.05}) ₂ [Si ₃ O ₁₂]
8	29.23	0.79	54.82	13.74	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Fe _{1.59} Mg _{0.29}) _{1.88} (Al _{8.97} Ti _{0.08}) _{9.05} O ₇ OH[Si _{1.01} O ₄] ₄
9	27.27	0.00	53.22	17.49	0.84	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Fe _{2.01} Mg _{0.24} Mn _{0.09}) _{2.15} (Al _{9.19} Fe) ₉ O ₇ OH[Si _{0.96} Al _{0.04} O ₄] ₄
10	29.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.73	2.07	100	(Zr _{1.06} Hf _{0.02}) _{1.08} [Si _{0.93} O ₄]
11	30.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.73	0.00	100	Zr _{1.06} [Si _{0.94} O ₄]
12	0.51	98.71	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Ti _{0.99} Fe _{0.08} Si _{0.01}) _{1.08} O ₂
13	0.93	98.36	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	(Ti _{0.98} Fe _{0.08} Si _{0.01}) _{1.07} O ₂

Примечание. Химический состав минералов был получен с помощью энергодисперсионной приставки INCA 250 (ВГУ), аналитик Н. С. Базиков. Порядковые номера соответствуют минералам: 1 – оливин, 2 – барит, 3–7 – гранат, 8, 9 – ставролит, 10, 11 – циркон, 12, 13 – рутил. **Формулы рассчитаны на 2 (рутил), 4 (оливин, барит, циркон), 12 (кислород), 24 (ставролит) атомов кислорода.

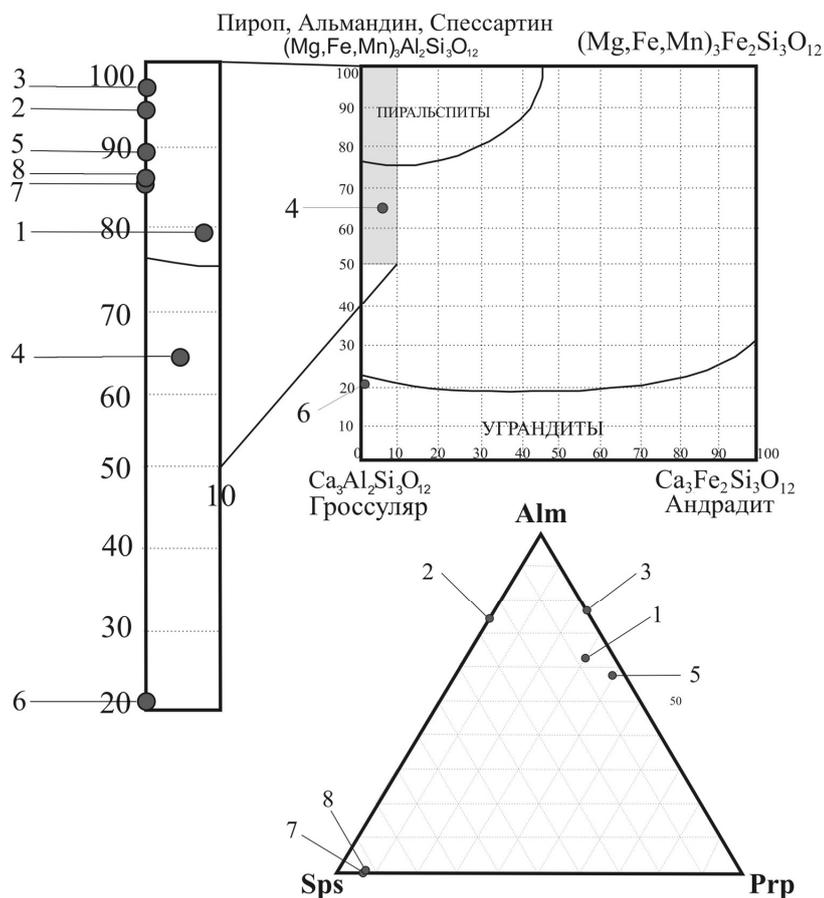


Рис. 2. Положение состава граната из углеродистых сланцев на диаграмме пиральспиты-гроссулярь-андрадит [Винчелл, Винчелл, 1953].

Химический состав минералов пересчитан на миналы с помощью термобарогеохимической программы PetroExplorer 2.0.

Микронзондовыми исследованиями диагностирован оливин, представленный осколком кристалла (рис. 1и). По химическому составу (см. табл.) соответствует гиалосидериту (Fo 65 %). Оливины состава Fo80–Fo50 чаще всего встречаются в магматических породах основного состава, в то время как в некарбонатных метаморфических породах образуется фаялит [Дир и др., 1965]. Исходя из магнезиального состава оливина углеродистых сланцев, можно предположить его аллотигенное происхождение. Вероятным источником оливина могли являться магматические породы ультрабазит-базитового состава, широко развитые в нижележащей михайловской серии КМА. Хорошая сохранность оливина, обычно неустойчивого в гипергенных условиях, свидетельствует о близости коренных источников сноса к областям седиментации.

Встречаются единичные зерна барита (рис. 1к). Его нахождение в сланцах Рыльской структуры связано, вероятнее всего, с наложенной сульфидной минерализацией.

Также в тяжелой фракции диагностированы десятки полупрозрачных кристаллов зелено-голубоватого оттенка (рис. 1 л, м). Микронзондовый анализ показал наличие в его составе только кремния. Учитывая аналитические возможности энергодисперсионной приставки, можно предположить также присутствие в его химическом составе углерода либо более легких элементов. Исходя из морфологии и окраски кристаллов, предполагается, что минерал является природным карбидом кремния – муассанитом, однако окончательное установление его природы требует проведения дополнительных исследований.

В результате исследований установлено значительное разнообразие акцессорных минералов в углеродистых сланцах Рыльской структуры. Впервые выполнены микрорентгеноспектральные анализы химического состава минеральных фаз. В породах диагностированы циркон, аллотигенные оливин, гранаты, рутил, ставролит, а также барит и муассанит (?), генезис которых требует проведения дополнительных исследований. Столь широкий спектр акцессорных минералов, особенно аллотигенных, характерных для пород как кислого, так и основного-ультраосновного состава, свидетельствует о полигенной природе исходного субстрата сланцев. Данный факт может свидетельствовать о наличии в областях размыва пород различного петрографического состава. Таким образом, полученные результаты дают ценный материал для изучения генезиса предшествующих осадков сланцев Рыльской структуры.

Литература

- Винчелл А. Н., Винчелл Г.* Оптическая минералогия. М.: Иностранная литература, 1953. 561 с.
- Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. М.: МИР, 1965. 371 с.
- Чернышов Н. М., Ненахов В. М., Лебедев И. П., Стрик Ю. Н.* Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии // Геотектоника. 1997. № 3. С. 21–30.
- Скулков Н. А.* Геологическое строение и полезные ископаемые Стрекаловского участка (северо-запад КМА). 1985. Фонды курского филиала ФБУ «ТФГИ по Центральному федеральному округу».

А. Н. Юричев
*Национальный исследовательский
Томский государственный университет, г. Томск
juratur@sibmail.com*

Сульфиды из хромититов Кемпирсайского ультрамафитового массива (Южный Урал)

Ультрамафитовые реститовые массивы дунит-гарцбургитового состава являются составной частью мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей. В последние несколько десятилетий они привлекают все большее внимание исследователей как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности – своей промышленной хромитоносностью, асбестоносностью, никеленосностью