

ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ МЕТАМОРФИЗМА ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫХ ПОРОД ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЬСКОЙ ГРАНУЛИТ-ГНЕЙСОВОЙ ПРОВИНЦИИ

С. М. Пилюгин¹, М. А. Голунова²

¹ Воронежский государственный университет

² Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка

Поступила в редакцию 10 мая 2016 г.

Аннотация: в железисто-кремнистых комплексах Центрально-Кольской провинции изучены газозо-жидкие включения. Они представлены углекислотными, и в подчиненном количестве – азотными и водно-солевыми разновидностями. Выделено три генерации CO₂ включений с минимальными температурами гомогенизации: - 49,2°C (FL1), -30 °C (FL2), -12 °C (FL3). Наиболее плотные включения FL1 характеризуют условия пикового метаморфизма; FL2 и FL3 – генерации связаны с ретроградными процессами перекристаллизации железисто-кремнистых пород региона.

Ключевые слова: флюидные включения, железисто-кремнистые формации, Центрально-Кольская гранулит-гнейсовая провинция, архей.

FLUID REGIME OF METAMORPHISM OF THE BANDED IRON FORMATION CENTRAL KOLA GRANULITE-GNEISS PROVINCE

Abstract: the fluid inclusions were studied in the banded iron formation (Bif) complexes of the Central Kola Province. They are represented by carbon-dioxide, and in subordinate amount – nitrogen and water-salt varieties. Emphasis three generation of CO₂ inclusions with homogenization temperatures minimum: - 49,2°C (FL1), -30 °C (FL2), -12 °C (FL3). The densest FL1 turn characterize the conditions of peak metamorphism; FL2 and FL3 – generation associated with retrograde recrystallization processes Bif- rocks of the region.

Key words: fluid inclusions, banded iron formation, Central Kola granulite-gneiss province, Achaean.

Введение

Центрально-Кольская метаморфическая провинция традиционно рассматривается в качестве древнейшего (мезо-неоархейского) складчатого ядра Балтийского щита [1]. В строении этого региона участвуют породы, варьирующие как по составу (биотитовые и амфиболовые гнейсы с гиперстеном, гранатом, силлиманитом, кордиеритом, реже андалузитом или шпинелью, тоналито- и эндербито-гнейсы, амфиболиты, гранито-гнейсы, полосчатые эвлизиты и железистые кварциты), так и по степени метаморфизма (от гранулитовой до эпидот-амфиболитовой фации).

Магнетитовые кварциты — железистые породы гранулитовой фации, являющиеся постоянным элементом метаосадочной части разреза, образуют многочисленные железорудные проявления региона. Благодаря своему относительно простому минералогическому и химическому составу, они могут рассматриваться в качестве надежных индикаторов физико-химических условий метаморфизма пород и,

отсюда, наиболее ранней тектоно-термальной и геодинамической истории развития Земли.

Основная цель данного исследования заключается в оценке флюидного режима метаморфизма железисто-кремнистых пород региона на основе данных по строению и составу газозо-жидких включений в минералах.

Объект и методы исследования

Железисто-кремнистые породы Центрально-Кольской гранулит-гнейсовой провинции локализованы в двух структурно-вещественных комплексах: Веже–Тундра (гранулиты основного состава) и Кольская серия (преимущественно метапелитовые гранулиты) (рис. 1). Небольшие (десятки метров) тела железистых кварцитов залегают непосредственно в интенсивно дислоцированном складчатом комплексе (пироксеновых эндербитах, амфиболитах, амфибол-пироксеновых метабазитах, гранат-биотитовых гнейсах). Контакты рудных тел с вмещающими породами обычно четкие.

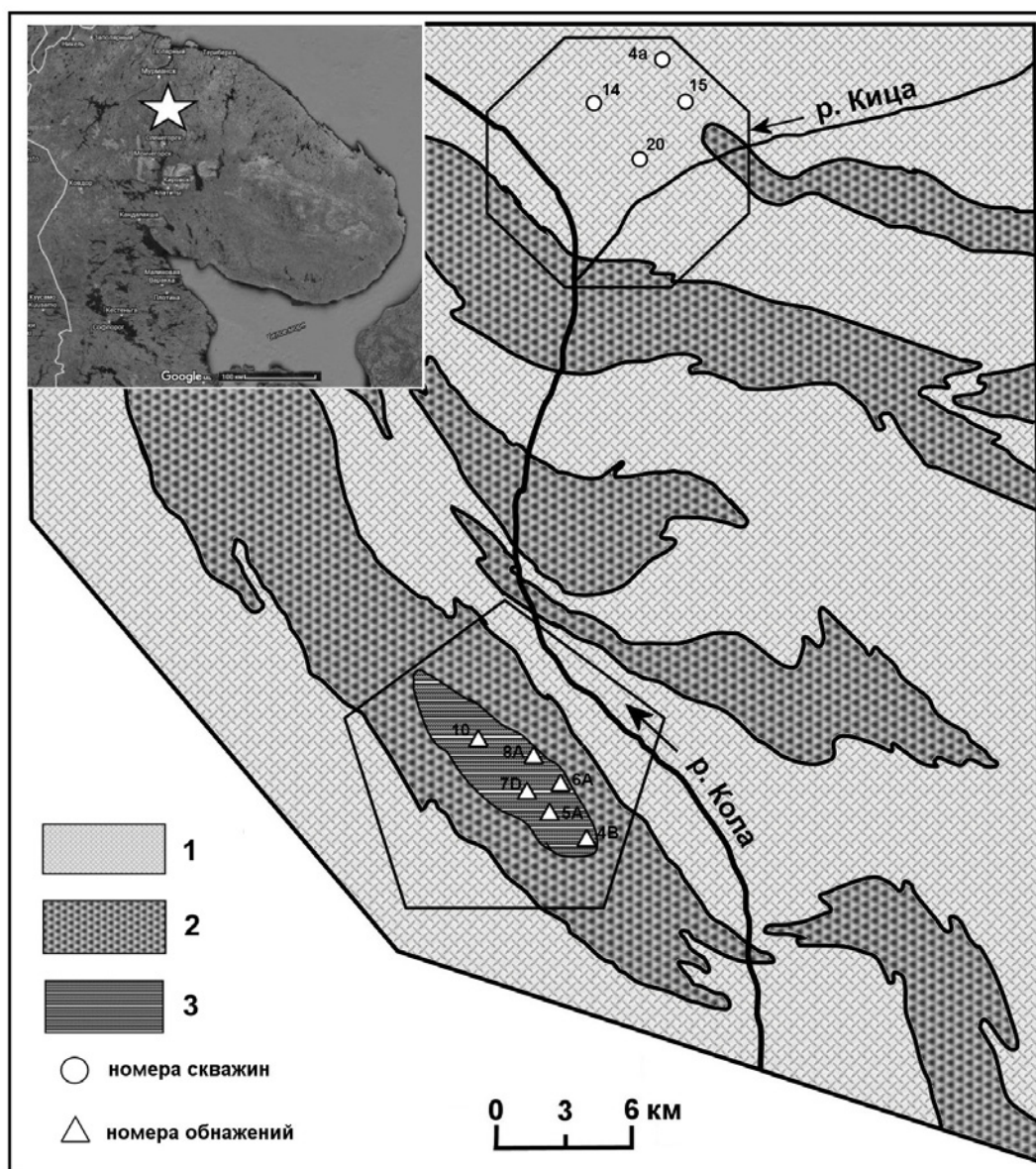


Рис. 1. Схема геологического строения Центрально-Кольской гранулит-гнейсовой провинции по [9] с изменениями: 1 – кольская серия (биотитовые, гранат-биотитовые и амфиболовые гнейсы с силлиманитом, кордиеритом, реже андалузитом или шпинелью переслаивающиеся с железистыми кварцитами); 2 – комплекс Веже – Тундра (тоналиты – и эндербито-гнейсы, амфиболиты, метапироксениты, железисто-кремнистые породы); 3 – выходы железисто-кремнистых пород на дневную поверхность. Область исследования: звезда на врезке – локализация в структуре Кольского полуострова; пентагон – комплекс Веже–Тундра; октагон – Кольская серия.

В пределах комплекса Веже–Тундра железистые кварциты изучены в районе горы Афанасия–Тундра (левобережье р. Кола) и опробованы по коренным выходам пород.

Исследованные железистые породы Кольской серии относятся к северной полосе распространения железистых формаций Кольского полуострова и локализованы в пределах железорудных участков Шолтъярв (низовья р. Кица, западный берег оз. Шолтъярв). Всего было исследовано 11 образцов (двусторонне-полированных пластинок) из разреза пяти обнажений и восьми скважин, пробуренных при глубинном геологическом картировании и поисковых работах на железные руды.

Железистые кварциты представлены плотными, средне- и крупнозернистыми породами серой и зеленовато-серой окраски, характеризующиеся массивной, полосчатой и неясно-полосчатой текстурой, гранобластовой, иногда с элементами порфиробластовой, структурой. Основной минеральный парагенезис изученных пород $Qtz+Mag+Orx+Sprx$ (символы минералов по [2]) иногда с наложенным куммингтонитом, гранатом и биотитом.

Флюидные включения были изучены на криоустановке «Linkam» (Т 600 Амстердам) с рабочим температурным интервалом от $-196^{\circ}C$ до $600^{\circ}C$ в пластинках горных пород толщиной 200–300 микрон с двусторонней полировкой. Для расчета мольных объе-

мов флюидных включений использовалась программа FLUIDS [3]. В каждом из образцов изучалось от 4 до 12 кварцевых зерен (от 1 до 25 флюидных включений в каждом зерне кварца). Размер включений в среднем не превышал 20 мкм; многие образцы содержали множество более мелких включений, которые, однако, не были пригодны для точных измерений.

Полученные результаты

В исследованных железистых кварцитах флюидные включения представлены тремя основными типами: 1) углекислотными с температурами гомогенизации в жидкую фазу (T_h) от -49 до 15°C ; 2) азотными (T_h от -150 до -136°C) 3) водно-солевыми (температура плавления льда от $-4,5$ до $-1,5^\circ\text{C}$).

Углекислотные включения

В большинстве исследованных образцов углекислотные включения представлены *первичными и первично-вторичными* (псевдвторичными) разностями (систематика по [4, 5]). Первые локализуются в виде изолированных групп (рис. 2а); вторые – в виде линейных, нередко различно ориентированных, зон,

приуроченных к залеченным трещинам (рис. 2б). Группы и зоны концентрации флюидных включений обычно неравномерно распределены в пределах кварцевых зерен. В более редких случаях удается наблюдать *вторичные* включения, сконцентрированные вдоль залеченных трещин, выходящих за границы минеральных зерен (рис. 2в).

Углекислотные флюидные включения локализуются в кварце в виде относительно мелких ($5\text{--}10$ мкм) округлых, удлиненно-овальных и каплевидных светлых или темных выделений. Реже встречаются более крупные (10 и более мкм) темные объемные разновидности с четкими границами, имеющие иногда форму негативного кристалла.

Данные термокриометрического изучения указывают на вариации в исследованных образцах температур гомогенизации (T_h) CO_2 флюидных включений (рис. 3). Температура гомогенизации изменяется в широком диапазоне: от -49 до 15°C , что отражает, очевидно, как существенную потерю флюида из включений после их захвата, так и различный химический состав включений – примеси азота и/или метана уменьшают температуру плавления (T_{pl}) по сравнению с чистым бикарбонатом CO_2 [6, 7].

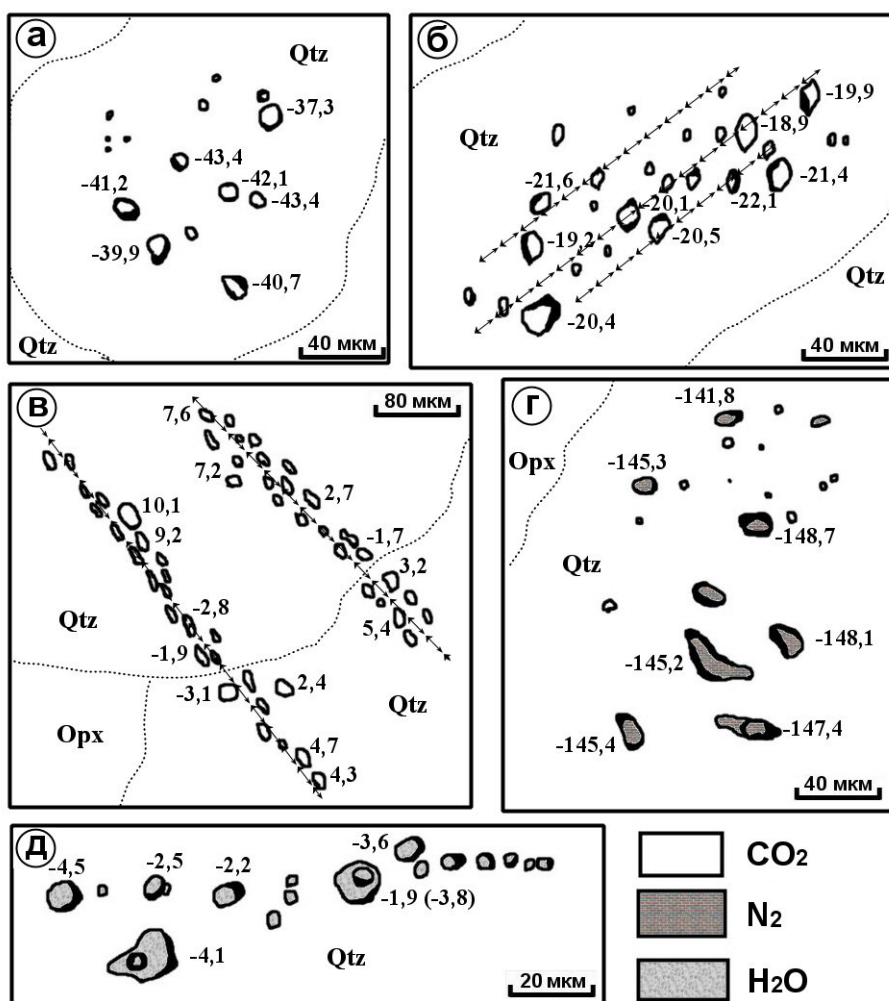


Рис. 2. Микрофотографии включений в кварце из железисто-кремнистых пород Центрально-Кольской гранулит-гнейсовой провинции: а – первичные углекислотные включения (обр. 14/75); б – псевдвторичные углекислотные включения (обр. 15/386); в – вторичные углекислотные включения (обр. 15/386); г – азотные включения (обр. 6А); д) водно-солевые включения (обр. 4а/280). Рядом с включениями указана температура их гомогенизации.

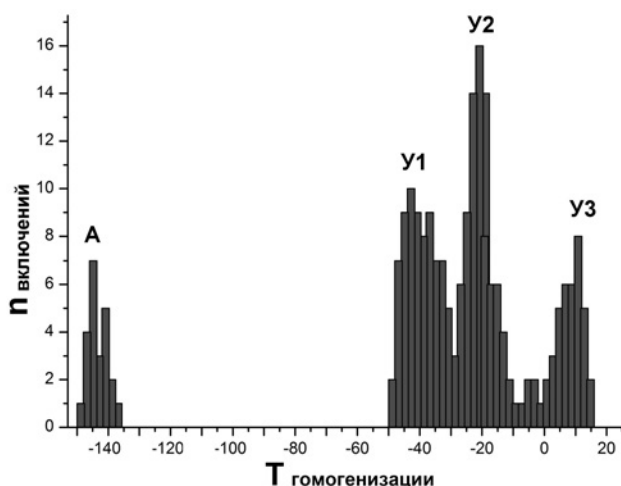


Рис. 3. Гистограмма распределения углекислотных и азотных включений из железисто-кремнистых пород Центрально-Кольской гранулит-гнейсовой провинции: U1 – углекислотные включения первой генерации; U2 – углекислотные включения второй генерации; U3 – углекислотные включения третьей генерации; А – азотные включения.

Анализ полученных результатов показывает, что в железисто-кремнистых породах региона может быть выделено три генерации CO_2 флюидных включений (рис. 3): 1) флюидные включения с вариациями T_h от -49 до -30 °C (FL1); 2) флюидные включения с T_h от -30 до -12 °C (FL2); 3) флюидные включения с T_h от -12 до 15 °C (FL3). В большинстве случаев такой характер распределения температур гомогенизации флюидных включений отвечает локальному положению включений в пределах зерен кварца – FL1 соответствует первичным включениям, FL2 – псевдвторичным, а FL3 – вторичным.

Экспериментальная зависимость $T_h - T_{pl} - \text{mol. \%}$ [7] позволяет предположить наличие от 20 до 30 мол. % примесей (азота и/или метана) во включениях FL1 и от 5 до 15 % примесей в FL2. Оценить количество примесей в генерации FL3 по диаграммам [7] не удастся (из-за положительных температур гомогенизации и соответственно не попаданием точек на кривую аппроксимации).

Азотные включения

Почти всегда представлены включениями неправильной формы (30–70 мкм), реже удлиненные или в форме негативного кристалла (20–30 мкм) (рис. 2г). Они локализируются отдельными группами в центре или иногда по периферии зерен кварца (первичные), реже вдоль залеченных трещин (псевдвторичные) [4, 5]. Азотные включения нередко деформированы и проявляют признаки декриптации, свидетельствующие о возможной потере флюида и, как следствие, их разуплотнении. Такие включения обычно имеют неправильную форму, часто с многочисленными ответвлениями (амебовидные) или вытянутыми и зауженными концами.

Чаще всего азотные включения ассоциируются с первичными CO_2 включениями. Температура гомогенизации таких включений варьирует от -150 до -136 °C (рис. 3). Такие температуры (критическая точка азота = -147,0 °C) позволяют предположить наличие во включениях примеси другого компонента (например, метана).

Водно-солевые включения

Представлены изометричными, светлыми разностями, размер которых не превышает 20 мкм (рис. 2д). Иногда водно-солевые включения имеют неправильную амебовидную форму с признаками расшнурования, а также содержат несколько флюидных пузырьков с различными температурами гомогенизации. В большинстве случаев водно-солевые включения локализируются по залеченным трещинам, как в пределах одного зерна (псевдвторичные), так и пересекающих границу зерен (вторичные) [4, 5].

Температура плавления льда в водно-солевых включениях составляет от -4,5 °C до -1,5 °C, что соответствует низким концентрациям (до 7 мас.%) NaCl в растворе [6].

Псевдвторичные водно-солевые включения часто ассоциируют с псевдвторичными (иногда первичными) углекислотными и реже азотно-метановыми включениями, что может свидетельствовать об их синхронности.

Обсуждение полученных результатов

Среди флюидных включений особое место занимают углекислотные включения, традиционно используемые в метаморфической петрологии для реконструкции тектоно-термальных событий метаморфизма. Этому выбору способствует целый ряд причин:

1) углекислотные включения, чаще всего, являются наиболее представительной по температурам гомогенизации группой включений;

2) в большинстве случаев углекислотные включения представлены сразу несколькими разностями (первичными, первично-вторичными, вторичными) локализованные как в центральных частях зерен, так и на их периферии. Такой характер распределения во многом обусловлен метаморфической историей перекристаллизации пород;

3) углекислотные включения, как правило, меньше всего подвергаются существенным постзахватным изменениям, таким как декриптация и расшнурование. Поэтому можно предположить, что эта группа флюидных включений достаточно близко отражает условия их формирования, а не является продуктом постзахватных изменений флюида.

Полученные нами данные свидетельствуют, что углекислотные включения первой генерации (FL1), безусловно, являются наиболее ранними и с наибольшей вероятностью характеризуют первичный метаморфический флюид, т.е. условия пикового метаморфизма железистых кварцитов. Это наиболее плотные с низкими температурами гомогенизации ($T_h = -49$ °C) первичные включения, локализованные в централь-

ных частях зерен кварца.

В соответствии с особенностями азотно-метановых включений (их первичный характер, ассоциированность с углекислотными включениями первой генерации) можно полагать, что формирование магнетитовых кварцитов сопровождалась также консервацией в них азотно-метанового флюида. С использованием реинтегрированных составов первичного клинопироксена и пижонита [8] были определены ($\geq 900^\circ\text{C}$) температуры кристаллизации этих пород и, соответственно, захвата высокоплотных (FL1) углекислотных, а также азотно-метановых включений.

Псевдодвотичные углекислотные включения (FL2 с T_h от -30 до -12°C) участвовали в многостадийных ретроградных процессах перекристаллизации железисто-кремнистых пород ($500\text{--}675^\circ\text{C}$), которые достаточно подробно были описаны в изучаемом регионе ранее [9]. Расщурование, локализация вдоль залеченных трещин в пределах зерен кварца могут свидетельствовать об интенсивных деформационных процессах, сопровождавших кристаллизацию минералов.

Нам не удалось получить каких-либо количественных данных об условиях захвата наименее плотных углекислотных включений третьей генерации (FL3), так же как и водно-солевых включений. Однако, их вторичный характер может свидетельствовать о наиболее позднем происхождении в исследованных породах региона.

Таким образом, полученные данные по флюидным включениям подтверждают полистадийный характер метаморфизма железисто-кремнистых пород Центрально-Кольской гранулит-гнейсовой провинции.

Воронежский государственный университет

Пилюгин Сергей Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры полезных ископаемых и недропользования

E-mail: geoscience@yandex.ru

Тел.: +7 (473) 220-86-26

Институт экспериментальной минералогии РАН

Голунова Мария Алексеевна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник

E-mail: nov@iem.ac.ru

Тел.: +7(496) 524-44-25

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (Проект №16-05-01044).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Миц, М. В.* Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: палеогеодинамика, строение и эволюция континентальной коры / М. В. Миц, В. Н. Глазнев, А. Н. Конолов, Н. М. Кунина, А. П. Никитичев [и др.] // *Научный мир.* – 1996. – Вып. 503. – С. 62–63.
2. *Kretz, R.* Symbols for rock-forming minerals / R. Kretz // *Amer. Miner.*, 1983. – V. 68. – P. 277–279.
3. *Bakker, R. J.* Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties / R. J. Bakker // *Chem. Geol.*, 2003. – V. 194. – P. 3–23.
4. *Roedder, E.* Fluid inclusion / E. Roedder // *Reviews in Mineralogy*, 1984. – V. 12 – P. 644.
5. *Touret, J. L. R.* Fluid inclusion in high grade metamorphic rocks. In: Hollister LS, Grafword ML (eds) Short course in fluid inclusions: application to petrology / J. L. R. Touret // *Mineral. as. of Can*, 1981. – P. 182–208.
6. *Brown, P. E.* FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data / P. E. Brown // *Am Mineral.*, 1989. – V. 74 – P. 1390–1393.
7. *Thiéry, R.* V-X properties of $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ and $\text{CO}_2\text{-N}_2$ fluid inclusions: modelling for $T < 31^\circ\text{C}$ and $P < 400$ bars / R. Thiéry, A. M. Van den Kerkhof, J. Dubessy // *Eur. J. Mineral.*, 1994. – V. 6. – P. 153–111.
8. *Пилюгин, С. М.* Новые данные о метаморфической эволюции железисто-кремнистых пород Центрально-Кольской гранулит-гнейсовой провинции / С. М. Пилюгин, А. Н. Конолов // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология.* – 2014. – № 4. – С. 29–36.
9. *Fonarev, V. I.* Geological thermometry and barometry of metamorphic complexes: Central Kola archean granulite-gneiss region / V. I. Fonarev, A. N. Konilov, A. A. Graphchikov // *International Geology Review*, 1993. – V. 35. – P. 401–435.

Voronezh State University

Pilugin S. M., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Lecturer, Department of Mineral Resource

E-mail: geoscience@yandex.ru

Tel.: +7 (473) 220-86-26

Institute of Experimental Mineralogy RAS

Golunova M. A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Research Worker

E-mail: nov@iem.ac.ru

Tel.: +7(496) 524-44-25