



УДК 543.544

## Адсорбция аминокислот на углеродных наночастицах различных производителей

Измайлова Е.А., Бутырская Е.В., Нечаева Л.С.,  
Козлова И.В., Запрягаев С.А.

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж*

Поступила в редакцию 31.01.2017 г.

Исследованы изотермы адсорбции L-аминокислот на углеродных наночастицах. Выявлена максимальная адсорбция L-аминокислот на углеродных нанотрубках. Установлено, что изотермы адсорбции L-аминокислоты не имеют перегиба, имеют 1 плато, и, по классификации Брунауэра относятся к I типу изотерм адсорбции, следовательно, можно говорить о мономолекулярной сорбции. Предположительно, исследуемые аминокислоты адсорбируются конечными участками нанотрубок.

**Ключевые слова:** углеродные наночастицы, L-аминокислоты, адсорбция.

## Adsorption of amino acids on carbon nanoparticles of different manufacturers

Izmajlova E.A., Butyrskaya E.V., Nechaeva L. S.,  
Kozlova I.V., Zapryagaev S.A.

*Voronezh State University, Voronezh*

Carbonnanoparticles have rapidly become one of the most widely studied nanomaterials, primarily because their unique physicochemical properties and wide-ranging applications in molecular electronics, optoelectronics, drug delivery, and chemical and biological sensors, and sorption technologies. With regard to biomedical applications of CNTs, the most important prerequisite is the development of methods to immobilize biomolecules on CNTs. The adsorption and functionalization of biological molecules on CNTs are common way to realize immobilization of biological molecules. So, the understanding of the interaction mechanism between CNTs and biological molecules is mandatory for safe using of CNTs in biological applications. Amino acids are an elementary unit for composing biomolecules and can also reflect the common chemical properties of complicated biomolecules. So, the interaction between CNTs and amino acids is very important for understanding the interaction mechanism between CNTs and biomolecules.

In this article, the adsorption isotherms of L-amino acids (lysine, arginine) from aqueous solutions by carbon nanoparticles were constructed. It was found that arginine adsorption by fullerene C60 and CNT MKNanoP5000 is more effective than lysine adsorption. For the CNT MKNanoS1 and CNTs DEALTOM adsorption of the lysine is more efficient than arginine one. Adsorption isotherms were described by the equations of Langmuir and Freundlich.

**Keywords:** amino acid, carbon nanotubes, adsorption.

### Введение

Углеродные наночастицы (УНЧ) принадлежат к числу перспективных наноматериалов и продолжают привлекать пристальное внимание исследователей многих стран мира. Наряду с фуллеренами, углеродные нанотрубки образуют новый

класс углеродных наноматериалов, или углеродных каркасных структур со свойствами, которые значительно отличаются от других форм углерода, таких как графит и алмаз. Поскольку углеродные наночастицы открыты сравнительно недавно, сведения об их адсорбционных свойствах в литературе недостаточны, несистематизированы и неполны, что обуславливает актуальность данного исследования [1-3]. Цель настоящей работы состоит в исследовании адсорбции аминокислот на углеродных наночастицах различных производителей.

## Эксперимент

В качестве сорбатов были выбраны L-лизин и L-аргинин, а в качестве сорбентов – фуллерен C<sub>60</sub> (Санкт – Петербург), УНТ DEALTOM (Москва), MKNanoS1, MKNanoP5000 (Канада). Для получения устойчивых суспензий углеродных наночастиц в водных растворах была использована их ультразвуковая обработка.

Построение изотерм проводили методом переменных концентраций в сочетании с объемным методом измерения адсорбции при pH~5.5. К 0.01 г УНЧ добавляли водные растворы аминокислот различных концентраций, так, чтобы объем жидкости над сорбентом равнялся 20 см<sup>3</sup>. Полученные суспензии обрабатывали ультразвуком, и оставляли в шейкере-инкубаторе при непрерывном перемешивании на 6 часов. В ходе исследования кинетики установлено, что максимальная величина адсорбции наблюдается через 19 часов контакта L - аргинина с углеродными наночастицами MKNanoP5000, MKNanoS1 (Канада), DEALTOM (Москва), фуллерен C<sub>60</sub> (Санкт – Петербург) и через 17 часов контакта L-лизина с УНЧ. Затем полученные суспензии центрифугировали. Концентрацию аминокислоты в супернатанте определяли спектрофотометрически.

## Обсуждение результатов

Изотермы адсорбции представлены на рисунках 1-4. Анализ изотерм показал, что: -адсорбция L-лизина и L-аргинина максимальна при использовании в качестве сорбента УНТ MKNanoP5000 (рис.1);

-для УНТ DEALTOM и MKNanoS1 адсорбция лизина более эффективна, чем аргинина (рис.2,3);

- для фуллерена C<sub>60</sub> и УНТ MKNanoP5000 адсорбция аргинина более эффективна, чем адсорбция лизина (рис. 1-4).

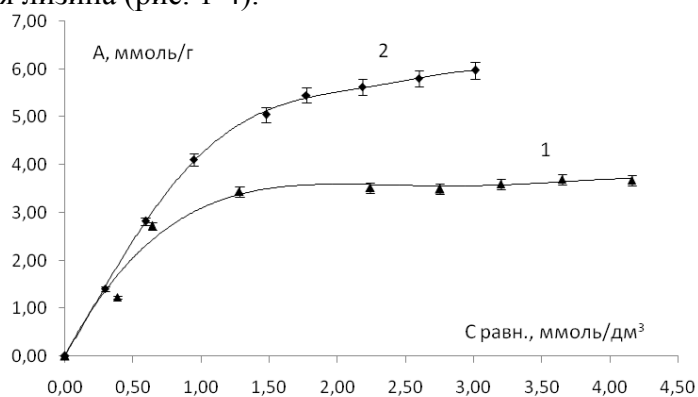


Рис. 1. Изотермы адсорбции L- лизина(1) и L-аргинина (2) на углеродных нанотрубках MK Nano P5000

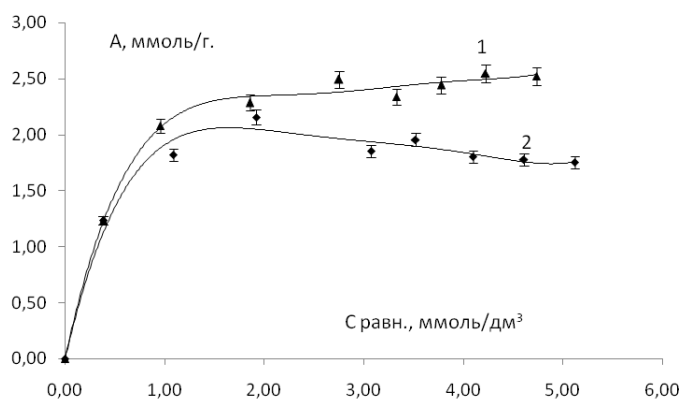


Рис. 2. Изотермы адсорбции L-лизина(1) и L-аргинина (2) на углеродных нанотрубках МК Nano S1

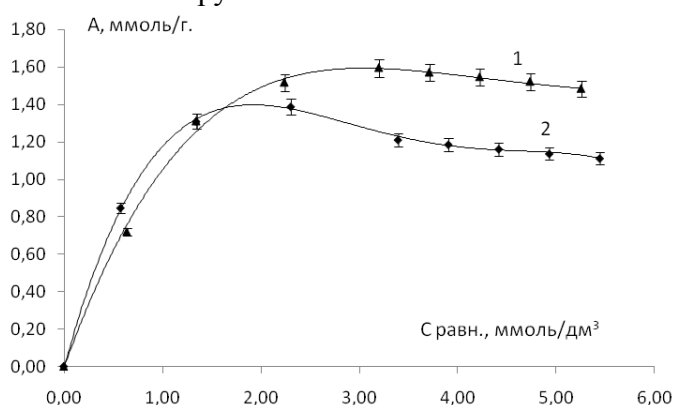


Рис. 3. Изотермы адсорбции L-лизина(1) и L-аргинина (2) на углеродных нанотрубках DEALTOM (Москва)

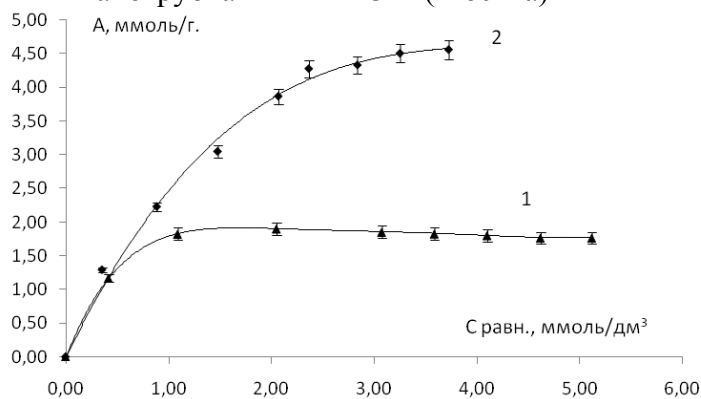


Рис. 4. Изотермы адсорбции L-лизина(1) и L-аргинина (2) на фуллерене C<sub>60</sub> (Санкт – Петербург)

Из рис. 1-4 видно, что изотермы адсорбции L-аргинина и L-лизина имеют одно плато, и, по классификации Брунауэра, относятся к I типу изотерм адсорбции, следовательно, можно говорить о мономолекулярной сорбции.

Изотермы адсорбции L-аргинина и L-лизина количественно описаны уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха. По линеаризованным формам уравнений рассчитаны величины предельной адсорбции, констант и коэффициентов корреляции ( $R^2$ ). Результаты приведены в табл. 1.

Значения коэффициентов корреляции линеаризованных уравнений показывают, что адсорбция L-аргинина и L-лизина с большой вероятностью описывается теорией мономолекулярной адсорбции Ленгмюра.

Таблица 1. Параметры адсорбции L-аргинина и L-лизина углеродными нанотрубками, рассчитанные с использованием уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха.

Система	Параметры	
	изотерма Ленгмюра	изотерма Фрейндлиха
L-аргинин + УНТ Mknano MWCNT P5000, Канада	$A_{\infty}=9.764$ ммоль/г $K_L=0.011$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.993$	$K_F=3.565$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=1.653$ $R^2=0.921$
L-лизин + УНТ Mknano MWCNT P5000, Канада	$A_{\infty}=5.291$ ммоль/г $K_L=0.025$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.990$	$K_F=2.449$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=2.732$ $R^2=0.825$
L-аргинин + УНТ Mknano MWCNT S1, Канада	$A_{\infty}=2.012$ ммоль/г $K_L=0.065$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.987$	$K_F=1.603$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=8.445$ $R^2=0.758$
L-лизин + УНТ Mknano MWCNT S1, Канада	$A_{\infty}=2.849$ ммоль/г $K_L=0.046$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.995$	$K_F=1.766$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=3.922$ $R^2=0.872$
L-аргинин + УНТ DEALTOM (Москва)	$A_{\infty}=1.292$ ммоль/г $K_L=0.101$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.991$	$K_F=1.067$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=12.048$ $R^2=0.930$
L-лизин + УНТ DEALTOM (Москва)	$A_{\infty}=2.037$ ммоль/г $K_L=0.064$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.923$	$K_F=1.005$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=3.135$ $R^2=0.748$
L-аргинин + фуллерен C <sub>60</sub> (Санкт – Петербург)	$A_{\infty}=6.289$ ммоль/г $K_L=0.021$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.990$	$K_F=2.399$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=1.776$ $R^2=0.881$
L-лизин + фуллерен C <sub>60</sub> (Санкт – Петербург)	$A_{\infty}=1.988$ ммоль/г $K_L=0.065$ см <sup>3</sup> /ммоль $R^2=0.858$	$K_F=1.528$ (см <sup>3</sup> <sup>1/n</sup> ·м моль <sup>1-1/n</sup> )/г $n=7.246$ $R^2=0.565$

## Заключение

Построены изотермы адсорбции L-аргинина и L-лизина на фуллерене C<sub>60</sub> и углеродных нанотрубках MKNanoP5000, MKNanoS1, DEALTOM. Наибольшей адсорбционной способностью к указанным аминокислотам обладают УНТ MKNanoP5000. Количественное описание построенных изотерм с помощью уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха показывает, что адсорбция L-аргинина и L-лизина с большей вероятностью описывается теорией мономолекулярной адсорбции Ленгмюра.

*Работа поддержана ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России»*

на 2014-2020 годы», соглашение № 14.574.21.0112 от 21.10.2014, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57414X0112.

## References

1. Tersoff J., *Phys. Rev. Lett.*, 1986, Vol. 56, pp. 632.
2. Che J., Cagin T., Goddard W.A., *Nanotechnology*, 1999, Vol. 10, pp. 263-268.
3. Stewart J.J.P., *J. Comp. Chem.*, 1989, Vol. 10, pp. 209-220.
4. Jorgensen W.L., Maxwell D.S., *J. Am. Chem. Soc.*, 1996, Vol. 117, pp. 112-115.

**Бутырская Елена Васильевна** – профессор, д.х.н. кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж

**Измайлова Екатерина Анатольевна** – аспирант кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж

**Нечаева Людмила Станиславовна** – научный сотрудник кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж

**Козлова Илона Васильевна** – магистр кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета, Воронеж

**Запрыгаев Сергей Александрович** – профессор кафедры цифровых технологий Воронежского государственного университета, Воронеж

**Butyrskaya Elena V.** - Doctor of chemical sciences, professor of department of analytical chemistry, chemical faculty, Voronezh State University, Voronezh

**Izmajlova Ekaterina A.** – Post-graduate Student, Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, e-mail: [Ekaterina.izmajlova@mail.ru](mailto:Ekaterina.izmajlova@mail.ru)

**Nechaeva Lyudmila S.** - researcher at the Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh.

**Kozlova Iona V.** - Master of the Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh

**Zapryagaev Sergey A.** - Professor of the Department of digital technology, Voronezh State University, Voronezh.