

Лицей №1586

## Эффект геккона и роботы будущего

*Автор: Никитина Татьяна*

*Руководитель: Евграфов В.В.*

## АННОТАЦИЯ

Природа создает свои творения с максимальной эффективностью. Оригинальность, необычность, безупречная точность и экономия ресурсов, с которой природа решает свои задачи просто не может не вызывать восхищения и желания хоть в какой-то мере скопировать эти удивительные вещества и процессы.

**Цель нашей работы** - создание робота, который мог бы передвигаться по вертикальным поверхностям, с помощью материала с характеристиками приближенными к свойствам лапок геккона.

Наука, которая занимается сознательным имитированием элементов живой природы при создании новых устройств и технологий называется биомиметикой.

Гекконы, или цепкопалые (лат. *Gekkonidae*) — обширное семейство небольших и средней величины весьма своеобразных ящериц. Они могут удерживаться практически на любой поверхности. Им нипочем крутые склоны. Они проворно взбираются по гладкой стене со скоростью 1 м за секунду. Гекконы даже умеют бегать по потолку из полированного стекла. При этом, находясь на стене, гекконы могут поддерживать вес тела всего одной лапкой.

При помощи специальных инструментов исследователи из нескольких американских университетов установили, что поверхность ступни геккона Токи площадью 1 см<sup>2</sup> способна выработать силу сцепления в 10 Н (что соответствует 1 кг). Теоретически, 6 миллионов щетинок геккона могут генерировать силу, достаточную для удержания навесу двух человек. Таким образом, геккону достаточно использовать всего пару процентов своих щетинок для удержания на поверхности.

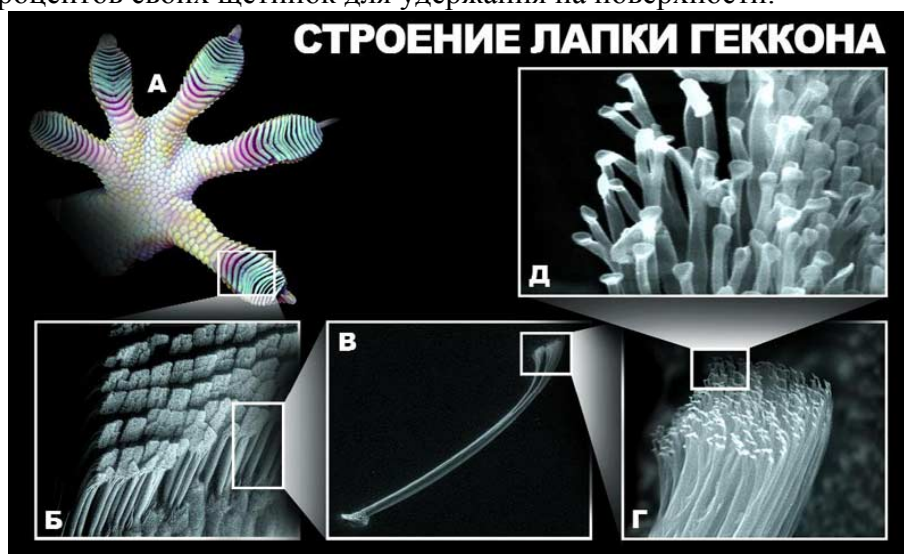


Рисунок. Строение лапок геккона - фотографии с электронного микроскопа.

**Б.** Фотография щетинок геккона. Плотность размещения на пальцах достигает 14400 щетинок на 1 мм<sup>2</sup> или около 1,5 миллиона на см<sup>2</sup>.

**В.** Фотография одной щетинки геккона. Ее длина составляет всего 100 микрометров или 0,1 миллиметра (две толщины человеческого волоса). Каждая щетинка на конце разветвляется в 400-1000 ответвлений для увеличения площади близкого контакта с поверхностью.

**Г.** Фотография ответвления на конце щетинки. Каждое ответвление заканчивается на конце треугольной лопаточкой. Эти лопаточки невообразимо крохотные и составляют в ширину всего 0,2 микрометра.

На основе материала, который будет соответствовать структуре покрытия подушечек геккона можно создать роботов, которые смогут передвигаться по вертикальным поверхностям. Одним из таких роботов является сконструированный нами робот *Рокко*, который сможет передвигаться по вертикальным стеклянным стенам многоэтажных зданий. На робота можно будет ставить различные манипуляторы.

## ВВЕДЕНИЕ

Природа создает свои творения с максимальной эффективностью. Оригинальность, необычность, безупречная точность и экономия ресурсов, с которой природа решает свои задачи просто не может не вызывать восхищения и желания хоть в какой-то мере скопировать эти удивительные вещества и процессы.

**Цель нашей работы** - создание робота, который мог бы передвигаться по вертикальным поверхностям, с помощью материала с характеристиками приближенными к свойствам лапок геккона.

Наука, которая занимается сознательным имитированием элементов живой природы при создании новых устройств и технологий называется биомиметикой.

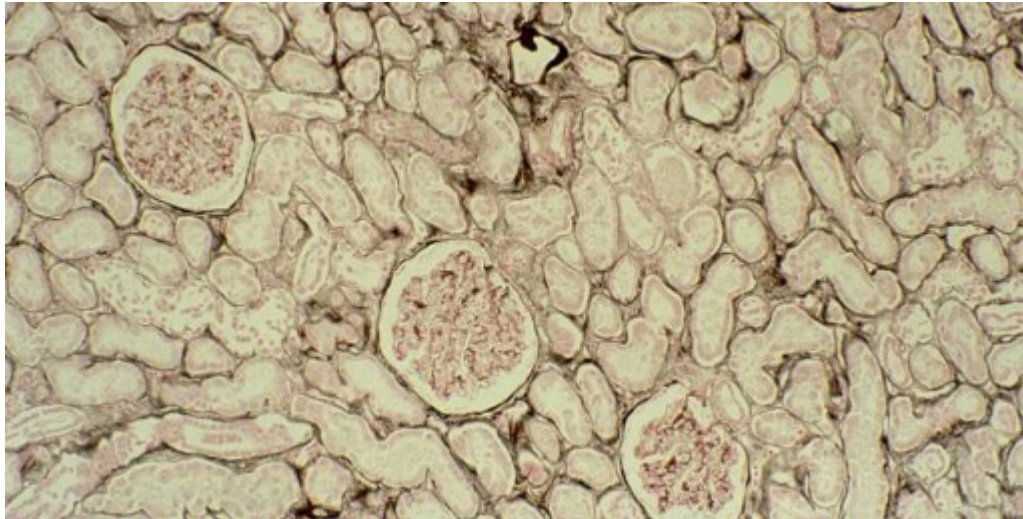
### Морской огурец



Так были созданы полимерные биомедицинские материалы, при создании которых использован принцип оболочки голотурии. В 2008 году ученые, работающие в Кливлендском Западном резервном университете Кейза (Case Western Reserve University), заинтересовались созданием нового медицинского материала, который обладал бы свойствами внешней оболочки животного голотурии (или морского огурца). Морские огурцы обладают уникальной чертой – они могут менять твердость коллагена, формирующего внешний покров их тела. А именно: они в состоянии менять его жесткость. Когда морской огурец чувствует опасность, он многократно увеличивает жесткость своей кожи, как будто покрываясь панцирем; и наоборот, если ему нужно протиснуться в очень узкую щель, он может настолько ослабить связи между элементами своей кожи, что она практически превращается в текучий студень. Группе ученых из Case Western Reserve удалось создать материал на основе целлюлозных волокон, обладающий похожими свойствами: в присутствии воды этот материал становится пластичным, а при ее испарении вновь затвердевает. Ученые считают, что такой материал наиболее пригоден для производства внутримозговых электродов, которые применяются, в частности, при лечении болезни Паркинсона. При вживлении в мозг электрод из такого материала будет становиться пластичным, и не будет дополнительно повреждать мозговую ткань.

### Пневмоклетки для надувной архитектуры

Молодой австралийский архитектор Томас Херциг (Thomas Herzog) считает, что перед надувной архитектурой открываются огромные возможности. По его мнению, надувные конструкции намного эффективнее традиционных, благодаря своей легкости и минимальному расходу материалов. Причина кроется в том, что растягивающее усилие действует только на гибкую мембрану, в то



время как усилию сжатия противостоит другая эластичная среда - воздух, которая присутствует повсюду и совершенно бесплатно. Благодаря этой эффективности природа использует подобные конструкции уже миллионы лет. Каждое живое существо состоит из клеток. Поэтому идея собирать архитектурные конструкции из модулей-пневмоклеток (эти клетки сделаны из ПВХ) основывается на принципах биологических клеточных структур. Эти запатентованные Томасом Херцигом клетки обладают очень низкой стоимостью и позволяют создавать практически неограниченное количество комбинаций. При этом повреждение одной или даже нескольких пневмоклеток не приводит к разрушению всей конструкции.

### **Полимер, работающий по принципу венериной мухоловки**



Стоит только насекомому коснуться ловчего листа хищного растения Венериной мухоловки, как форма листа немедленно начинает меняться, и насекомое оказывается в смертельной ловушке. Альфреду Кросби (Alfred Crosby) и его коллегам из Амхерстского университета (штат Массачусетс) удалось создать полимерный материал, который в состоянии подобным образом реагировать на малейшие изменения давления, температуры, либо под воздействием электрического тока. Поверхность этого материала покрывают микроскопические, заполненные воздухом линзы, которые могут очень быстро менять свою кривизну (становиться выпуклыми или вогнутыми) при изменении давления, температуры, либо под воздействием тока. Размер этих микролинз варьируется от 50 мкм до 500 мкм. Чем меньше сами линзы и расстояние между ними, тем с большей скоростью материал реагирует на внешние изменения. МакГи говорит, что особенностью данного материала является то, что он создан на стыке микро- и нанотехнологий.

## СЕКРЕТ ГЕККОНА

Гекконы, или цепкопалые (лат. *Gekkonidae*) — обширное семейство небольших и средней величины весьма своеобразных ящериц. Цепкопалыми гекконов прозвали за их способность передвигаться по вертикальным поверхностям. Эти маленькие создания вызывают наше восхищение своим умением удерживаться практически на любой поверхности. Им нипочем крутые склоны. Они проворно взбираются по гладкой стене со скоростью 1 м за секунду. Гекконы даже умеют бегать по потолку из полированного



Рис. 1. Геккон.

стекла. При этом, находясь на стене, гекконы могут поддерживать вес тела всего одной лапкой. Стоит ему только прицепиться и он может висеть в таком состоянии очень долго.

### Поиск ответа

Секрет прилипания гекконов стал темой для многих научных исследований. Поиск разгадки занял почти 100 лет.

Поскольку у гекконов нет желез, выделяющих секрецию, то теория о клейких веществах отпала изначально. Вот некоторые из гипотез:

**Присасывание.** Присоски работают благодаря тому, что давление воздуха на одной стороне не уравнивается, если на другой стороне есть вакуум. Лапки геккона могут прилипнуть к поверхности в вакууме, где нет давления воздуха, поэтому присасывание не может быть объяснением.

**Электростатическое притяжение.** Оно возникает между электрически заряженными объектами. Но когда ученые создали условия, при которых любой заряд исчезал, лапки геккона все равно прилипали.

**Трение.** Но белок (кератин), который вырабатывается в коже геккона, — оказывается слишком "скользким". К тому же, трение не может объяснить передвижение по потолку.

**Сцепление между шероховатыми поверхностями.** Но гекконы могут прилипнуть даже к полированному стеклу.

### Разгадка

Совсем недавно ученые открыли, что благодаря близкому контакту щетинок, которые покрывают лапки геккона, и поверхности, начинают действовать связи ближнего взаимодействия между молекулами, т.е. они прилипают посредством сил Ван-дер-Ваальса, названных так в честь голландского физика в конце 19 века. На волосках геккона находятся диполи. Диполи на лапке геккона взаимодействуют с диполями на поверхности — так возникают силы Ван-дер-Ваальса, которые обеспечивают эффект «прилипания».

Наиболее часто энергию Ван-дер-Ваальсова взаимодействия двух атомов, находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга, аппроксимируют степенной функцией - потенциалом Леннарда-Джонса (рис.2):

$$U_{LD}(r) = U_0 \left\{ -2 \left( \frac{r_0}{r} \right)^6 + \left( \frac{r_0}{r} \right)^{12} \right\}$$

Первое слагаемое в данном выражении описывает дальнедействующее притяжение, обусловленное, в основном, диполь - дипольным взаимодействием атомов. Второе слагаемое учитывает отталкивание атомов на малых расстояниях. Параметр  $r_0$  - равновесное расстояние между атомами,  $U_0$  - значение энергии в минимуме. При  $r < r_0$  действуют силы отталкивания, а при  $r > r_0$  - Ван-дер-Ваальсовы силы притяжения.

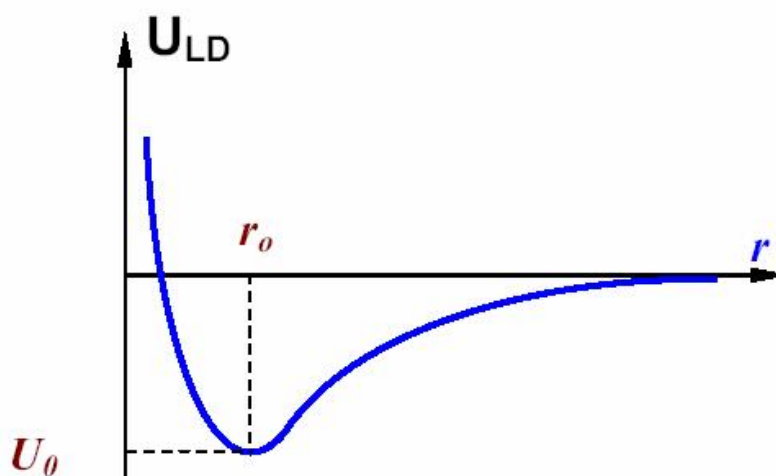


Рис. 2 . Качественный вид потенциала Леннарда – Джонса.



Рис. 3. Фотография лапки геккона.

Силы Ван-дер-Ваальса действуют на очень маленьких расстояниях (между молекулами). Они резко уменьшаются при увеличении расстояния между поверхностями. Очевидно, что чтобы такая слабая сила удерживала геккона на вертикальной стене, необходима огромная площадь контакта между лапкой геккона и поверхностью.

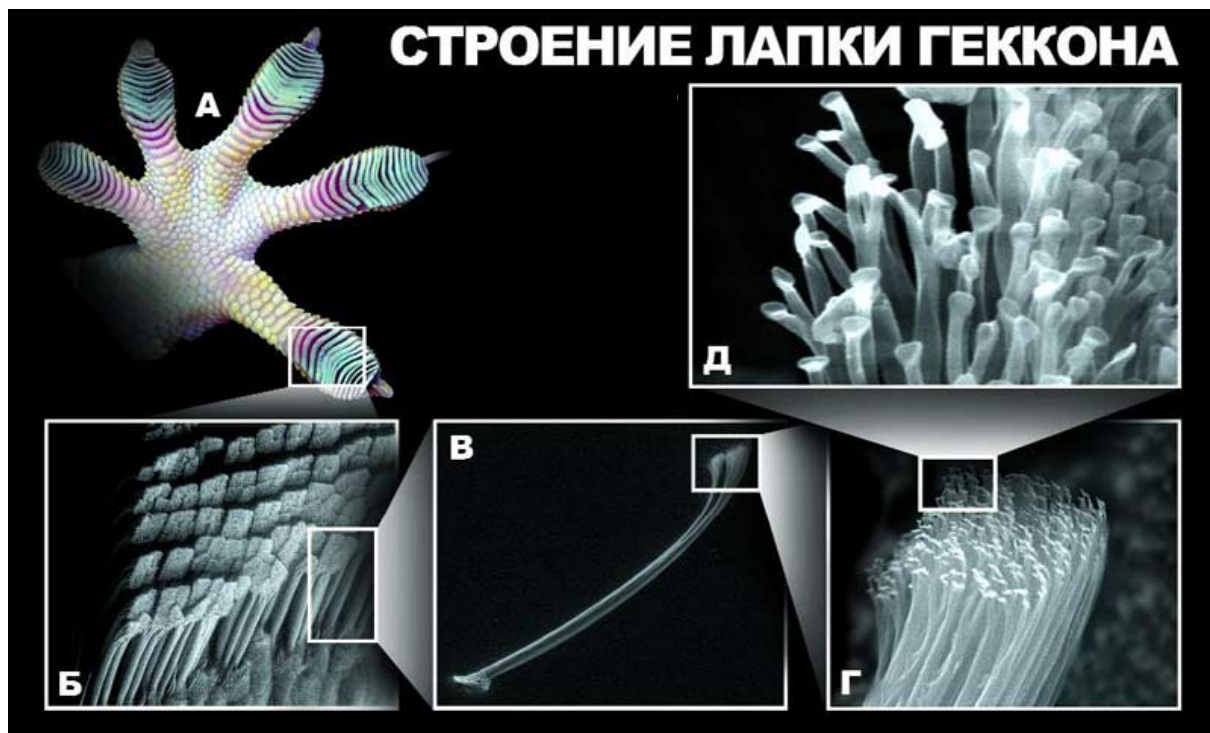


Рис.4 Строение лапок геккона - фотографии с электронного микроскопа.

*Б.* Фотография щетинок геккона. Плотность размещения на пальцах достигает 14400 щетинок на  $1 \text{ мм}^2$  или около 1,5 миллиона на  $\text{см}^2$ .

*В.* Фотография одной щетинки геккона. Ее длина составляет всего 100 микрометров или 0,1 миллиметра (две толщины человеческого волоса). Каждая щетинка на конце разветвляется в 400-1000 ответвлений для увеличения площади близкого контакта с поверхностью.

*Г.* Фотография ответвления на конце щетинки. Каждое ответвление заканчивается на конце треугольной лопаточкой. Эти лопаточки невообразимо крохотные и составляют в ширину всего 0,2 микрометра.

Строение лапок геккона обеспечивает такую возможность. На рис 4 показаны фотографии с электронного микроскопа. Они обнаружили, что на его пальцах находятся очень тонкие волоски (щетинки), длиной всего 100 микрометров или 0,1 миллиметра (две толщины человеческого волоса). Они очень плотно размещены - до 14400 щетинок на  $1 \text{ мм}^2$  или около 1,5 миллиона на  $\text{см}^2$  (рис. 4б). Каждая щетинка, в свою очередь, на конце расходуется в 400-1000 ответвлений. (Рис 4в). Каждое ответвление заканчивается на конце треугольной лопаточкой (Рис 4г, 4д). Эти лопаточки составляют в ширину всего 0,2 микрометра (200 нм). Лапка геккона, благодаря плотному размещению щетинок и их разделению (на конце) до тысячи разветвлений, имеет большую площадь близкого контакта, а значит и большую силу прилипания (силы Ван-дер-Ваальса). Именно геометрия, а не химический состав поверхности, дает возможность геккону удерживаться даже на потолке.

### Новые материалы.

При помощи специальных инструментов исследователи из нескольких американских университетов установили, что поверхность ступни геккона Токи площадью  $1 \text{ см}^2$  способна выработать силу сцепления в 10 Н (что соответствует 1 кг). Теоретически, 6 миллионов щетинок геккона могут генерировать силу, достаточную для удержания навесу двух человек. Таким образом, геккону достаточно использовать всего пару процентов своих щетинок для удержания на поверхности.

Еще одно интересное свойство заключается в том, что лапки геккона самоочищаются. В отличие от клейкой ленты, на которую быстро налипает грязь, приводя

ее в полную негодность. Исследователи до сих пор пытаются понять, как геккону это удается.

Удивительные свойства лапок геккона вдохновляют ученых на разработку необычайно эффективного способа сухой адгезии. Так, несколькими группами ученых были разработаны материалы, частично копирующие подошву лап геккона. В последней работе ученые создали нанотрубки, концы которых, по их словам, напоминают спагетти или вьющиеся ветви винограда, что позволило значительно увеличить эффект прилипания.

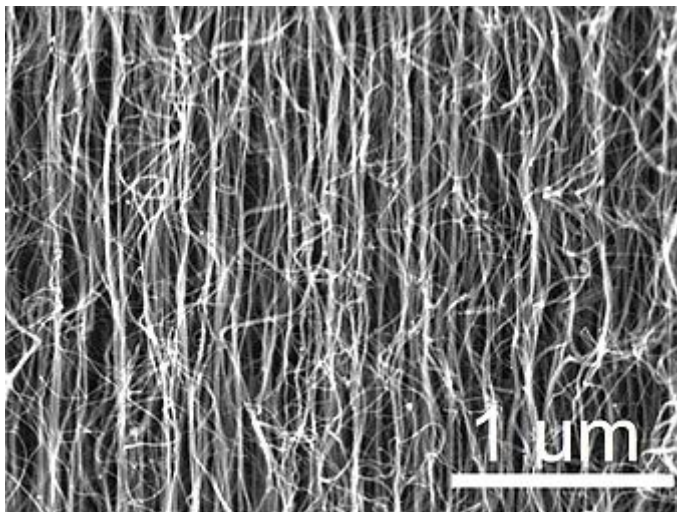


Рис. 5. Фотография нанотрубок, использованных для создания нового материала, полученная с помощью электронного микроскопа. Фото авторов исследования.

Тесты, проведенные на различных типах поверхностей, начиная от стекла и заканчивая наждачной бумагой, показали, что новый материал развивает максимальное усилие сцепления около  $100 \text{ Н на см}^2$ .

Одним из актуальных направлений исследований в этой области является разработка медицинских пластырей.



# РОБОТ РОККО

## Описание

Используя эффект геккона можно создавать различных роботов, которые будут использовать данные материалы для самостоятельного передвижения и для поднятия различных грузов.

На основе материала, который будет соответствовать структуре покрытия подушечек геккона можно создать роботов, которые смогут передвигаться по вертикальным поверхностям. Одним из таких роботов является сконструированный нами робот *Рокко*, который сможет передвигаться по вертикальным стеклянным стенам многоэтажных зданий и мыть окна.

Плюсы такого робота заключаются в том, что

- 1) робот сможет передвигаться по всем поверхностям (кроме тефлона);
- 2) ему не страшна влага и грязь;
- 3) он способен к работе в любое время года.

Минусы заключаются в том, что

- 1) поднимающая возможность ограничена;
- 2) робот может смывать лишь поверхностную грязь.

За основной материал приближенному к материалу геккона мы использовали липкий коврик (от компании «31 век»). Собой робот представляет платформу на гусеничном ходу. Для увеличения поверхности взаимодействия робота и поверхности, было принято решение сделать одну широкую гусеницу. На робота можно будет ставить различные манипуляторы для уборки пыли, мытья окон и т.п.

## Литература

1. *Геккон - необыкновенное животное.* ([http://animalworld.com.ua/news/news\\_695](http://animalworld.com.ua/news/news_695))
2. Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae. (<http://www.pnas.org/content/99/19/12252.abstract>)
3. В. Грачёв. *Гекконы* . (<http://www.paludarium.ru/statya/terra11.htm>)
4. *Наноазбука* (под редакцией Третьякова) Наноструктуры с. 214-216.