

Часть 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ

В. Н. Огородников¹, В. А. Коротеев², Ю. А. Поленов¹, А. Н. Савичев²

¹ – *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург,
igg.gl@ursmu.ru*

² – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург
koroteev@igg.uran.ru*

Морфогенетические типы кианитовых руд России

Изучение кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии, Сибири и Урала позволило установить их полиметаморфический генезис, обусловленный длительностью и сложностью геологической истории формирования структур северо-восточной части Восточно-Европейской платформы (Балтийский щит и Карелия), структур южного обрамления Сибирской платформы и Уральской складчатой области. Это определило сходные черты кианитовых месторождений, хотя масштабы минерализации в разных регионах различные.

История минерагенической эволюции Восточно-Европейской платформы описывается пятью мегациклами взаимосвязанного эндогенно-экзогенного образования пород и руд: двумя архейскими (ранним 3.85–3.2 и поздним 3.2–2.5 млрд лет) – саамским и лопийским, двумя протерозойскими – карельским (2.5–1.65 млрд лет), рифейским (1.65–0.6 млрд лет) и одним фанерозойским (600 млн лет – настоящее время).

В течение докембрия закономерно менялся режим ведущих эндогенных процессов, а значит, и связанного с ними метасоматизма. От раннего к позднему докембрию и фанерозою уменьшаются масштабы и общая степень регионального метаморфизма. Архейские гранулитовые комплексы отличаются не только высокими значениями температур и давлений, но и удивительной выдержанностью термодинамических режимов на больших площадях. На смену латерально однородным раннедокембрийским комплексам в позднем докембри и фанерозое приходят латерально дифференцированные по термодинамическим режимам глубинного петрогенезиса зональные метаморфические комплексы амфиболитовой и зеленосланцевой фаций.

Значительную роль в распределении месторождений и рудопроявлений играют шовные зоны сдвиговых деформаций, что наиболее ярко проявлено на коллизионных стадиях развития орогенов. Эти зоны являются проводниками флюидных потоков, взаимодействие которых с метаморфизирующимися толщами приводит к формированию сопряженных кислотных, основных и щелочных метасоматитов, которые могут классифицироваться по РТ параметрам процессов и условиям кислотности-щелочности. В области высоких температур и давлений формируются специфические кислотные ортопироксен-силлиманитовые метасоматиты. При умеренных температурах в зависимости от глубинности процессов могут формироваться кислотные метасоматиты – андалузитовые, кианитовые и силлиманитовые кварциты и основные метасоматиты – кордиеритовые, кордиерит-жедритовые, гранатовые, гранат-жедрит-кианитовые и др. При низких температурах возникают пропилиты, березиты, листвениты в

зависимости от того, по каким породам они развиваются [Жданов, 1980; Огородников, 1993; Огородников и др., 2004; Коротеев и др., 2010].

Таким образом, выделены две группы (формации) продуктивных метаморфогенно-метасоматических пород, обогащенных высокоглиноземистыми минералами группы кианита (кианит, силлиманит, андалузит):

- стратифицированные горизонты в толще плаггиогнейсов раннего архея и протерозоя – глиноземистая формация щитов и древних платформ (метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический, кейвский тип) и

- нестратифицированные метасоматические породы, слагающие внутренние и внешние части шовных зон полифациальных метаморфических комплексов андалузит-силлиманитового и кианит-силлиманитового термодинамических типов, образующихся по разновозрастным, обычно пелитовым породам – глиноземистая формация фанерозойских складчатых поясов (гидротермально-метасоматический, уральский тип).

В большинстве зональных метаморфических комплексов Кольского полуострова, Карелии и Сибири кианит- и силлиманитсодержащие породы слагают определенные зоны метаморфизма и развиваются по постархейским пелитовым толщам. Зоны обогащения высокоглиноземистыми минералами приурочены к шовным зонам с активным проявлением метасоматоза и окварцевания и образованием метаморфогенного и метаморфогенно-метасоматического типов оруденения.

Детальное изучение кианитовых месторождений позволило установить полигенность и полихронность кианитовых руд, а также выделить три природных типа руд: метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический и метасоматический, которые различаются минеральным и гранулометрическим составами и характером сростаний кианита с другими минералами. Это потребовало разработки различных технологий обогащения высокоглиноземистых руд.

Метаморфогенные руды. Протерозойский этап метаморфизма формирует метаморфогенные порфиробластические кианитовые руды, и, наряду с ними, наблюдается образование параморфических руд за счет первичного метаморфического андалузита (хиастолита).

Появление высокоглиноземистых (высокобарических) парагенезисов в зонах смятия 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, которое меняет соотношение химических потенциалов компонентов в твердой и жидкой фазах, определяя, в частности, щелочность-кислотность и другие свойства раствора. Векторное стрессовое давление, возникающее в зонах тектонического сжатия, трансформируясь дилатационно-гидравлическим путем во флюидное давление с весьма высоким градиентом, стимулирует инфильтрационные процессы [Жданов, 1980; Кейльман, 1974; Огородников, 1993].

Поэтому кианит в виде призматических порфиробласт в плаггиогнейсах метаморфических комплексов Кольского полуострова, Карелии, Сибири и Урала образуется по биотиту, а не по алюмосиликатам (полевым шпатам или мусковиту), и минеральная ассоциация создается без кварца, в отличие от гидротермально-метасоматического способа образования более поздних кианит-кварцевых зон [Щербакова, 1982; Огородников, 1993].

Характерной особенностью кианитовых руд *параморфического типа* является выделение кианита в виде параморфических агрегатов по хиастолиту, в связи с чем в основной своей массе кианит свободен от включений углеродистого вещества и обладает бледно-розовой или белой окраской. Кианитовые параморфические агрегаты отчетливо выделяются на фоне темно-серой или черной основной слюдяно-кварцевой породы. В крупнопараморфических рудах всегда присутствует кианит не только в виде параморфоз, но и в виде конкреционных, реже волокнистых агрегатов. Кианит выделяется в виде сплошных агрегатов пластинчатых кристаллов, сохраняющих форму и некоторые особенности строения (узоры роста и распределения включений углеродистого вещества) псевдоквадратных призм хиастолита, по которому возникли кианитовые параморфозы. В кианите параморфических агрегатов рутил практически отсутствует.

Для *метаморфогенно-метасоматических кианитовых руд* характерны призматически-игольчатые, волокнисто-игольчатые, конкреционные формы выделения кианита.

Отличительной чертой кианитовых призматически-игольчатых и волокнисто-игольчатых руд является выделение кианита в сланцах в форме тонких волокон или игольчатых призм, которые собраны в веретеновидные, сноповидно- или радиально-лучистые агрегаты. Минеральный состав кианитовых руд данного типа обладает значительным постоянством. Главными минералами руд являются кварц и кианит, реже существенная роль принадлежит также мусковиту. Кианит рассматриваемого типа руд на месторождениях свиты Кейв обладает нередко графитово-черной или серой окраской за счет включений углеродистого вещества. Вместе с углеродистым веществом ассоциирует рутил. Второстепенными минералами являются углеродистое вещество, ставролит, плагиоклаз, пирротин. Минералами-примесями служат рутил, ильменит, пирит, халькопирит, магнетит, апатит, циркон [Бельков, 1963; Митрофанов и др., 2009].

Метасоматические кианитовые руды формируются в зонах кислотного выщелачивания в шовных зонах. Алюмокремниевый метасоматоз, развитый вдоль тектонических надвиговых структур, проявлен в виде окварцевания, с которым связано также новообразование и перекристаллизация кианита в виде сноповидно-лучистых агрегатов волокнистых кристаллов белого цвета, практически не содержащих углеродистого вещества. Характерно, что рост перекристаллизованного кианита осуществляется преимущественно в направлении, нормальном к плоскостям расщепления. Кианит присутствует в меньшем количестве по сравнению с исходными кианитовыми сланцами, за счет которых возникают призматически-игольчатые и радиально-лучистые руды. Его содержание обычно не превышает 25–30 %.

В процессе последующего метасоматического преобразования исходных кианитовых кварцитов кианит нередко испытывает собирательную перекристаллизацию и образует сложные порфиробластические звездчатые агрегаты крупных кристаллов, одиночные крупные порфиробласты (идиобласты) и их сростки. Размер идиобластов достигает 25 см в длину при 2–3 см в поперечнике. Перекристаллизация кианита осуществляется при процессах окварцевания и мусковитизации с преобразованием кианитовых сланцев в кварц-мусковит-кианитовые метасоматиты.

К трещинам отрыва и скалывания в шовных зонах приурочено образование кварцево-кианитовых и кварцевых жил с кианитовыми оторочками. В зальбандах кварцевых жил образуются почти мономинеральные кианитовые оторочки, мощность которых достигает в некоторых случаях 1–2 м, составляя обычно несколько десятков сантиметров [Огородников, 1993; Огородников и др., 2004].

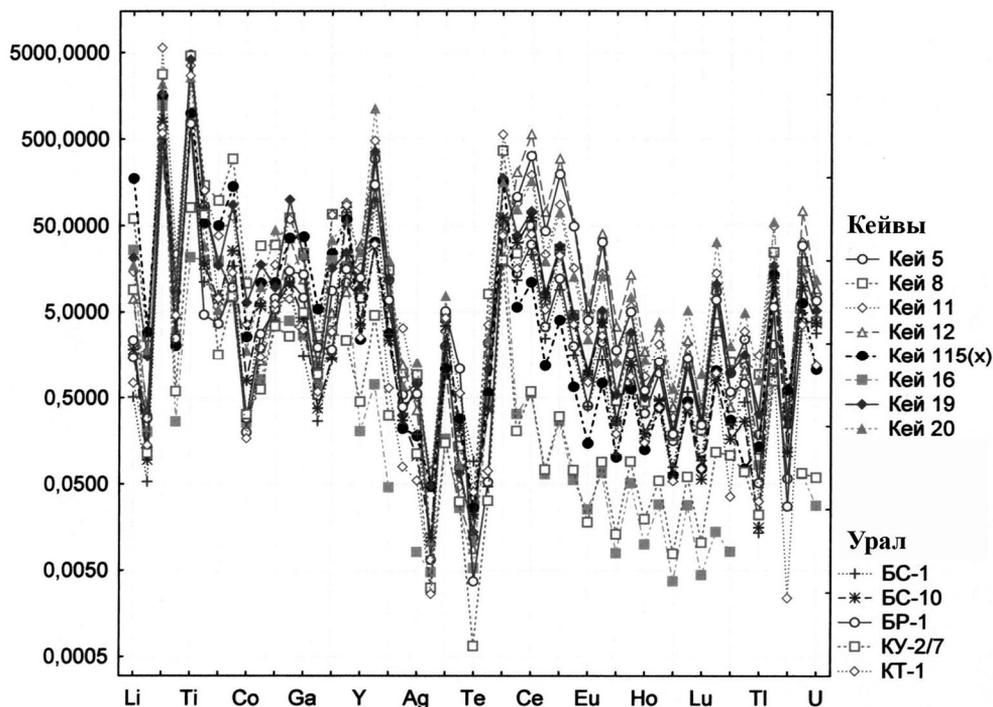


Рис. Распределение редких земель, нормированных по хондриту, в кианитах месторождений Кольского полуострова (свита Кейв) и Урала

Сравнение уральских кианитов с кианитами свиты Кейв методами математической статистики и факторного анализа показало их полное сходство по минеральным включениям и примесям, химическому составу и содержанию редких и редкоземельных элементов. При этом видно, что наиболее дифференцированы кианиты по содержанию РЗЭ (рис.).

Менее загрязненными оказываются параморфические, волокнисто-игольчатые и конкреционно-лучистые метаморфогенно-метасоматические кианиты, являющиеся основным промышленно-технологическим типом. Наиболее чистыми являются поздние порфиробластические кианиты голубого цвета, образующие оторочки в зальбандах кварцевых жил. К сожалению, они имеют очень небольшие масштабы распространения и, соответственно, запасы. В техногенных отложениях Андреевско-Юльевской россыпи преобладает порфиробластический кианит, достаточно чистый (БС-1), к тому же он в значительной мере обогащен благодаря россыпеобразующим процессам.

Сравнительная технологическая оценка природных типов кианитовых руд дает основание утверждать, что концентраты высокого качества могут быть получены не только из руд промышленного метаморфогенно-метасоматического типа, но и из метаморфических руд, однако уровень технологического извлечения кианита при обогащении последних не превышает 20–23 %.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24 Президиума РАН и интеграционного проекта «Развитие минерально-

сырьевой базы России: освоение новых источников высокоглиноземистого сырья (минералы группы силлиманита и пирофиллита, каолины, золы и др.)», руководитель проекта академик РАН В. А. Коротеев. Исследования проводились при частичной финансовой поддержке госбюджетной темы Г-3 (УГГУ).

Литература

- Бельков И. В.* Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.: АН СССР, 1963. 136 с.
- Жданов В. А.* Рудогенирующая роль региональных метаморфо-метасоматических процессов // *Метаморфогенное рудообразование раннего докембрия*. Апатиты, 1980. С. 62–70.
- Кейльман Г. А.* Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра, 1974. 200 с.
- Коротеев В. А., Огородников В. Н., Сазонов В. Н. и др.* Уральские месторождения кианита – перспективная база производства высокоглиноземистых огнеупоров, силумина и алюминия // *Проблемы освоения кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии и Урала*. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2010.
- Митрофанов Ф. П., Войтеховский Ю. Л., Баянова Т. Б.* Особенности исследований раннедокембрийской металлогении Кольско-Лапландско-Карельской провинции Балтийского щита // *Минералогия Докембрия*. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2009. С. 175–178.
- Огородников В. Н.* Закономерности размещения и условия образования кварцево-жильных хрусталеносных и золоторудных месторождений Урала. Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1993. 28 с.
- Огородников В. Н., Сазонов В. Н., Поленов Ю. А.* Минералогия шовных зон Урала. Кочкарский рудный район (Южный Урал). Екатеринбург: УГГА, 2004. 216 с.
- Щербакова Т. Ф.* Кианитовые и кианитизированные горные породы Беломорья // *Геология метаморфических комплексов*. Свердловск: СГИ, 1982. С. 58–63.