



МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ КИАНИТА – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ

В. Н. Огородников, В. А. Коротеев, Ю. А. Поленов, А. Н. Савичев, В. В. Бабенко

Важная область использования высокоглиноземистого сырья – производство высокоогнеупорных материалов. Широкий интерес к высокоглиноземистым огнеупорным материалам объясняется их высокими техническими свойствами, наиболее важным из которых является температура сохранения строительной прочности, значительно более высокая, чем у шамота и обычных магнезитовых изделий. Алумосиликатные минералы состава Al_2SiO_5 – эффективный вид огнеупорного сырья. Они объединены в группу кианита – кианит (дистен), андалузит, силлиманит – и относятся к метаморфогенно-метасоматическому генетическому типу. Метаморфогенно-метасоматический механизм образования кианитовых месторождений в пелитовых осадках или корях выветривания создает относительно стратифицированные залежи с крупными запасами, максимальные сконцентрированы на Кольском п-ове (свита Кейв), в Сибири и на Урале. Это глиноземистая (кианитовая) формация щитов и древних платформ (метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический кейвский тип). Наложение гидротермально-метасоматических процессов в шовных зонах на метаморфические породы, создает условия для перекристаллизации ранее образованных метаморфогенных минералов и формирует метасоматические колонки с развитием в центральных зонах кварцитов или кварцевожильных образований с оторочками высокоглиноземистых минералов – глиноземистую формацию складчатых поясов (гидротермально-метасоматический, уральский тип).

Ключевые слова: кианит, шамот, высокоглиноземистые огнеупоры, Андрее-Юльевская россыпь кианита.

MORPHOGENETICAL CYANITE TYPES AS PROMISING RAW MINERALS FOR PRODUCTION OF HIGH-ALUMINOUS REFRACTORIES

V. N. Ogorodnikov, V. A. Koroteev, Yu. A. Polenov, A. N. Savichev, V. V. Babenko

The important scope of high-aluminous raw materials use is the production of high-refractories. The wide interest to high-aluminous refractory materials is caused by their high technical properties. The most essential is the significantly higher temperature of construction strength retention in comparison with fire clay and ordinary magnesite products. Aluminosilicate minerals with Al_2SiO_5 composition are effective type of refractory stuff. Such minerals are combined into the group of cyanite (cyanite [disthen], andalusite, sillimanite) and refers to the metamorphogene-metasomatic genetic type. Metamorphogene-metasomatic mechanism of cyanite deposits formation in pelitic sediments or in weathering crusts creates relatively stratified beds with large reserves, at most they are concentrated on the Kola Peninsula (Cave Formation), Siberia and in the Urals. It is represented by aluminous (cyanite) formation of shields and ancient platforms (metamorphogene, metamorphogene-metasomatic Cave type). Superposition of hydrothermal-metasomatic processes in suture zones on metamorphic rocks creates conditions for recrystallization of early formed metamorphogene minerals and forms metasomatic columns with a development of quartzites or quartz-vein formations in central zones with gorges of high-aluminous minerals, i.e. an aluminous formation of folded belts (hydrothermal-metasomatic, Ural type).

Keywords: cyanite, fire clay, high-alumina refractories, Andree-Yuljevskaya cyanite placer.

Глиноземистое сырье может быть представлено большим количеством минералов и пород (бокситы, корунд, пирофиллит, каолинит, гиббсит, диаспор, полиморфные соединения Al_2SiO_5 – силлиманит, андалузит, кианит и др.). Важная область использования высокоглиноземистого сырья – это производство высокоогнеупорных материалов, искусственных и естественных абразивов, химических и красящих веществ [7].

Согласно классификации огнеупорных изделий (ГОСТ 4385-48) высокоглиноземистыми огнеупорными материалами называются изделия, изготовленные из минералов или искусственных материалов с высоким содержанием глинозема (бокситов, диаспора, минералов группы дистена, технического глинозема, корунда). Содержание Al_2O_3 в этих изделиях 45–100 %. Широкий интерес

к высокоглиноземистым огнеупорным материалам объясняется их высокими техническими свойствами, наиболее важным из которых является температура сохранения строительной прочности, значительно более высокая, чем у шамота и обычных магнезитовых изделий. Их характеризуют также высокая огнеупорность (1750–2000 °С), хорошая термостойкость и постоянство объема при высоких температурах (1500–1600 °С). Формованные и неформованные огнеупоры широко применяются при кладке воздухонагревателей, доменных и мартеновских печей, стен бассейна стекловаренных печей и других элементов промышленных печей, где требуется применение огнеупоров высокого качества. Однако в настоящее время российские потребители применяют дорогостоящие огнеупоры отечественного производства с ис-



пользованием электрокорунда, карбида кремния и циркона [7, 9].

Алюмосиликатные минералы состава Al_2SiO_5 – эффективный вид огнеупорного сырья. Они объединены в группу кианита (кианит (дистен), андалузит, силлиманит) и относятся к метаморфогенно-метасоматическому генетическому типу. Различия в величинах энтропии и свободной энергии трех полиморфных модификаций минералов группы кианита очень невелики. В атмосферных условиях при нагревании до высоких температур в группе кианита происходит перестройка кристаллической решетки с образованием одного и того же минерала – муллита и кремнеземистого стекла. Объемные изменения при нагревании минералов группы кианита различны, что и определяет выбор этих материалов для различных видов огнеупоров. Например, для кианита с целью снижения его объемного расширения в набивных массах необходим предварительный обжиг, а для андалузита это нежелательно. Кианит превращается в муллит при $1350\text{ }^\circ\text{C}$ с увеличением объема на 18 %, объем андалузита при $1380\text{ }^\circ\text{C}$ увеличивается на 8 %, а силлиманита при $1550\text{ }^\circ\text{C}$ – на 7 %. Наиболее плотная упаковка атомов наблюдается в кристаллической решетке кианита, значительно меньшая – силлиманита, наименее плотная – андалузита. В своей группе кианит наименее стабильный, самый мягкий и наиболее анизотропный. Муллит обладает высокими огнеупорностью и температурой деформации под нагрузкой, устойчив к тепловым ударам благодаря низкому температурному коэффициенту линейного расширения, устойчив к химическому и абразивному воздействию [9].

Для докембрия характерны маломощная и мобильная кора Земли, высокая интенсивность вулканизма, специфические условия седиментационных процессов, а также повышенный поток тепловой энергии, приведший к интенсивному развитию метаморфизма и ультраметаморфизма пород.

Процессам регионального метаморфизма и сопутствующего ему определенного типа магматизма как рудогенерирующего фактора придается все большее значение в формировании месторождений, залегающих в глубокометаморфизованных комплексах докембрия. Установление природы происхождения метаморфогенных руд заключается в установлении генетических связей с тем или иным типом регионального метаморфизма, сопутствующего магматизма и сопровождающих их гидротермально-метасоматических преобразований [3, 7, 9, 12]. Выявлены причины локализации руд в определенных частях кристаллических толщ, установлены зависимости состава и масштабов рудогенеза, показана роль шовных зон, которые в докембрии и на начальной стадии образования палеоокеана представляют

собой зоны рифтинга (растяжения). Во время коллизионных преобразований шовные зоны представляли собой зоны сжатия (дислокационного метаморфизма) [7, 11].

Среди прометаморфических формаций докембрия развит достаточно широкий спектр месторождений полезных ископаемых (глиноземистые, марганцевые, железорудные, золото-урановые и др.). Подавляющее большинство месторождений глиноземистого сырья, связанных с глиноземистыми сланцами осадочного генезиса, независимо от их возраста (архей или протерозой) залегают в породах, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации. Масштабы их зависят от формационной принадлежности [7, 9].

Можно наметить две группы продуктивных метаморфогенно-метасоматических пород, обогащенных высокоглиноземистыми минералами:

1) стратифицированные горизонты в толще плагиогнейсов раннего архея и протерозоя, широко распространенные в Карелии и на Кольском п-ове (свита Кейв) – **глиноземистая (кианитовая) формация щитов и древних платформ (метаморфогенный, кейвский тип)**;

2) нестратифицированные метасоматические породы, слагающие внутренние и внешние шовные зоны гнейсовых блоков, полифациальных метаморфических комплексов андалузит-силлиманитового и кианит-силлиманитового термодинамических типов, образующихся по разновозрастным (обычно пелитовым) породам, широко проявленная на Урале – **глиноземистая формация складчатых поясов (гидротермально-метасоматический уральский тип)** [7–10].

Древнее основание (фундамент) метаморфических комплексов (Салдинский, Мурзинско-Адуйский, Верх-Исетский, Сысертско-Ильменогорский, Уфалейский, Джабык-Карагайский, Адамовский и др.) представлено высокометаморфизованными архейскими и протерозойскими отложениями. Они сложены двуслюдяными, биотитовыми, пироксен-амфиболовыми, биотит-гранат-кианитовыми, биотит-кианитовыми и биотит-гранат-силлиманитовыми плагиогнейсами с реликтами двупироксеновых, клинопироксен-гранатовых кристаллосланцев и гиперстен-магнетитовых кварцитов, амфиболитами. Центральные зоны метаморфических комплексов претерпели гранитизацию и ультраметаморфизм. В обрамлении древних гнейсовых блоков в зонах дислокационного метаморфизма, сопровождающего развитие шовных зон смятия, наблюдаются высокоградиентный метаморфизм, магматизм и весьма контрастный метасоматоз, которые сочетаются с разновозрастными и разнотипными структурными элементами, причем более ранние переработаны в результате поздних движений.

В геологическом плане для дислокационного метаморфизма характерна связь с зонами разломов, в петрологическом – совмещение раз-



новозрастных и разнотипных минеральных ассоциаций, большое, но еще слабо изученное влияние одностороннего сжатия (стресса) и, наконец, сочетание с метасоматозом и рудоотложением. В одних случаях деформация горных пород в зонах разломов происходит изохимически, в других сопровождается явным выносом и привносом петрогенных элементов [11]. Процессы дислокационного метаморфизма играют важную роль в образовании метаморфогенно-метасоматических месторождений: они изменяют ранее существовавшие метаморфогенные рудные залежи, вызывают ремобилизацию рудного вещества и создают тектонические структуры, благоприятные для формирования новых метасоматических проявлений полезных ископаемых.

Характерная особенность гнейсово-мигматитовых комплексов Урала [6, 7, 11], наряду с метаморфическими месторождениями и рудопроявлениями, – существенное преобладание в их пределах неметаллических полезных ископаемых, таких как антофиллит-асбест, кварц, мусковит, **кианит**, **андалузит**, **силлиманит** [4, 7, 9], тальк и др. Главным фактором, обуславливающим возникновение месторождений и проявлений, в данном случае может быть не столько концентрация вещества, сколько многостадийность их преобразования, сопровождающаяся концентрацией полезного компонента, выделение его в соответствующей минеральной форме. Промышленная ценность этих, по сути породообразующих, минералов определяется их физическими свойствами, размером кристаллов, чистотой кристаллической решетки и т. д. Ведущую роль здесь, очевидно, играет не столько миграция элементов, сколько физико-химические условия преобразования горных пород, прежде всего давление [6, 11].

При картировании метаморфической зональности в метаморфических комплексах наблюдается выдержанная последовательность изоград метаморфических минералов от центра к периферии: силлиманит – кианит (андалузит) – ставролит – гранат – биотит – хлорит.

При внимательном изучении, в частности на Светлинском хрусталоносном месторождении (Кочкарский метаморфический комплекс), оказывается, что каждый индекс-минерал, как правило, появляется в двух модификациях, образуя две «изограды появления»; одна обусловлена региональным метаморфизмом, другая – гидротермально-метасоматическими процессами. Последние прогрессивно накладываются на продукты метаморфизма так, что во внешнюю зону выходят минеральные ассоциации, отвечающие более высокому температурному уровню [6, 11].

Связь режима щелочности – кислотности с термодинамическими условиями метаморфических процессов легче всего представить, рассмотрев кристаллохимические особенности минера-

лов, характеризующих различные метаморфические фации.

Устойчивость минералов с возрастанием температуры как функция энергии кристаллической решетки находится в прямой зависимости от величины зарядов входящих в нее ионов и в обратной – от их радиусов. Кроме того, уменьшение ионного радиуса катиона и увеличение его координационного числа в значительной мере определяют устойчивость минералов при возрастающем давлении [5, 6, 11].

Результаты экспериментального изучения устойчивости алюмосиликатов в условиях меняющейся кислотности – щелочности и при различных температурах и давлениях объясняют появление различных парагенезисов высокобарических минералов на разных участках шовных зон в метаморфических комплексах Южного Урала.

Общеизвестно, что в процессах динамотермального метаморфизма ведущая тенденция в изменении состояния алюминия – переход его из четверной координации по кислороду в шестерную, сопровождающийся уменьшением молекулярного объема и увеличением плотности минералов [5].

Взаимодействие флюида и твердой фазы в некоторых проявлениях может иметь полярно-противоположный характер: с одной стороны, состав и состояние флюида – причина смены минеральных ассоциаций, а с другой – наоборот, изменение состава твердой фазы под влиянием меняющихся Т-Р условий определяет состав сосуществующего с ней флюида [11].

Выразительным примером такого двоякого взаимодействия может служить выщелачивание, которое осуществляется путем кристаллохимического фракционирования при метаморфизме (*метаморфогенный тип*) или в результате воздействия на твердую фазу активного кислого раствора (*метасоматический тип*).

В первом случае низковалентные ионы с большим радиусом в определенных термодинамических условиях, среди которых наибольшее значение имеет давление, оказываются неустойчивыми в кристаллической решетке большинства силикатов и уходят в раствор. Таким образом, формируются ассоциации, содержащие высокоплотные минералы, которым свойственна шестерная координация алюминия: кианит, пироп-альмандинный гранат, хлоритид, ставролит и др. Геологически вполне четко устанавливается приуроченность таких ассоциаций к древним архейско-протерозойским гнейсово-амфиболитовым комплексам, претерпевшим высокотемпературный и высокобарический метаморфизм. Так как рассматриваемые ассоциации возникают вследствие реакции породы на изменяющиеся термодинамические условия, их необходимо отнести к числу **метаморфических**, хотя формирование самих минеральных



агрегатов осуществляется с помощью **метасоматического** механизма и не является вполне изохимическим.

Возникновение высокобарических парагенезисов в шовных зонах докембрийских метаморфических комплексов (Кольский п-ов, Карелия, Алданский щит, Урал и др.) связано не столько с гидротермально-метасоматическими преобразованиями (изменение кислотности – щелочности) пород глубинными флюидами, сколько с кристаллохимическим фракционированием, обусловленным селективным переходом под давлением в раствор «наименее надежно закрепленных» ионов в кристаллической решетке. Это меняет соотношение химических потенциалов компонентов в твердой и жидкой фазах, определяя, в частности, щелочность – кислотность и другие свойства раствора. Векторное стрессовое давление в зонах тектонического сжатия, трансформируясь дилатационно-гидравлическим путем во флюидное давление с весьма высоким градиентом, стимулирует инфильтрационные процессы [1, 2, 11].

По этой причине кианит в плагигнейсах Уфалейского, Сысертско-Ильменогорского, Кочкарского, Адамовского, Джабык-Карагайского метаморфических комплексов образуется по биотиту, а не по алюмосиликатам (полевым шпатам или мусковиту), и минеральная ассоциация создается без кварца в отличие от гидротермально-метасоматического способа образования кианит-кварцевых зон (рис. 1, 2). Аналогичная картина описана для гнейсов Карелии [13].

На Урале широко развиты месторождения метасоматических кианитовых кварцитов, реже силлиманитовых кварцитов, залегающих в шовных зонах, секущих силлиманит(кианит)содержащие гнейсы Адамовского, Кочкарского, Мурзинско-Адуйского, Уфалейского, Сысертского метаморфических комплексов [4, 6, 7, 9, 11].

Кианитовые кварциты представляют собой плотные породы, разбитые трещинами отдельности на крупные блоки. Кианит распределяется в кварцитах неравномерно: от единичных зерен до 40–50 %. В зонах высокой концентрации кианита последний кристаллизуется в виде радиально-лучистых агрегатов светло-голубой окраски (рис. 3). В кварците на границах зерен наблюдаются скопления пылевидного магнетита, реже появляются зерна рутила, пирита, гематита.

Кроме того, на метаморфогенных и метаморфогенно-метасоматических месторождениях обычно наблюдаются кварцевые жилы выполнения, имеющие в зальбандах андалузит, кианит или силлиманит, часто в парагенезисе с мусковитом [1, 7, 9, 11]. Концентрации высокоглиноземистых минералов в этих зонах представляют лишь минералогический интерес, промышленных концентраций не образуют.

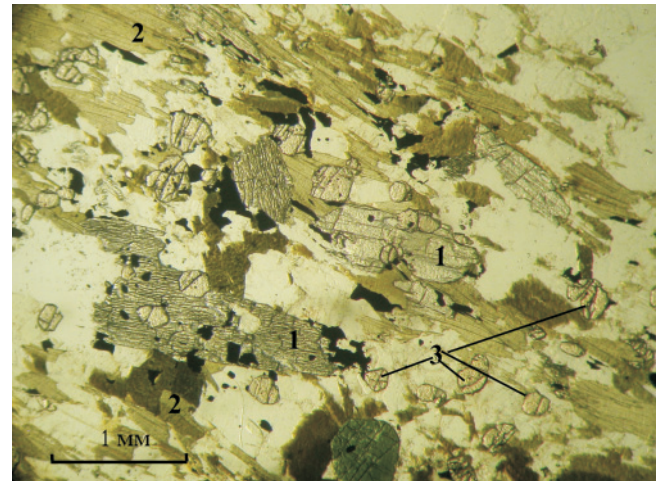


Рис. 1. Развитие метаморфогенного кианита (1) по биотиту (2) плагигнейсов. Наблюдается новообразование граната (3). Шумихинский купол, Сысертско-Ильменогорский комплекс. Шлиф Ш-102, без анализатора

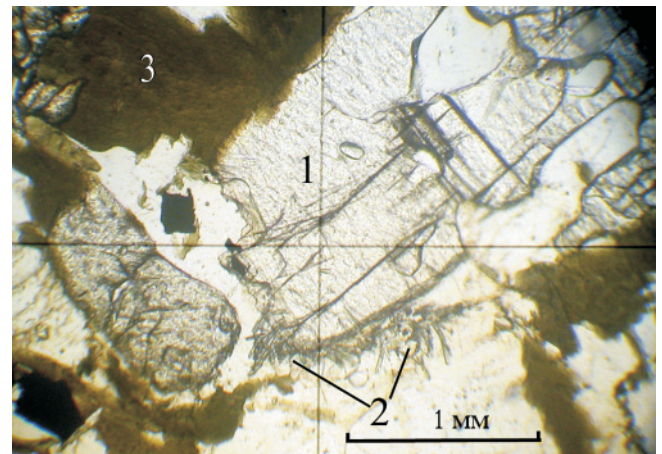


Рис. 2. Развитие метасоматической кварц-кианитовой ассоциации (2) по раннему кианиту (1), который развивается по зеленому биотиту (3). Шумихинский купол, Сысертско-Ильменогорский комплекс. Шлиф Ш-102/1, без анализатора

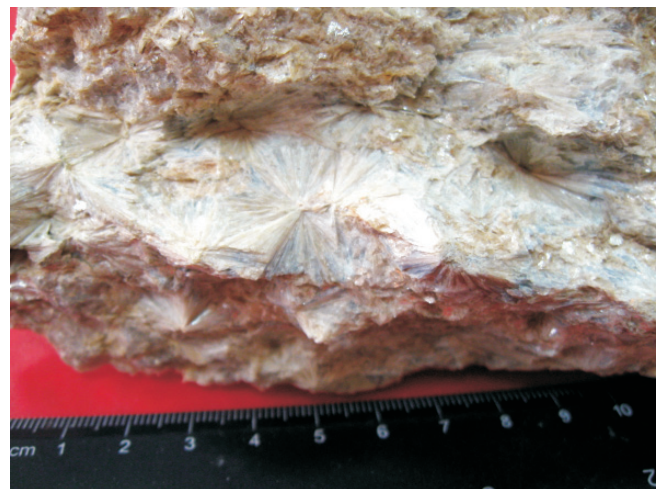


Рис. 3. Радиально-лучистый кианит в кианитовых кварцитах (Брусняновское проявление кианита)

Таким образом, образование месторождений высокоглиноземистых минералов связывается с метаморфическими комплексами архей-

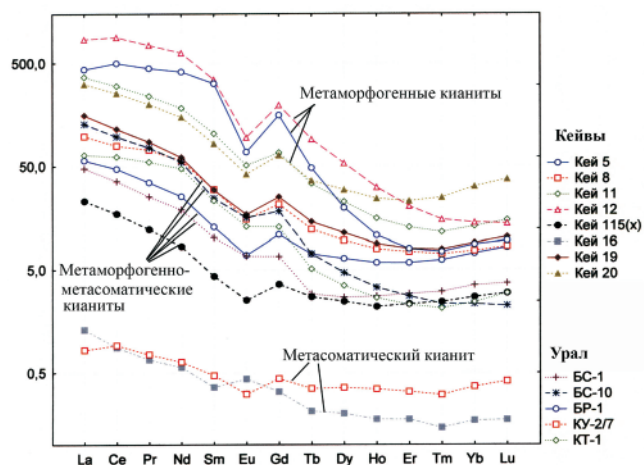


Рис. 4. Распределение редких земель, нормированных по хондриту в кианитах месторождений Кольского полуострова (кейвская свита) и Урала

ско-протерозойского возраста. Метаморфогенно-метасоматический механизм образования кианитовых месторождений создает относительно стратифицированные залежи с крупными запасами, наибольшие из которых сконцентрированы на Кольском п-ове (свита Кейв), в Сибири и на Урале [7].

Сравнение уральских кианитов (пробы БР, БС, КУ, КТ, СВЛ) с кианитами свиты Кейв (пробы КЕЙ) методами математической статистики и факторного анализа показало их сходство по минеральным включениям и примесям, по химическому составу, содержанию редких и редкоземельных элементов (рис. 4).

Установлено, что наиболее загрязненными по минеральным примесям и химическому составу оказываются наиболее ранние метаморфогенные кианиты волокнисто-игльчатого и конкреционно-лучистого промышленного типа (КЕЙ-5, 11, 12, 20), менее загрязнены кианиты параморфического типа по хиастолитам (КЕЙ-15, 19), а также порфиробластический кианит кианитовых кварцитов и зон перекристаллизации (КЕЙ-1, 8, БР-1, БС-1, 10, КТ-1). Наиболее чистые поздние кианиты голубого цвета (КЕЙ-16, КУ-2/7) и андалузит

розового цвета (СВЛ-531), образующие оторочки в зальбандах кварцевых жил; к сожалению, они имеют очень небольшие масштабы распространения и, соответственно, запасы.

В настоящее время запущен пилотный проект по организации добычи кианитового сырья производительностью 30–50 тыс. т в год из техногенных отложений, оставшихся после обработки золоторудных россыпей в Пластовском районе. Наиболее благоприятны в этом отношении техногенные отложения Андрее-Юльевской россыпи (рис. 5), содержащие значительное количество кианита. Россыпь расположена в 3 км от дер. Борисовки и в 18 км к югу от г. Пласт. В техногенных отложениях Андрее-Юльевской россыпи преобладает порфиробластический кианит, достаточно чистый (БС-1), к тому же в значительной мере уже обогащенный.

Ресурсы сырья достаточны для крупномасштабного производства концентратов; на базе кианита и кварца в дальнейшем можно организовать обжиговое, огнеупорное, керамическое, силуминовое, стекольное и другие предприятия.

В Восточном институте огнеупоров под руководством д. г.-м. н. В. А. Перепелицина были проведены лабораторные исследования на огнеупорность кианитовых концентратов. Получены огнеупорные характеристики концентратов и приготовленных из них изделий, разработана технология производства высокоглиноземистых огнеупоров. На основании приведенных исследований сделано следующее заключение: **кианитовые концентраты, полученные из Андрее-Юльевских россыпей, перспективны для производства качественных муллито-кремнеземистых огнеупорных материалов и изделий.**

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24-27 Президиума РАН и Интеграционного проекта «Развитие минерально-сырьевой базы России...», руководитель проекта акад. РАН В. А. Коротеев. Частичное финансирование осуществлялось по госбюджетной теме 5.4667.2011 (Г-3 УГГУ) «Исследование генетиче-



Рис. 5. Техногенные отвалы песков Андрее-Юльевской россыпи, содержащих кианит



ских типов месторождений группы кианита...»,
руководитель проф. В. Н. Огородников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бельков, И. В.** Кианитовые сланцы свиты Кейв [Текст] / И. В. Бельков. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 320 с.

2. **Беляев, О. А.** Кислотное выщелачивание и сопряженный железо-магнезиальный метасоматоз в условиях гранулитовой фации [Текст] / О. А. Беляев // Метасоматоз и метасоматиты в метаморфических комплексах докембрия. – Апатиты : ГИ КолФАН СССР, 1981. – С. 10–18.

3. **Добрецов, Н. Л.** Специфика раннедокембрийского метаморфизма и ранняя история Земли [Текст] / Н. Л. Добрецов // Метаморфизм ранне-го докембрия. – Апатиты, 1980. – С. 19–31.

4. **Игумнов, А. Н.** Уральские месторождения дистена (кианита) [Текст] / А. Н. Игумнов, К. Е. Кожевников // Тр. ВИМС. – 1935. – Вып. 90. – 70 с.

5. **Ициксон, Г. В.** Кристаллохимическое фракционирование калия и натрия в метаморфических процессах и его металлогеническое значение [Текст] / Г. В. Ициксон // Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование. – Л. : Наука, 1970. – С. 172–194.

6. **Кейльман, Г. А.** Мигматитовые комплексы подвижных поясов [Текст] / Г. А. Кейльман. – М. : Недра, 1974. – 200 с.

7. **Кианитовые** руды России [Текст] / В. Н. Огородников, В. А. Коротеев, Ю. Л. Войтеховский [и др.]. – Екатеринбург : УрО РАН, 2012. – 334 с.

8. **Минералы** группы силлиманита – база промышленного производства высокоглиноземистых огнеупоров, силумина и алюминия [Текст] / В. А. Коротеев, В. Н. Огородников, В. Н. Сазонов [и др.] // Ежегодник-2009 : Тр. УрО РАН. – 2010. Вып. 157. – С. 157–162.

9. **Морфогенетические** типы и технология обогащения кианитовых руд [Текст] / В. Н. Огородников, В. А. Коротеев, Ю. Л. Войтеховский [и др.]. – Екатеринбург : УрО РАН, 2013. – 310 с.

10. **Небокситовое** алюминиевое сырье Сибири [Текст] / Сост. Г. Н. Черкасов. – М. : Недра, 1988. – 167 с.

11. **Огородников, В. Н.** Закономерности размещения и условия образования кварцево-жильных хрусталеносных и золоторудных месторождений Урала : Автореф. дис. ... д. г.-м. н. [Текст] / В. Н. Огородников. – Екатеринбург, 1993. – 54 с.

12. **Основы** металлогении метаморфических поясов докембрия Сб. науч. тр. [Текст]. – Л. : Наука, 1984. – 340 с.

13. **Щербакова, Т. Ф.** Кианитовые и кианитизированные горные породы Беломорья [Текст] / Т. Ф. Щербакова // Геология метаморфических комплексов. – Свердловск : Изд-во СГИ, 1982. – С. 58–63.

© В. Н. Огородников, В. А. Коротеев, Ю. А. Поленов,
А. Н. Савичев, В. В. Бабенко, 2014

ОГОРОДНИКОВ Виталий Николаевич

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, зав. кафедрой, д. г.-м. н.

E-mail: FGGg@ursmu.ru

КОРОТЕЕВ Виктор Алексеевич

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, зав. кафедрой, д. г.-м. н., проф., акад. РАН

E-mail: igg@ursmu.ru

ПОЛЕНОВ Юрий Алексеевич

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, директор Уральского геологического музея, д. г.-м. н.

E-mail: igg@ursmu.ru

САВИЧЕВ Александр Николаевич

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, ст. науч. сотр.

E-mail: igg@ursmu.ru

БАБЕНКО Владимир Витальевич

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, декан, д. г.-м. н., проф.

E-mail: igg@ursmu.ru

OGORODNIKOV Vitalii, DSc., Ural State Mining University (USMU), Yekaterinburg, Russia

E-mail: FGG@ursmu.ru

KOROTEEV Viktor, DSc., acad., Ural State Mining University (USMU), Yekaterinburg, Russia

E-mail: igg@ursmu.ru

POLENOV Yurii, DSc., Ural State Mining University (USMU), Yekaterinburg, Russia

E-mail: igg@ursmu.ru

SAVICHEV Aleksandr, Ural State Mining University (USMU), Yekaterinburg, Russia

E-mail: igg@ursmu.ru

BABENKO Vladimir, DSc., Ural State Mining University (USMU), Yekaterinburg, Russia

E-mail: igg@ursmu.ru