

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

О. М. Ильичёва, С. А. Волкова

ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань, atsic@geolnerud.net

Были изучены минеральный состав графитсодержащих пород и структурные особенности графита на примере проявления Пестпакша, расположенного в юго-западной части Мурманской области. Рентгенографический анализ проводился на дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker с использованием монохроматического медного (Cu K α) излучения.

Графитсодержащие породы характеризуются широким разнообразием минерального состава, который определяет различие в технологических приемах для переработки пород и выделения концентратов. Сам графит, как углеродистое вещество, обладает уникальными свойствами (огнестойкость, высокая теплопроводность, электропроводность, антифрикционные свойства и др.), благодаря чему имеет широкое применение в производстве различных изделий. Полезные свойства графита во многом обусловлены его структурными особенностями. Этим определяется актуальность не только оценки содержания графита в природных образцах, но и исследования тонких особенностей его структуры.

Было установлено, что вещественный состав графитсодержащих пород проявления Пестпакша является поликомпонентным, в большинстве изученных проб количество слагающих минералов достигает 10–12. По данным порошкового рентгенофазового анализа графит находится в ассоциации с гранатом и кварцем, пироксеном и амфиболом, биотитом и кварцем, амфиболом и полевыми шпатами. Сопутствующими минералами, отмеченными в небольших количествах в разных пробах, являются хлорит, минералы каолиновой группы, кианит, пирротин, рутил, анатаз и др. В соответствии с основным составом минералов изученные пробы были разделены на 5 групп (см. табл. 1).

Таблица 1

Группы графитсодержащих пород

Группы	Породы	Основной минералогический состав	Примесные минералы
<i>I</i>	Гнейсы	Кварц, плагиоклаз, гранат, графит	Хлорит, амфибол, пироксен, биотит, каолинит, глинистый минерал, рутил
<i>II</i>	Плагио-амфиболиты	Амфибол, плагиоклаз, биотит, хлорит, кварц, графит, пирротин	–
<i>III</i>	Гнейсы	Амфибол, пироксен, биотит, плагиоклаз, графит, кварц, пирротин	Хлорит, глинистый минерал, гранат
<i>IV</i>	Метасоматиты	Биотит, плагиоклаз, кварц, гранат, графит, калиевый полевой шпат, амфибол	Хлорит
<i>V</i>	Породы коры выветривания	Гранат, графит, кварц, рутил	Калиевый полевой шпат, плагиоклаз, биотит, каолинит, хлорит, вермикулит, кианит, анатаз

Дифрактограммы, характеризующие состав отдельных минеральных групп приведены на рисунке.

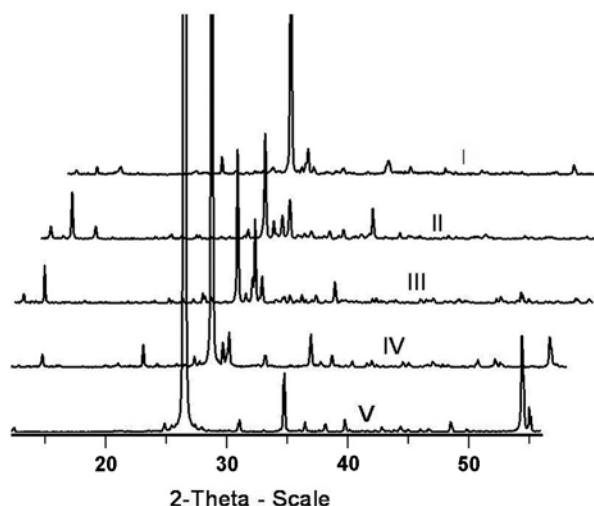


Рис. 1. Типичные дифрактограммы минеральных групп.
Примечание: дифрактограммы смещены по осям X и Y.

Изучение структурных характеристик графита было проведено на концентратах, представляющих собой продукты флотации графитосодержащих пород проявления Пестпакша. Содержание графита в концентратах составляло 10–60 %. Согласно результатам исследования графиты проявления Пестпакша характеризуются относительно высокой степенью совершенства структуры преимущественно двуслойного гексагонального политипа 2H. Во всех пробах в виде небольшой примеси отмечается наличие ромбоэдрического политипа 3R, что характерно для природных графитов [Чухров, 1986]. Наличие 3R модификации в составе графита может рассматриваться как один из видов дефектов упаковки.

Значения межплоскостного расстояния графита d_{002} во всех изученных пробах варьируют в небольших пределах – 3.349–3.354 Å и характеризуют его как графит высокой стадии метаморфизма. Параметры элементарной ячейки a_0 и c_0 также варьируют незначительно: соответственно в пределах 2.456–2.460 Å и 6.698–6.708 Å, что в целом соответствует типичному гексагональному графиту, имеющему примесь ромбоэдрической фазы.

Структурные характеристики графита по минеральным группам сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Структурные характеристики графита

Группа	c_0 , Å	a_0 , Å	U	R, %	Lc, Å	La, Å	La/Lc	ϵ , %
I	6.704–6.708	2.458–2.460	1.43–1.53	9–15	880–1010	1212–1684	1.20–1.80	40.9–47.4
II	6.700–6.702	2.458–2.459	1.04–1.07	14–18	929–968	997–1337	1.19–1.38	44.0–45.0
III	6.700–6.708	2.456–2.460	1.38–1.48	8–13	951–1023	1115–1631	1.17–1.67	41.3–45.3
IV	6.698–6.702	2.458–2.460	1.44–1.50	11–12	908–951	1179–1473	1.30–1.55	45.1–48.9
V	6.700–6.706	2.458–2.460	1.24–1.45	7–14	829–864	1137–1485	1.34–1.79	40.2–45.6

Примечание: c_0 и a_0 – параметры элементарной ячейки графита, U – степень структурной упорядоченности, R – количество ромбоэдрической фазы, Lc и La – размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) по осям c и a соответственно, ϵ – величина микродеформации кристаллической решетки.

Величина графитации U исследованных графитов изменяется от 1.04 до 1.56 с преобладанием 1.4–1.5, что свидетельствует в целом об относительно высокой степени трехмерного порядка структуры графитов проявления Пестпакша. Наиболее совершенные графиты характерны для первой и четвертой минеральных групп, в составе которых отсутствуют сульфиды. Графиты плагиоамфиболитов второй группы отличаются более низкой степенью совершенства. В этих пробах присутствует до 7 % пирротина. В третьей отмечаются как совершенные, так и менее совершенные по структуре графиты. Вполне возможно, что вариации величины U связаны с различающимися условиями формирования графитов, обусловленных привнесением сульфидов. Для графитов из коры выветривания величина структурной упорядоченности U изменяется от 1.24 до 1.45 с небольшими вариациями от пробы к пробе и тенденцией к более низким значениям в этом ряду.

Во всех пробах в графите присутствует небольшое количество ромбоэдрической фазы (R) от 7 до 18 %. По этому параметру графиты можно отнести к средней и высокой стадии метаморфизма [Kwiecinska, 1978]. Какой-либо четкой взаимосвязи содержания R от состава пород не отмечается, но прослеживается тенденция – меньшие содержания обычны для проб I и IV групп, а большее количество характеризует структурно менее совершенные амфиболиты II группы. Размеры областей когерентного рассеяния вдоль оси Lc в исследованных графитах изменяются от 829 до 1023 Å, La – от 997 до 1684 Å. Размеры типичны для графитов зоны метаморфизма. Очень четко выделяются графиты коры выветривания по относительно более низким $Lc < 900$ Å, в то время как по скважинам эти величины почти всегда выше.

Анализ результатов проведенных исследований тонких структурных особенностей графита показал, что наблюдается зависимость параметров элементарной ячейки от глубины его залегания. Это прослеживается в пределах скважины. С глубиной значение d_{002} графита закономерно уменьшается, одновременно растет параметр a_0 . Возможно, это связано с условиями залегания графита – некоторым увеличением давления и температуры в этом направлении [Бискэ, 1982]. Подобная тенденция изменения структуры графита с глубиной отмечается и для других структурных параметров. К примеру, по разрезам с глубиной в целом уменьшаются величина структурной упорядоченности U , количество ромбоэдрической фазы, размеры ОКР графита, одновременно возрастает относительная величина микродеформации решетки – ϵ , рассчитанная по уширению линий [Коршунов, 2004]. Понижение величины структурной упорядоченности графита U к нижним слоям, возможно, связано с дефектностью структуры за счет микронапряжений и микродеформаций.

В породах коры выветривания структурные характеристики графита несколько отличаются. Явно уменьшается размер областей когерентного рассеяния по Lc при практически сохранившейся величине La, отмечается повышение величины искажения структуры за счет дисперсности блоков. Эти особенности могут быть интерпретированы как изменения структуры графита с уменьшением микрокристаллов, в основном, за счет деления их по базальным плоскостям (d_{002}).

Литература

- Бискэ Н. С. Результаты рентгено- и термографического изучения графитов ладожского комплекса / Н. С. Бискэ // ЗВМО, 1982. Вып. 5. Ч. 111.
- Коршунов А. Б. Аналитический метод определения параметров тонкой кристаллической структуры по уширению рентгеновских линий / А. Б. Коршунов // Зав. лаборатория. Диагностика материалов, 2004. № 2. Т. 70. С. 27–32.
- Чухров Ф. В. К характеристике структурных особенностей природного графита / Ф. В. Чухров, Б. Б. Звягин, А. П. Жухлисов / Известия АН, сер. геол., 1986. № 7. С. 3–15.
- Kwiecinska B. On the rhombohedral modification in natural graphites and semi-graphites / B. Kwiecinska // Min. Pol., 1978. V. 9. № 1. P. 3–13.