

## Кварц-кианит-мусковитовый магматический слюдит Борисовских сопок на Южном Урале

В. А. Попов, С. В. Колисниченко, И. А. Блинов

Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс  
*popov@mineralogy.ru*

Статья посвящена моделированию онтогенеза минерального агрегата горной породы, имеющей генезис дискуссионного характера. На Южном Урале в блоке кианитсодержащих рассланцованных пород Борисовских сопок встречаются линзы или штоки слабдеформированных пород, структура которых соответствует структурам магматических пород. Между всеми минералами – мусковитом, кианитом, кварцем, рутилом, пиритом, монацитом, ксенотимом и цирконом – наблюдаются индукционные поверхности совместного одновременного роста. Это парагенезис (эвтектика). Интересным фактом является то, что крупные индивиды кварца насыщены мелкими включениями мусковита, а синхронный с ними кианит свободен от включений мусковита, что объясняется отталкиванием в процессе кристаллизации в расплаве-растворе минералов с одинаково заряженной поверхностью. В минеральном агрегате изученной горной породы отсутствуют морфологические признаки метасоматоза (метакристаллы, псевдоморфозы, тени предшествующих твёрдых тел) и перекристаллизации. Это указывает на то, что рассмотренная кварц-кианит-мусковитовая порода имеет магматический генезис.

**Ключевые слова:** *слюдит, магматическая порода, кварц, кианит, мусковит, индукционные поверхности, Южный Урал*

## Quartz-kyanite-muscovite magmatic mica in Borisovian dikes in the Southern Urals

V. A. Popov, S. V. Kolisnichenko, I. A. Blinov

South Ural Federal Scientific for mineralogy and geoecology UB RAS, Miass

The article describes the simulation of ontogenesis of rock mineral aggregate with debatable genesis. Lenses or stokes of weakly deformed rocks are found in the South Urals in the block of kyanite-bearing stratified rocks of the Borisovskiye Sopki, the structure of which corresponds to the structures of igneous rocks. Induced surfaces of joint simultaneous growth are observed in all minerals – muscovite, kyanite, quartz, rutile, pyrite, monazite, xenotime and zircon. This is a paragenesis (eutectics). An interesting fact is that large quartz individuals are saturated with muscovite inclusions, while kyanite, synchronous with them, is free from muscovite inclusions, which is explained by repulsion in the melt-solution of minerals with equally charged surface. The mineral aggregate of the studied rocks lacks morphological signs of metasomatism (metacrystals, pseudomorphs, shadows of previous solid bodies) and recrystallization. This indicates magmatic genesis of the studied quartz-kyanite-muscovite rocks.

**Keywords:** *mica, igneous rock, quartz, kyanite, muscovite, induction surfaces, Southern Urals*

### Введение

Кианитсодержащие горные породы Борисовских (Соколиных) сопок на Южном Урале освещены во многих публикациях, а также в последнем по времени обзоре (Коротеев и др., 2011). Традиционно происхождение кианитсодержащих горных пород в этом обзоре рассмотрено как метаморфическое и гидротермально-метасоматическое. Иногда встречаются указания на нахождение кианита в кварцевых жилах как тел захвата (Колисниченко, Попов, 2008).

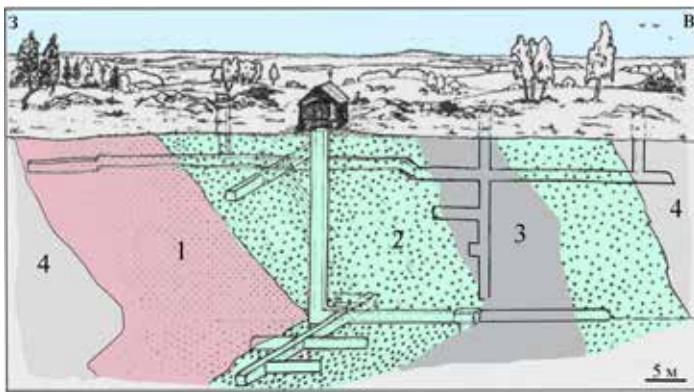
Кианит в сланцах собственно Борисовского месторождения разнообразен по величине, форме, цвету, парагенезисам (Колисниченко, Попов, 2008). Основные сведения о минералогии кианитовых руд и геологии месторождения получены при разведке и частичной обработке его в 30-х годах прошлого столетия

(Игумнов, Кожевников, 1935). Установлено, что линзообразные тела кианитсодержащих пород рассланцованы в разной мере, и в их составе могут преобладать мусковит (серицит) либо кварц, акцессорными являются рутил, пирит и турмалин. Некоторые из тел имеют слабое рассланцевание и форму линз или штоков, рвущих другие тела (рис. 1). Предположительно из таких тел в нашей коллекции выделены образцы с минимальной пластической деформацией (рис. 2), для которых нами предпринята попытка смоделировать онтогенез горной породы.

Исследования выполнены на образцах из коллекции С. В. Колисниченко, собранной в 90-х годах прошлого века. Задача данной статьи – показать один из примеров онтогенетического анализа минерального агрегата для моделирования генезиса горной породы, имеющего дискуссионный характер.

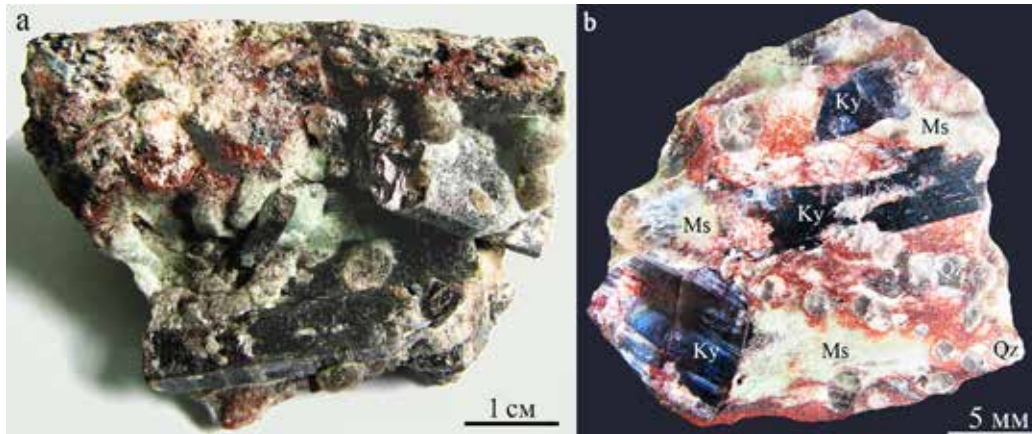
**Для цитирования:** Попов В. А., Колисниченко С. В., Блинов И. А. Кварц-кианит-мусковитовый магматический слюдит Борисовских сопок на Южном Урале // Вестник геонаук. 2024. 5 (353). С. 36–39. DOI: 10.19110/geov.2024.5.4

**For citation:** Popov V. A., Kolisnichenko S. V., Blinov I. A. Quartz-kyanite-muscovite magmatic mica in Borisovian dikes in the Southern Urals. Vestnik of Geosciences, 2024, 5 (353), pp. 36–39, doi: 10.19110/geov.2024.5.4



**Рис. 1.** Схематический широтный геологический разрез в районе разведочного участка на Борисовских (Соколиных) сопках: 1 — гранит, 2 — мусковитовый сланец с кианитом, 3 — кварц-кианит-мусковитовая порода с лимонитом, 4 — мусковит-кварцевый сланец. По данным А. Н. Игумнова и К. Е. Кожевникова (1935), с небольшими изменениями

**Fig. 1.** Schematic latitudinal geologic section in the area of the exploration site on the Borisovskiye (Sokoliniye) hills: 1 — granite, 2 — muscovite shale with kyanite, 3 — quartz-kyanite-muscovite rock with limonite, 4 — muscovite-quartz shale. According to A. N. Igumnov and K. E. Kozhevnikov (1935) with minor changes



**Рис. 2.** Структура кварц-кианит-мусковитовой породы: а — естественная поверхность; б — полированный препарат. Ms — мусковит, Qz — кварц, Ky — кианит (Борисовские сопки). Образец С. В. Колисниченко; фото В. А. Попова

**Fig. 2.** The structure of quartz-kyanite-muscovite rock: a — natural surface; b — polished preparation. Ms — muscovite, Qz — quartz, Ky — kyanite (Borisov hills). Sample by S. V. Kolisnichenko; photo by V. A. Popov

### Методы исследований

Применялась обычная геолого-минералогическая методика исследований с элементами онтогении минералов: визуальные наблюдения текстуры агрегата; под микроскопом — структурно-морфологические особенности минералов, относительный возраст, предварительная диагностика; на микрозонде — дополнительная диагностика и химические особенности минеральных индивидов. Для установления генетического типа поверхностей между кристаллами использовалось препарирование минеральных сростков. Химический состав минералов изучался в полированных препаратах на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega 3 (аналитик И. А. Блинов).

### Результаты и обсуждение

Текстура агрегата исследованных образцов может быть названа однородной (массивной), структура — разнотельной, порфирированной (рис. 3); по форме кристаллов минералов — столбчато-таблитчато-изометрично-зернистой. Породообразующие минералы — кварц, кианит и мусковит; аксессуарные — рутил, пирит, турмалин, монацит, циркон, ксенотим. Преобладающей ориентировки у минералов в агрегате не обнаружено.

**Кианит**  $Al_2SiO_4$ . Минерал образовал крупные (до 4 см) столбчато-таблитчатые кристаллы неоднородного синего цвета с мелкими включениями рути-

ла (0.05—1 мм) и пирита (0.01—0.3 мм). Неоднородность синего цвета обусловлена неконтрастной зональностью и секториальностью кристаллов и небольшими вариациями состава (по Fe и Cr), что видно в эмпирических формулах кианита (расчёт на 3 катиона) по точкам в одном кристалле (рис. 4): **o** —  $Al_{1.98}Fe_{0.01}Cr_{0.005}(SiO_4)O$ ; **p** —  $Al_{1.99}Fe_{0.01}(SiO_4)O$ ; **q** —  $Al_{1.98}Fe_{0.02}(SiO_4)O$ . Со всеми контактирующими минералами кианит имеет индукционные поверхности одновременного роста. Кристаллы рутила и пирита распространены равномерно внутри и вне кристаллов кианита, тогда как кристаллы мусковита есть только снаружи индивидов кианита, но имеют с ним индукционные поверхности (с периферическими зонами роста). Кианит занимает около 20 % объёма образца (рис. 2).

**Кварц**  $SiO_2$ . Представлен округлыми зёрнами дымчатого (светло-серого) цвета, величиной 1—3 мм, равномерно насыщенными мелкими частицами мусковита, рутила и пирита. Некоторые зёрна кварца частично или полностью включены в более крупные индивиды кианита. Со всеми контактирующими минералами у кварца наблюдаются индукционные поверхности одновременного роста (рис. 5). Кварц составляет 5—7 % объёма образца.

**Мусковит**  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ . Преобладающая (65—75 % объёма) ткань горной породы сложена мелкозернистым (менее 1 мм) желтовато-зеленоватым таблитчатым мусковитом. Индивиды мусковита по химическому составу сравнительно однородны, что заметно и в эмпирических формулах (расчёт на 7 кати-

онов) по данным микрозондовых анализов в разных точках препарата (рис. 5, а, точки **b–d**):

**b** —  $K_{0.70}Na_{0.19}Fe_{0.11}Mg_{0.07}Ti_{0.04}Al_{1.90}(Si_{3.08}Al_{0.92})O_{10}(OH)_2$ ;

**c** —  $K_{0.70}Na_{0.20}Fe_{0.11}Mg_{0.06}Ti_{0.04}Al_{1.88}(Si_{3.05}Al_{0.95})O_{10}(OH)_2$ ;

**d** —  $K_{0.66}Na_{0.22}Fe_{0.11}Mg_{0.07}Ti_{0.04}Al_{1.90}(Si_{3.05}Al_{0.95})O_{10}(OH)_2$ ;

**j** —  $K_{0.62}Na_{0.24}Fe_{0.13}Mg_{0.05}Ti_{0.03}Al_{1.88}(Si_{3.05}Al_{0.95})O_{10}(OH)_2$ .

Индивиды мусковита имеют только индукционные поверхности одновременного роста со всеми минералами горной породы. Если кварцевые зёрна насыщены включениями мусковита, то в кианите включений мусковита нет, и индукционные поверхности есть только по периферии зёрен кианита (рис. 5). Одновременный с кианитом мусковит мог отталкиваться кристаллами кианита до тех пор, пока в жидкости (расплаве-растворе) было свободное от фиксированных твёрдых тел пространство. По-видимому, поверхности зёрен кианита и мусковита несут одинаковый заряд (отталкиваются), а мусковит и кварц — разнозарядные (притягиваются).

**Рутил**  $TiO_2$ . Мелкими (0.03–3 мм) зёрнами красного рутила насыщена вся исследуемая порода (рис. 3–5). Облик зёрен — короткостолбчатый. Поверхность зёрен — индукционная, что говорит о синхронной кристаллизации со всеми контактирующими минералами. В составе минерала есть Fe и V: **a** —  $Ti_{0.99}V_{0.01}Fe_{0.005}O_2$ , **f** —  $Ti_{0.98}Fe_{0.01}V_{0.01}O_2$ .

Рутила в породе около 0.3 % по объёму.

**Пирит**  $FeS_2$ . Как и рутил, пирит насыщает мелкими (0.01–0.3 мм) кристалликами всю породу (рис. 4, 5), его существенно меньше по объёму (0.05 %). Индивиды имеют индукционные поверхности, лишь местами видны фрагменты граней куба. В составе пирита примесных компонентов не выявлено (ниже чувствительности использованного микрозонда).

**Монацит-(Ce)**  $CePO_4$ . Минерал наблюдался только в виде микроворстков (5–30 мкм) в разных породообразующих минералах (рис. 6). Химический состав монацита несколько варьирует, но картины неоднородности не видно:

**i** —  $Ce_{0.40}La_{0.20}Nd_{0.16}Ca_{0.08}Th_{0.05}Pr_{0.04}Gd_{0.04}Sm_{0.02}Dy_{0.01}(P_{0.97}S_{0.03}O_4)$ ;

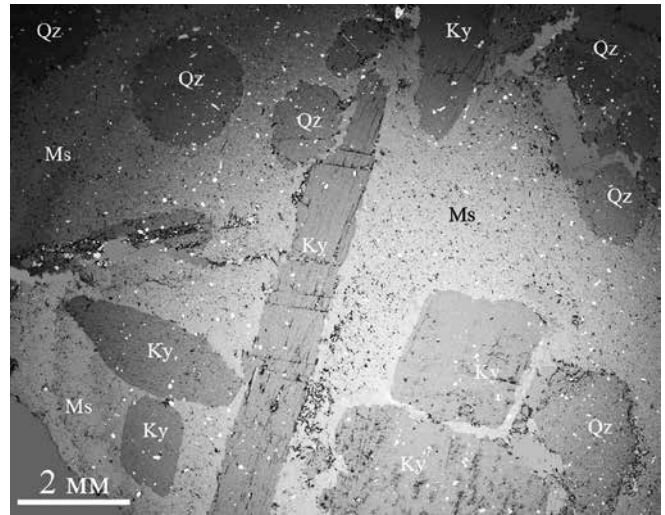
**m** —  $Ce_{0.43}La_{0.21}Nd_{0.16}Pr_{0.05}Ca_{0.04}Sm_{0.03}Th_{0.03}Dy_{0.01}(P_{0.98}S_{0.02}O_4)$ ;

**n** —  $Ce_{0.42}La_{0.22}Nd_{0.15}Pr_{0.04}Ca_{0.05}Sm_{0.03}Th_{0.02}(P_{0.98}S_{0.02}O_4)$ .

**Ксенотим**  $YPO_4$ . Ксенотим встречается редко в заметных выделениях при больших увеличениях и имеет состав: **l** —  $Y_{0.75}Dy_{0.09}Gd_{0.08}Er_{0.03}Tb_{0.02}Sm_{0.01}Eu_{0.01}Ho_{0.01}(PO_4)$ .

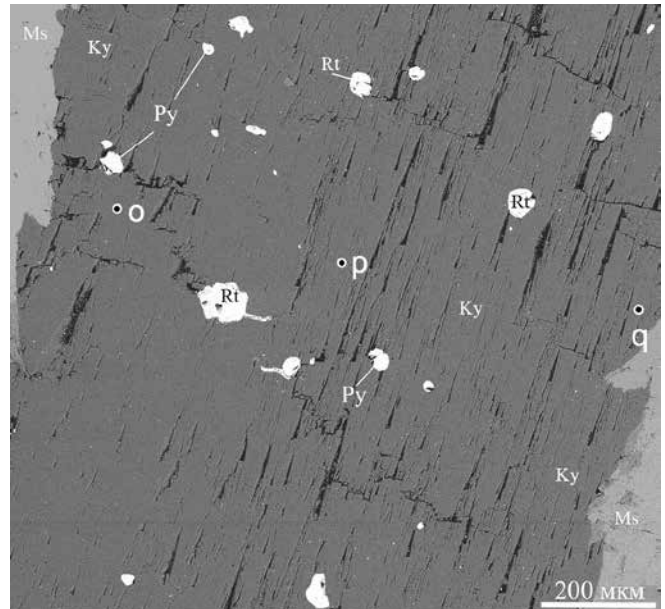
**Циркон**  $ZrSiO_4$  образовал очень мелкие зёрна (первые микрометры) и наблюдается по всей породе. Примесных компонентов в цирконе не выявлено.

По тонким трещинкам в породе есть экзогенный **лимонит**, местами придающий породе жёлто-крас-



**Рис. 3.** Неравнозернистая структура кварц-кианит-мусковитовой породы. Ms — мусковит, Qz — кварц, Ky — кианит. BSE-фото

**Fig. 3.** Inequigranular structure of quartz-kyanite-muscovite rock. Ms — muscovite, Qz — quartz, Ky — kyanite BSE-photo



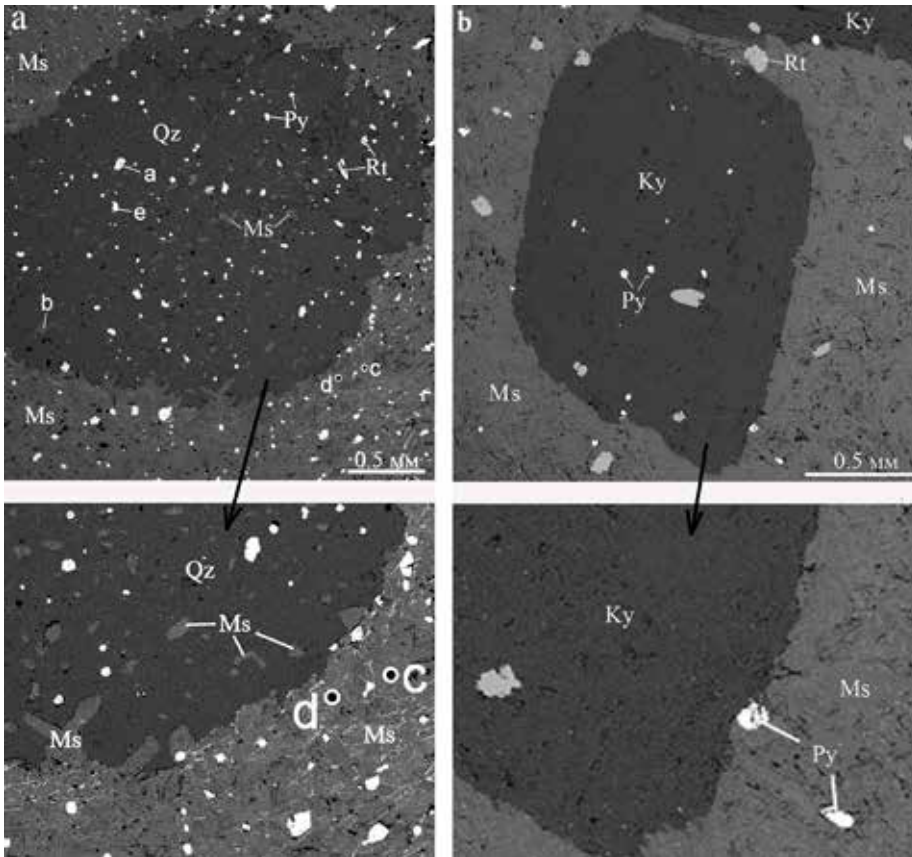
**Рис. 4.** Зерно кианита с включениями рутила и пирита. По периферии у кианита видны индукционные границы с мусковитом. Ms — мусковит, Rt — рутил, Ky — кианит, Py — пирит. BSE-фото

**Fig. 4.** Kyanite grain with inclusions of rutile and pyrite. The kyanite shows induction boundaries with muscovite at the periphery. Ms — Muscovite, Rt — rutile, Ky — kyanite, Py — pyrite. BSE-photo

ный цвет и частично затумёвывающий истинную массивную текстуру минерального агрегата.

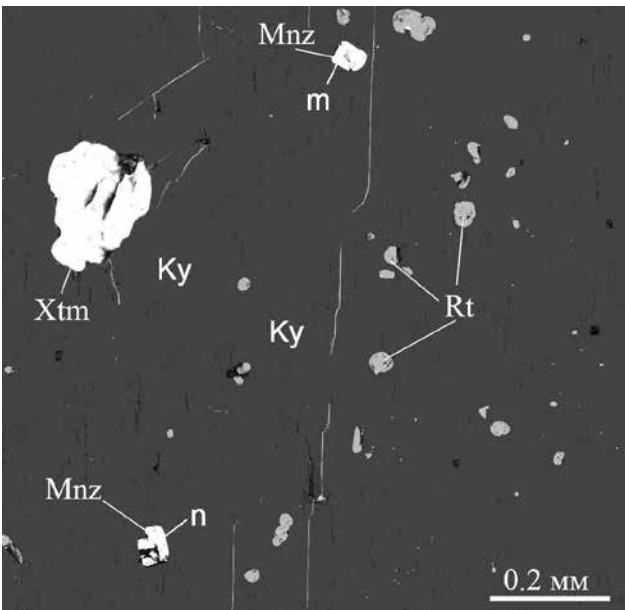
### Заключение

Структура, текстура и геологическое положение изученной горной породы в виде штока или линзы среди рассланцованных пород позволяют предположить её магматическое происхождение. К этому же склоняют нас отсутствие метакристаллов, псевдоморфоз и «теней» предшествующих горных пород. Наличие индукционных поверхностей одновременного роста



**Рис. 5.** Распределение мусковита (Ms) в слюдите: а — насыщенность в зёрнах кварца (Qz); б — отсутствие мусковита в индивидах кианита (Ky). Иллюстрация явления кристаллизации разнозаряженных минералов из жидкой среды. BSE-фото

**Fig. 5.** Distribution of muscovite (Ms) in mica: a — saturation in quartz grains (Qz); b — absence of muscovite in kyanite individuals (Ky). Illustration of the phenomenon of crystallization of differently charged minerals from a liquid medium. BSE-photo



**Рис. 6.** Синхронные включения рутила (Rt), монацита (Mnz) и ксенотима (Xtm) в кианите (Ky). BSE-фото  
**Fig. 6.** Synchronous inclusions of rutile (Rt), monazite (Mnz) and xenotime (Xtm) in kyanite (Ky). BSE-photo

между индивидами всех восьми минералов указывает на их парагенетические взаимоотношения. Такие агрегаты по структуре относятся к эвтектическим при кристаллизации расплавов-растворов. По минеральному составу изученную горную породу можно отнести к классу слюдитов (глиммеритов). В данном случае — кварц-кианит-мусковитовый слюдит. По-видимому, в природе чаще встречаются метасомати-

ческие слюдиты (биотитовые, флогопитовые, мусковитовые и др.), но здесь морфологических признаков метасоматоза нет. Среди деталей формирования структуры горной породы интересен факт отсутствия включений мусковита в индивидах кианита, тогда как в синхронном с кианитом кварце наблюдается множество синхронных зёрен мусковита. Этот факт интерпретирован нами как «отталкивание» кианитом зёрен мусковита при кристаллизации в расплаве-растворе и одинаковости (плюс или минус) заряда на поверхности росших минералов. В процессах метасоматоза отталкивания зёрен минералов не происходит.

### Литература / References

- Игумнов А. Н., Кожевников К. Е. Уральские месторождения дистена (кианита). М.-Л.: ОНТИ, 1935. 184 с.  
Igumnov A. N., Kozhevnikov K. E. Ural deposits of distene (kyanite). M.-L. ONTI, 1935. 184 p.
- Колисниченко С. В., Попов В. А. «Русская Бразилия» на Южном Урале. Челябинск: Санарка, 2008. 528 с.  
Kolishnichenko S. V., Popov V. A. "Russian Brazil" in the Southern Urals. Chelyabinsk: Sanarka, 2008. 528 p.
- Коротеев В. А., Огородников В. Н., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В., Поленов Ю. А., Сазонов В. Н., Савичев А. Н., Коротеев Д. В. Небокситовое алюминиевое сырьё России / Институт геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 228 с.  
Koroteev V. A., Ogorodnikov V. N., Voitekhovskiy Y. L., Shchiptsov V. V., Polenov Y. A., Sazonov V. N., Savichev A. N., Koroteev D. V. Non-bauxite aluminum raw materials of Russia. Institute of Geology and Geochemistry UB RAS. Yekaterinburg: UB RAS, 2011. 228 p.