

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ШУНГИТОВОГО УГЛЕРОДА

Л.С.Парфеньева, И.А.Смирнов, А.З.Зайденберг,  
Н.Н.Рожкова, Г.Б.Стефанович

Шунгиты являются весьма специфическими природными углеродосодержащими образованиями, формирование которых происходило более двух миллиардов лет тому назад [1,2]. В высокоуглеродистых шунгитах углерод часто присутствует в виде глобул размером 100–200 Å. Во всех типах шунгитов присутствует большое число примесей (основными являются примеси V, Ni, Cu, Fe).

Постановку и проведение настоящего исследования стимулировали два экспериментальных факта, обнаруженных в шунгитах: 1) в [3] было показано, что высокоуглеродистые шунгиты содержат в небольшом количестве природные фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$ ; 2) в [4] также в высокоуглеродистом шунгите в области температур 200 К был обнаружен пик затухания ультразвуковых волн, который сопровождался аномальным возрастанием скорости упругих волн.

Аномалии ряда физических параметров при температурах 260 и 160 К были обнаружены и в фуллерене  $C_{60}$  [5]. Они связывались с наличием структурного фазового перехода (при 260 К) и с изменением характера вращения углеродных молекул (при  $\sim 160 \div 180$  К) [5]. Для фуллерена  $C_{60}$  также интересна температура  $\sim 77 \div 90$  К, которая соответствует температуре «стеклования»  $C_{60}$ , при которой «замораживаются» вращения углеродных молекул [5,6].

В настоящей работе мы измерили в интервале температур 77–400 К электропроводность  $\sigma$  двух образцов шунгитов с содержанием углерода 30% (Ш-30) и 98% (Ш-98). Исследовались образцы соответственно с размерами  $9 \times 9 \times 20$  и  $5 \times 5 \times 5$  мм. Измерения  $\sigma$  проводились на посто-

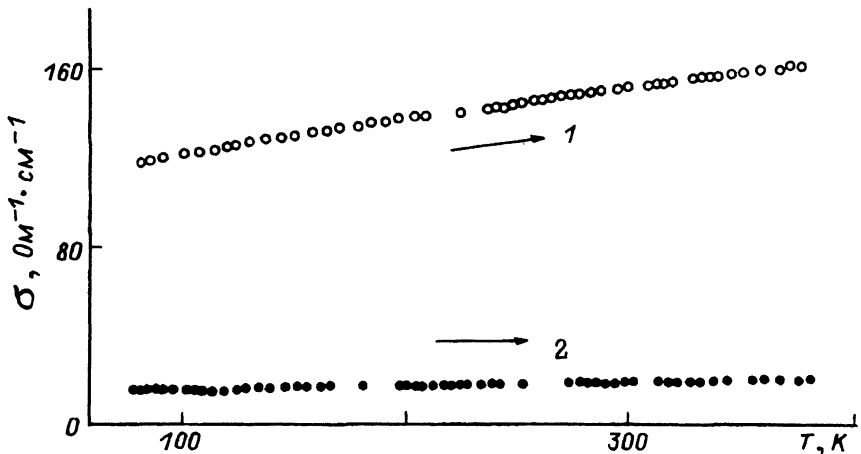


Рис. 1. Температурная зависимость электропроводности шунгитов с содержанием углерода 98% (Ш-98) (1) и 30% (Ш-30) (2).

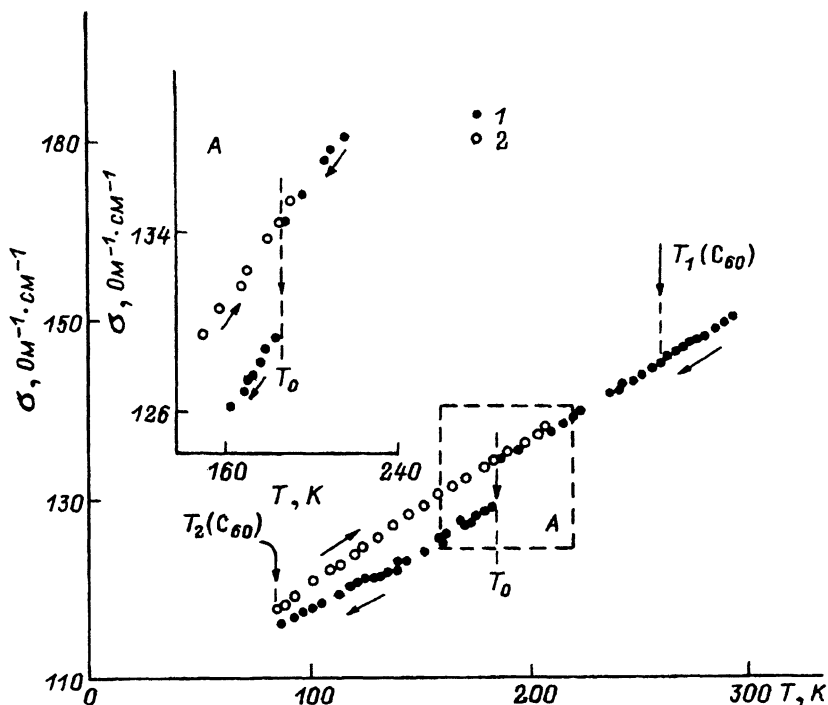


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности шунгита Ш-98 при охлаждении от 300 К (1) и нагреве от 77 К (2).

янном токе четырехзондовым методом. Относительная погрешность эксперимента составляла 0.2%.

На рис. 1 приведены данные для  $\sigma(T)$  образцов Ш-98 (1) и Ш-30 (2). Измерения проводились при нагреве образцов от температуры жидкого азота до 400 К. Как видно из этого рисунка, никаких аномалий на зависимости  $\sigma(T)$  не обнаруживается. В случае же измерения  $\sigma$  образца Ш-98 при понижении температуры от 300 до 77 К в районе  $\sim 180$  К на зависимости  $\sigma(T)$  обнаруживаются аномалии: либо пологая «полочка», либо скачок  $\sigma$ . При этом наблюдается гистерезис  $\sigma(T)$  и на обратном ходе от 77 к 300 К вновь никаких аномалий в районе 180 К не проявляется. На рис. 2 для примера приведен случай аномалии в  $\sigma(T)$  при  $T \approx 180$  К в виде скачка.

Какова физическая причина обнаруженной аномалии в  $\sigma(T)$ ? Пока что однозначного ответа на это мы дать не можем. Возможны две гипотезы для объяснения обнаруженного эффекта:

1) В образце Ш-98 имеется большая концентрация естественных фуллеренов  $C_{60}$  (порядка процентов), и все аномалии обязаны их наличию в образце шунгита. Однако все имеющиеся к настоящему времени литературные данные указывают на то, что в шунгитах концентрация фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  не превышает  $10^{-3}$ .

2) Возможно, что обнаруженные аномалии в  $\sigma(T)$  и затухании ультразвуковых волн [4] в шунгите Ш-98 и аномалии ряда физических параметров фуллерена  $\sigma(T)$  [5] в области 160–180–200 К обусловлены об-

щими (или близкими) процессами, происходящими в углеродных матрицах: «шариков» фуллерена  $C_{60}$  и глобул шунгита Ш-98.

Выяснению правомерности этого предположения будут посвящены наши дальнейшие исследования шунгитов.

Авторы благодарят В.В.Леманова за полезное обсуждение статьи и И.Н.Куликову за помощь в измерениях.

Работа проводилась в рамках программы фонда интеллектуального сотрудничества «Фуллерены и атомные кластеры», поддержанной Министерством науки и технической политики Российской Федерации.

#### Список литературы

- [1] Шунгитовые породы Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, Институт геологии, 1981. С. 585.
- [2] Шунгиты — новое углеродистое сырье. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, Институт геологии, 1984. С. 182.
- [3] Buseck P.R., Tsipursky S.J. // Science. 1992. V. 257. P. 215–217.
- [4] Леманов В.В., Балашова Е.В., Шерман А.В., Зайденберг А.З., Рожкова Н.Н. // ФТТ. 1993. Т. 35. № 12. С. 0000–0000.
- [5] Moret R., Albouy P.A., Agafonov V., Ceolin R., Andre D., Dvorkin A., Szwarc H., Fabre C., Rassat A., Zahab A., Bernier P. // J. Phys. France. 1992. V. 2. N 5. P. 511–515.
- [6] Matsuo T., Suga H., David W.I.F., Ibberson R.M., Bernier P., Zahab A., Fabre C., Rassat A., Dworkin A. // Solid State Comm. 1992. V. 83. N 9. P. 711–715.

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН  
Санкт-Петербург  
Институт геологии РАН  
Петрозаводск

Поступило в Редакцию  
30 августа 1993 г.