

БРОХОСОМЫ – БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУЛЛЕРЕНЫ

Войтеховский Ю.Л.^{1,2}, Степенщиков Д.Г.²

¹ Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург,
voytekhovskiy_yul@pers.spmi.ru

² Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, stepen@geoksc.apatity.ru

Ранее авторы писали о биологических объектах, явно или неявно использующих структуру фуллера – выпуклого полиэдра, на котором разрешены лишь 5- и 6-угольные грани, сходящиеся по три в каждой вершине: капсидах икосаэдрических вирусов, ценобиях вольвоксовых водорослей, пыльце некоторых цветочных растений, скелетах некоторых радиолярий... Брохосомы – ещё один пример биологических фуллеренов.

Брохосомы (от др.-греч. βρόχος – ячея сети и σωμα – тело) – квазисферические полые пористые образования размером 0.2-0.7 мкм (рис. 1), выделяемые полужесткокрылыми насекомыми семейства цикадок (Cicadellidae). Установлены с помощью электронного микроскопа в начале 1950-х на теле насекомых и в каплях воды после контакта с ними. Состоят из белков с участием липидов. Механизм формирования брохосом до конца не выяснен, назначение – тоже. Предположительно, насекомые наносят их на тело и кладки яиц, делая их гидрофобными и тем самым предохраняя от загрязнения [1-4].

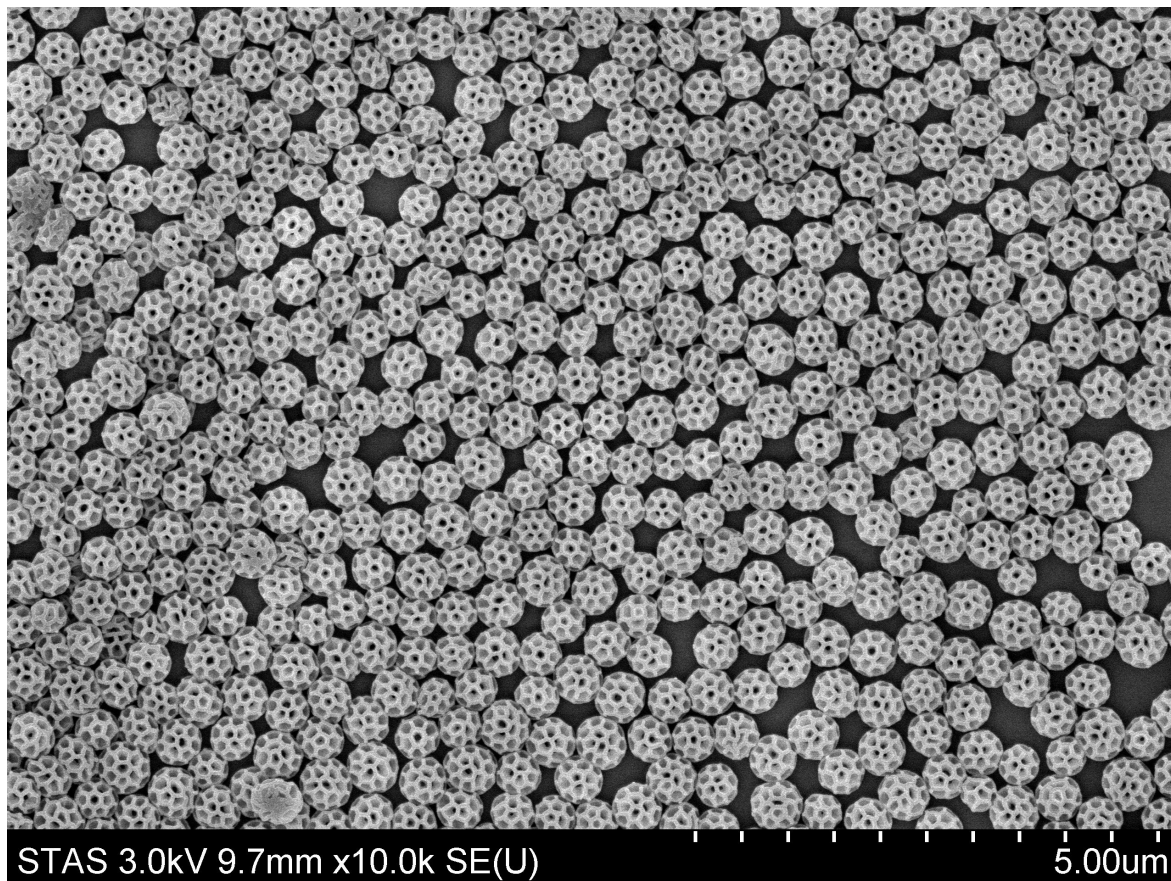


Рис. 1. Брохосомы, съёмка в сканирующем электронном микроскопе [3].

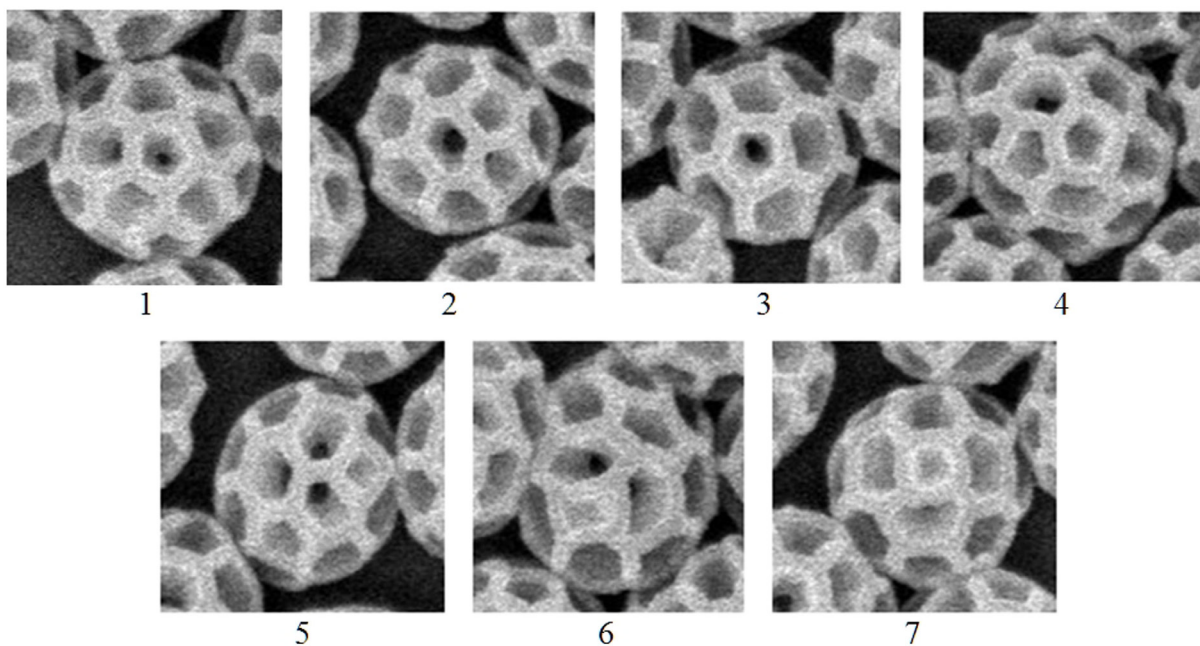


Рис. 2. Некоторые формы брохосом: 1 – «фуллерен C_{60} », 2-4 – брохосомы со смежными пентагональными ячейками, 5-7 – брохосомы с тетрагональными ячейками.

В описаниях брохосом обычно указывают, что они представляют собой усечённый икосаэдр, то есть фуллерен C_{60} [5]. Но анализ рис. 1 показывает, что это утверждение не точно. Действительно, некоторые формы соответствуют фуллерену C_{60} (рис. 2). Можно утверждать, что большая часть квази-сферических брохосом отвечает фуллеренам при некотором диапазоне числа граней и морфологических типов. Последнее следует из того, что на некоторых брохосомах 5-угольные ячейки (условные грани) контактируют, тогда как на других – не контактируют друг с другом. Есть формы, на которых различимы 4-угольные ячейки. Они заведомо не отвечают фуллеренам, но их мало (рис. 2).

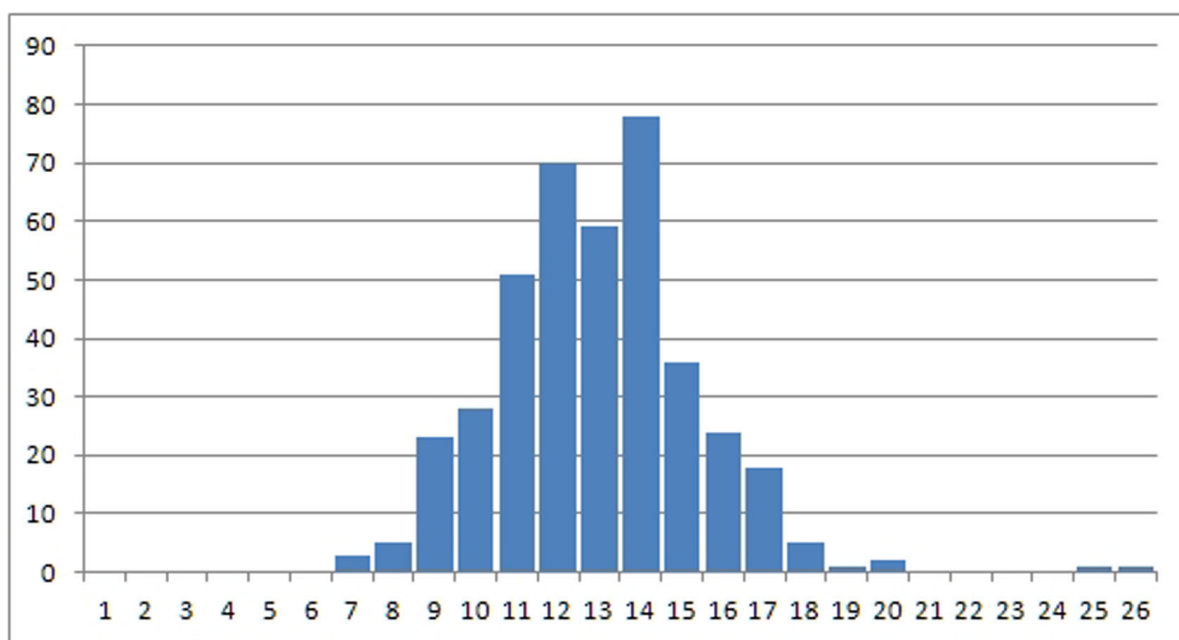


Рис. 3. Зависимость числа брохосом от числа видимых полигональных ячеек (см. табл.).

Результаты подсчёта форм на рис. 1 даны в таблице и на рис. 3. Число ячеек-граней подсчитано лишь с видимой стороны полиэдров. Переход к замкнутой форме содержит условность, так как не ясно, есть ли по периметру видимой полусферы грани, перпендикулярные плоскости изображения. Иначе говоря, получается ли общее число граней простым удвоением числа видимых граней. Если предположить, что преобладающая форма брохосом отвечает фуллерену C_{60} , то общее число граней должно быть 32. Делением на два получаем 16, что не отвечает гистограмме (рис. 3). И следует допустить, что есть грани, перпендикулярные плоскости изображения. Для самых частых чисел полигональных ячеек ситуация выглядит следующим образом: $12 \times 2 + 8 = 13 \times 2 + 6 = 14 \times 2 + 4 = 32$. Доказательное выяснение ситуации возможно прямым изучением форм под микроскопом.

Таблица. Зависимость числа брохосом (всего 405) от числа видимых полигональных ячеек.

Число видимых полигональных ячеек	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	26
Число брохосом	3	5	23	28	51	70	59	78	36	24	18	5	1	2	1	1

Главный результат исследования состоит в установлении широкого диапазона числа граней на квази-сферических брохосомах, действительно большей частью принадлежащих к морфологическому типу фуллеренов, даже для одного вида цикадок. Это открывает перспективы дальнейших исследований, например, в установлении диапазонов и модальных значений частот морфологических типов брохосом для разных биологических видов в разных экологических условиях.

Авторы благодарят Р.А. Ракитова (Палеонтологический институт РАН, Москва), обратившего их внимание на этот удивительный объект.

Список литературы

1. Rakitov R.A. Brochosomal coatings of the integument of leafhoppers (Hemiptera, Cicadellidae) // S.N. Gorb (ed.). *Functional Surfaces in Biology*. 2009. V. 1. P. 113-137. ISBN 978-1-4020-6696-2.
2. Rakitov R.A. Contamination as the cause of erroneous records of brochosomes // *Psyche*. 2011. DOI: 10.1155/2011/767963.
3. Rakitov R., Gorb S.N. Brochosomal coats turn leafhopper (Insecta, Hemiptera, Cicadellidae) integument to superhydrophobic state // *Proc. Royal Soc. B* 7. Febr. 2013. V. 280. DOI: 10.1098/rspb.2012.2391.
4. Rakitov R., Gorb S.N. Brochosoms protect leafhoppers (Insecta, Hemiptera, Cicadellidae) from sticky exudates // *J. Royal Soc. Interface*. 2013. V. 10. DOI: 10.1098/rsif.2013.0445.
5. Дубов А. Химики подсмотрели у цикад «выключающие» отражение наночастицы [сайт] URL: <https://nplus1.ru/news/2017/11/03/synthetic-brochosomes>.