

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-44-64-69>

## СВОЙСТВА УГЛЕРОДНОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ, ПОЛУЧЕННОГО В ПЛАЗМЕ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

*Кузнецов В.Г., Курбанов Т.А.*

*Институт проблем машиноведения Российской академии наук,  
Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** вакуумная дуга, плазменный поток, углеродный порошок, фильтрация, радионуклид, сорбент, насыпная плотность.

**Аннотация.** Экспериментально исследован механизм формирования углеродных композиционных материалов на основе нанотрубок, графита и пироуглерода, основанный на разложении углеводородов под действием плазмы вакуумно-дугового разряда. Разработана технология высокотемпературного синтеза пиролитического углерода отличающаяся простотой реализации, пониженной температурой разложения углеводородов и высокой скоростью его осаждения. На основе данных композиций углеродных материалов получен принципиально новый сорбент с высокими свойствами сорбции тяжелых металлов и радионуклидов. Для того чтобы определить, имеются ли в составе сорбента какие-либо функциональные группы, а также выяснить, влияет ли предэкспериментальная подготовка материала на его сорбционные свойства, были получены ИК-спектры исходного образца и образца, прошедшего предэкспериментальную подготовку.

## PROPERTIES OF CARBON POWDER MATERIAL FOR FILTERING WATER FROM RADIONUCLIDES OBTAINED IN VACUUM ARC DISCHARGE PLASMA

*Kuznetsov V.G., Kurbanov T.A.*

*Institute of Problems of Mechanical Engineering  
of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg*

**Keywords:** vacuum arc, plasma flow, carbon powder, filtration, radionuclide, sorbent, bulk density.

**Abstract.** The mechanism of formation of carbon composite materials based on nanotubes, graphite and pyrocarbon based on the decomposition of hydrocarbons under the action of vacuum arc discharge plasma has been experimentally investigated. A technology for high-temperature synthesis of pyrolytic carbon has been developed, characterized by ease of implementation, a reduced decomposition temperature of hydrocarbons and a high rate of its deposition. Based on these compositions of carbon materials, a fundamentally new sorbent with high sorption properties of heavy metals and radionuclides was obtained. In order to determine whether there are any functional groups in the sorbent, as well as to find out whether the pre-experimental preparation of the material affects its sorption properties, IR spectra of the initial sample and the sample that underwent this preparation were obtained.

Углеродные наноструктурированные материалы обладают уникальными физико-химическими свойствами и имеют значительный потенциал для применения в различных отраслях промышленности – машиностроении, авиационно-космической технике, электронике, металлургической, энергетической и нефтехимической отраслях, оборонной промышленности,

медицине и многих других. Широкое применение углеродные материалы нашли в качестве сорбентов для очистки воды от радиоактивных материалов и тяжелых металлов [1].

Принципиально новые сорбенты для фильтрации широкого спектра материалов, как из воды, так и из воздуха, могут быть получены на основе композиционных углерод-углеродных наноматериалов с использованием высокоэффективных, ресурсосберегающих, экологически чистых ионно-плазменных технологий, основанных на разложении углеводородов углеродной плазмой в реакторе на коллекторах с разной температурой разложения. Разработана технология нанесения пиролитического углерода на изделия методом плазмохимического осаждения из газовой фазы [2]. В разработанной технологии для нагрева изделий, поддержания их температуры на заданном уровне, очистки поверхности перед осаждением пироуглерода и для разложения газообразных углеводородов используется плазма вакуумно-дугового разряда с графитового катода.

Электронно-микроскопические исследования конденсата позволили установить, что материал представляет собой смесь нанотрубок, графита и пироуглерода. Конденсат истирается до нужного размера и используется в качестве порошкового углеродного сорбента (рис. 1). В ряде случаев в качестве сорбционного материала использовался вермикулит (рис. 2) с нанесенным на его поверхность пиролитическим углеродом (рис. 3).



Рис. 1. Пироуглеродный порошковый сорбент

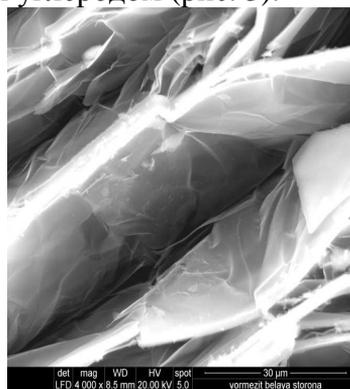


Рис. 2. Структура вермикулита

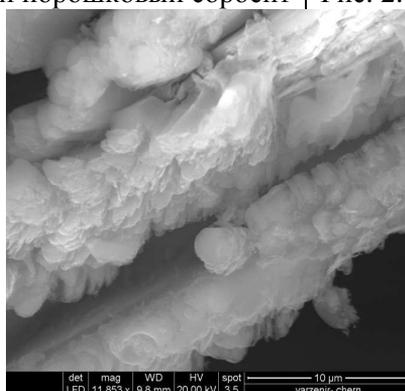


Рис. 3. Вермикулит с углеродным покрытием

Насыпная плотность порошкового сорбента определялась по массе вещества, занимающего определенный объем. Площадь удельной поверхности сорбентов определялась по их сорбционной способности по отношению к азоту и рассчитывалась по формуле [3]:

$$S_{уд} = \frac{0,1202\Delta P + 49,36}{m(81,1 + 0,034P_1)}. \quad (1)$$

ИК-спектры снимались на аппарате Shimadzu FTIR-8700 с рабочей областью 400-4000 см<sup>-1</sup>. Таблетки для ИК-спектроскопии готовились по точной навеске и содержали по 400 мг техники KBr и по 1,5 мг угольного материала. При исследовании кинетики процесса сорбции цезия и йода, а также при определении объемной статической емкости материала и изучении влияния различных условий эксперимента на значения коэффициентов распределения радионуклидов  $K_d$  использовалась методика радиометрического определения их в пробах и расчет коэффициентов их распределения между фазами.

Радиометрические измерения проводятся на сцинтилляционном  $\gamma$ -спектрометре “DeskTop InSpector” на основе NaI-детектора 51×51 мм с колодцем производства фирмы “Canberra”. Время измерения проб выбирается таким образом, чтобы погрешность измерений не превышала 5%. По результатам измерений активности водной фазы рассчитывается значение  $K_d$  в каждый измеренный момент времени по формуле:

$$K_d = \frac{(A^0 - A')}{A'} \times \frac{V}{m}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса навески углеродного материала,  $V$  – объем водной фазы,  $A^0$  и  $A'$  – активность исходной и равновесной водной фаз соответственно.

Для перевода материала в форму, удобную для дальнейших экспериментов, часть предоставленного образца была обработана следующим образом. Сначала углеродный сорбент заливается дистиллированной водой и активно встряхивается. Затем фазы расслаиваются в течение некоторого времени. Наиболее тяжелая, смачиваемая водой фракция оседает на дно воронки и отделяется. Эта фракция промывается этиловым спиртом и высушивается в течение нескольких часов. Такие манипуляции позволяют получить модифицированную форму материала, которая является более пригодной для проведения сорбционных опытов.

Так как в результате предварительной обработки материала последовательно дистиллированной водой и этиловым спиртом некоторые физико-химические характеристики могли измениться (в частности – могла уменьшиться площадь удельной поверхности образца по сравнению с исходным), ниже, в таблице 1 приведены данные, как для исходного образца, так и для той части материала, которая прошла предварительную обработку и далее использовалась для изучения процессов сорбции.

Табл. 1. Сравнение физических параметров сорбента в его исходном виде и прошедшего предварительную обработку.

Параметр	Сорбент исходный	Сорбент после обработки
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,75	0,81
Площадь удельной поверхности, м <sup>2</sup> /г	40,8	38,9

Как показывают представленные в таблице 1 данные, предварительная обработка не оказывает значительного влияния на физические параметры углеродного материала. Насыпная плотность обработанного образца по сравнению с исходным несколько выше, так как при обработке происходит выделение в отдельную фракцию наиболее крупных, частично смачиваемых водой частиц материала. Также не выявлено значительного влияния обработки материала на значение площади удельной поверхности образцов сорбента.

Для того чтобы определить, имеются ли в составе сорбента какие-либо функциональные группы, а также выяснить, влияет ли предэкспериментальная подготовка материала на его сорбционные свойства, были получены ИК-спектры исходного образца и образца, прошедшего предэкспериментальную подготовку, а также этих двух образцов, прокалённых при  $T = 300^{\circ}\text{C}$ . На рисунке 1 представлены ИК-спектры образцов сорбента, прошедших прокалывание при  $T = 300^{\circ}\text{C}$ : а – исходный образец, б – образец, прошедший предварительную обработку.

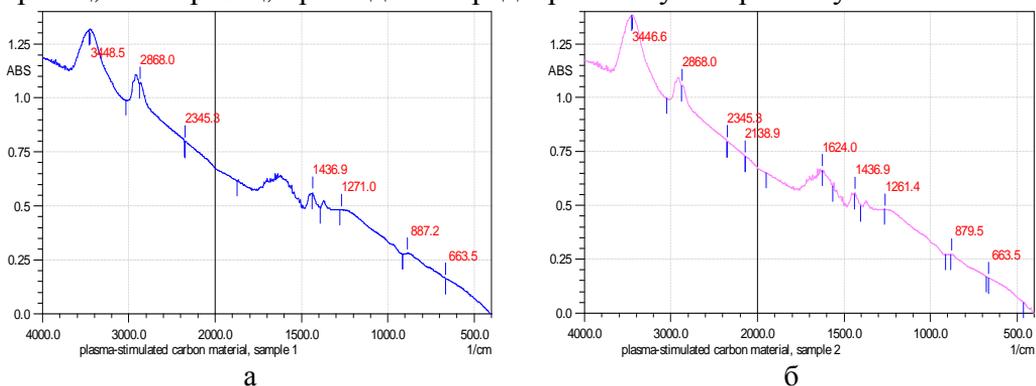


Рис. 1. ИК-спектры образцов сорбента, прошедших прокалывание при  $T = 300^{\circ}\text{C}$ : а – исходный образец, б – образец, прошедший предварительную обработку

Анализ пиков поглощения показывает наличие в обоих образцах воды. Это может быть свободная вода, находящаяся в порах материала, либо гидроксилы на его поверхности. Сравнение спектров двух образцов позволяют сказать, что в предварительно обработанном сорбенте полоса, отвечающая за образование водных полиассоциатов, несколько шире, чем в исходном, а значит, в таком образце может содержаться определенное количество свободной воды, не испарившейся в процессе сушки.

Для того чтобы сделать вывод о состоянии, в котором находится вода в образцах, было проведено прокаливание как исходного, так и предварительно обработанного при температуре 300°C образцов исследуемого материала. Вид спектров представлен на рисунке 2.

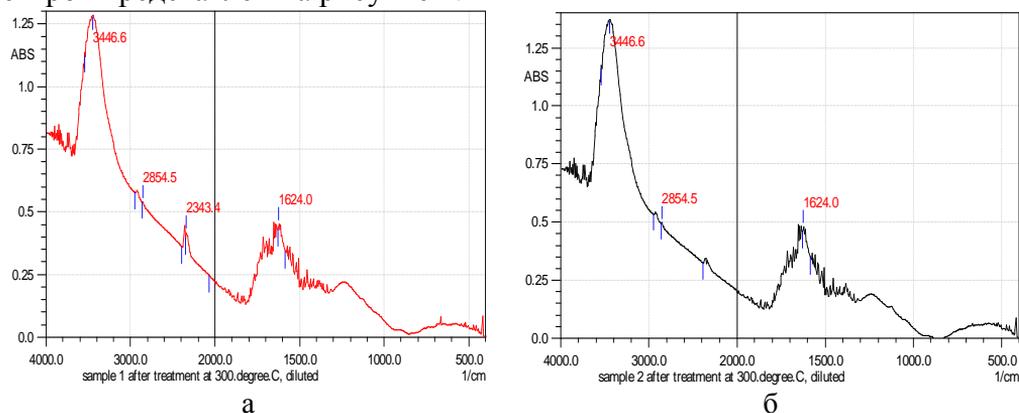


Рис. 2. ИК-спектры образцов материала сорбентов, прошедших прокаливание при  $T = 300^{\circ}\text{C}$ : а – исходный образец, б – образец, прошедший предварительную обработку

Данные ИК-спектров поглощения образцов сорбента после прокаливания показывают, что, скорее всего, идентифицируемая в образцах вода находится в микропорах материала в виде ассоциатов. Это также может быть трактовано как отсутствие в материале функциональных гидроксильных групп, отвечающих за сорбцию целевых элементов в щелочной среде.

Таким образом, одним из возможных применений исследуемого материала, с указанными выше насыпной плотностью и площадью удельной поверхности, представляется изготовление на его основе фильтров и мембран, так как он обладает достаточно выраженными гидрофобными свойствами, а также умеренной сорбционной способностью.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект №124041500007-4).

### Список литературы

1. Кузнецов В.Г., Курбанов Т.А. Разработка и создание новых плазменных технологий формирования углеродных композитных порошков и покрытий разложением углеводов под действием плазмы вакуумно-дугового разряда для решения задач медико-санитарной практики // Быстрозакаленные материалы и покрытия: Труды 21-ой Международной конференции. – М.: МАИ, 2024. – С. 200-204.
2. Патент №2759822 РФ. Способ нанесения антиэмиссионного покрытия из пиролитического углерода на сеточные электроды мощных электровакуумных приборов / В.Г. Кузнецов, Д.К. Кострин, А.С. Логвиненко, И.В. Сабуров. – Заявка №2020142407 от 21.12.2020; опублик. 18.11.2021, Бюл. №32.

3. Самойлов В.Н, Рябов А.Н. Экспресс-метод определения поверхности твёрдых веществ // Кинетика и катализ. – 1978. – Т. 19, вып. 1. – С. 250-252.

### References

1. Kuznetsov V.G., Kurbanov T.A. Development and creation of new plasma technologies for the formation of carbon composite powders and coatings by decomposition of hydrocarbons under the action of vacuum arc discharge plasma to solve problems of medical and sanitary practice // Quick-tempered materials and coatings: Proceedings of the 21st International Conference. – M.: MAI, 2024. – P. 200-204.
2. Patent No. 2759822 RU. A method for applying an anti-emission coating of pyrolytic carbon to grid electrodes of powerful electro-vacuum devices / V.G. Kuznetsov, D.K. Kostrin, A.S. Logvinenko, I.V. Saburov. – Appl. No. 2020142407 from 21.12.2020; publ. 18.11.2021, Bul. No. 32.
3. Samoilov V.N., Ryabov A.N. Express method for determining the surface of solids // Kinetics and catalysis. 1978, vol. 19, iss. 1, pp. 250-252.

<b>Кузнецов Вячеслав Геннадьевич</b> – доктор технических наук, заведующий лабораторией	<b>Kuznetsov Viacheslav Gennadievich</b> – doctor of science, head of laboratory
<b>Курбанов Тельман Айдабекович</b> – ведущий инженер kvg-ipme@yandex.ru	<b>Kurbanov Telman Aidabekovich</b> – lead engineer

*Received 31.10.2024*