

Фируза Мамедова,  
Ксения Федосова



# КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДНК

Наверняка вы слышали про нанотехнологии. А знаете ли вы, что означает «нано»? Приставка «нано-» образовалась от древнегреческого слова «νᾶνος», которое переводится как «карлик». Она указывает, что объект имеет размер порядка сотысячной доли миллиметра. Не во всякий микроскоп его разглядишь. Уж тем более сложно сконструировать из столь малых объектов что-то полезное. А что если заставить эти объекты собираться самостоятельно? Оказывается, для этого существует подходящий наноматериал, который давно известен из биологии.

В каждой клетке нашего тела есть особая молекула – ДНК. Её полное название – *дезоксирибонуклеиновая кислота*. В ней содержится вся информация о нашем теле. В ДНК зашифровано, например, будут ли наши глаза серыми или голубыми, рост – высоким или низким, волосы – курчавыми или прямыми. У каждого человека своя уникальная молекула ДНК, по которой его можно отличить от других людей. Более того, своей собственной молекулой ДНК обладает каждый живой организм, например, пингвин или картошка.

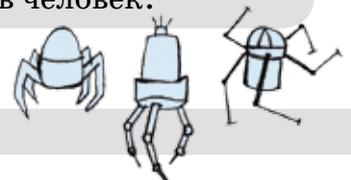
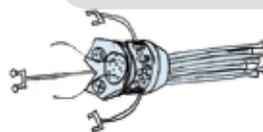


Рис. 1

Внешним видом ДНК похожа на закрученную спираль (рис. 1), состоящую из двух нитей. На этих нитях записана информация в виде последовательности из специальных блоков – *нуклеотидов*. В молекуле ДНК бывает всего 4 вида этих блоков: *аденин, тимин, цитозин и гуанин*. Их обозначают буквами А, Т, Ц и Г. Нити в ДНК слипаются друг с другом за счёт притяжения нуклеотидов, сидящих на них. Более того, блоки склеиваются друг с другом по определённым правилам: аденин может связываться только с тимином, а цитозин – только с гуанином. Говорят, что аденин

*комплементарен* тимину, а цитозин – гуанину. Таким образом, если мы знаем, что одна нить связана со второй, то с уверенностью можем сказать, что напротив аденина сидит тимин, напротив гуанина — цитозин и так далее. То есть по одной цепи молекулы ДНК мы можем однозначно восстановить вторую!

**Задача.** Оцените минимальное количество нуклеотидов на нити ДНК человека, зная, что у каждого человека ДНК индивидуальна и что на Земле живёт 7 миллиардов человек.





## ШПИЛЬКА

Если на нити ДНК будут «сидеть» две комплементарные последовательности нуклеотидов, она может изогнуться и склеиться сама с собой, образовав «шпильку» (рис. 2).

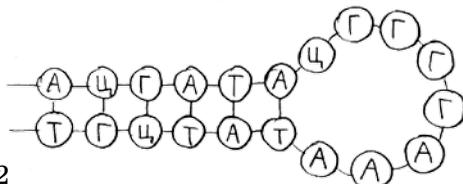


Рис. 2

Это значит, что комплементарность можно использовать как клей, который склеивает наши нити во что-то интересное. Можно даже создавать из ДНК самостоятельно собирающиеся трёхмерные структуры. Один из примеров мы сейчас разберём.

## РЕШЁТКА ИЗ ЕЖЕЙ

Возьмём 7 нитей ДНК (рис. 3).



Рис. 3

Посмотрим внимательно на первую нить. Заметим, что если мы передви-

нем два последних нуклеотида в начале нити, то мы получим последовательность, состоящую из трёх одинаковых блоков (рис. 4).



Рис. 4

Комплементарная последовательность к такому блоку есть в нитях второго вида (отмечена красным). Значит, если первую нить замкнуть в кольцо, то три нити второго вида могут к ней приклеиться (рис. 5).

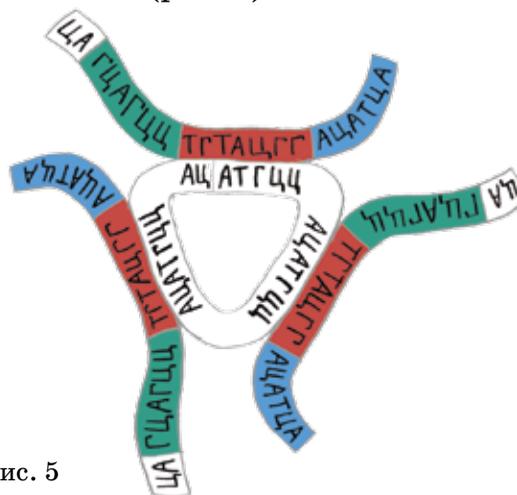


Рис. 5

К оставшимся свободным «хвостикам» могут приклеиться (правда, не целиком) нити третьего вида, поскольку



ку синие блоки комплементарны жёлтым, а зелёные – фиолетовым (рис. 6).

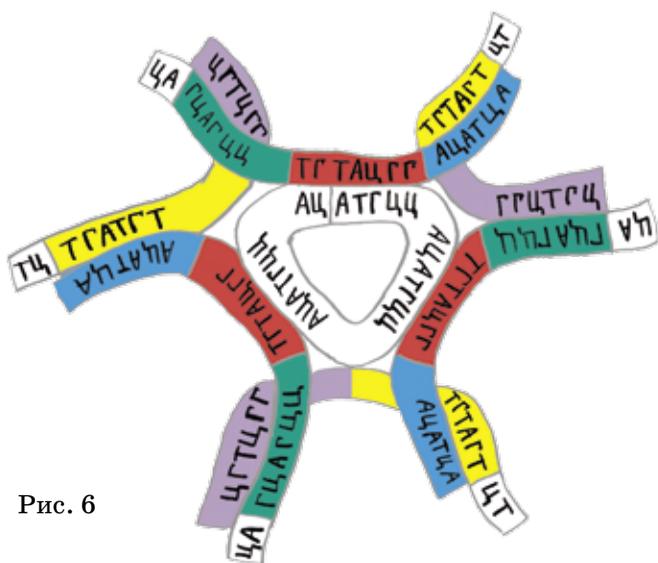


Рис. 6

Интересно понять, как склеенные нити будут ориентированы в пространстве. Оказывается, что все шесть «хвостиков» будут направлены перпендикулярно шести граням воображаемого куба, и мы получим «ежа» (рис. 7).

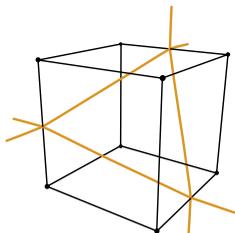


Рис. 7

Заметим ещё одну интересную особенность: на каждом «хвостике» есть

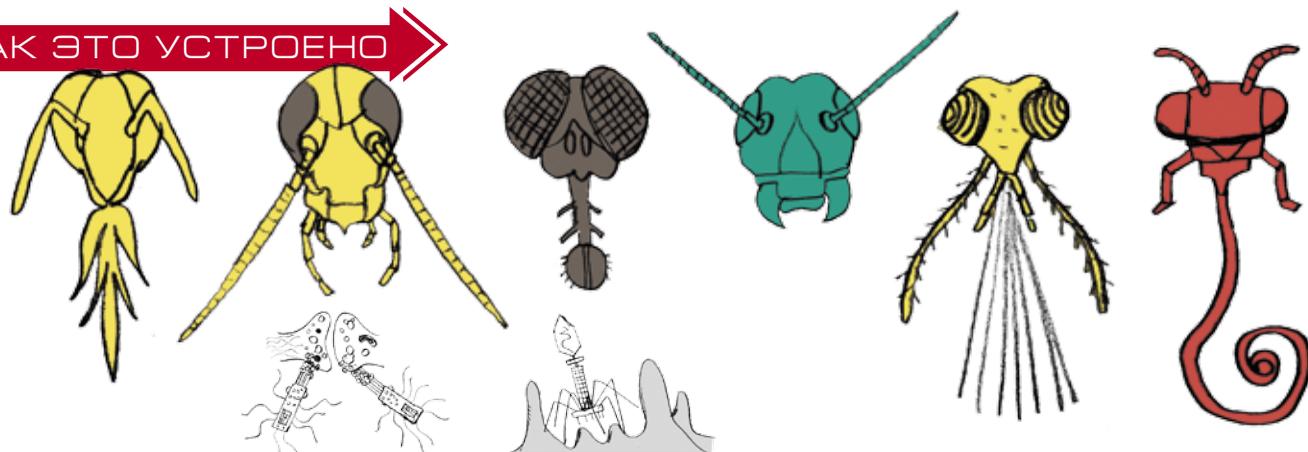
по два свободных нуклеотида ГА или ТЦ, которыми эти «ежи» будут цепляться друг к другу! То есть к каждому такому «ежу» может прицепиться ещё шесть «ежей», которые будут образовывать узлы кристаллической решётки. Таким образом, если мы выпустим в раствор большое количество нитей таких трёх видов в пропорции 1:3:3, то через некоторое время можем получить самостоятельно собравшийся кристалл из ДНК!

### РОБОТ-ПУТЕШЕСТВЕННИК

Структуры из ДНК можно заставить не только самостоятельно собираться, но и даже двигаться! Правда, требуется небольшая помощь лаборанта. Один из первых таких нанороботов был создан чуть меньше 10 лет назад и представлял собой цепочку ДНК, путешествующую в растворе по заранее подготовленной поверхности. Двигался этот наноробот не вполне самостоятельно: для каждого его шага лаборантам необходимо было слегка изменить состав раствора. А как – мы сейчас расскажем.

В основе движения этой молекулы-робота лежит очень простая идея. Представим, что у нас есть нить из 10 нуклеотидов, например, АТГЦАТГЦТТ.





К ней мы добавим вторую нить из пяти нуклеотидов, комплементарную к кусочку первой: АЦГТА.

Вторая нить прикрепится к первой. Теперь запустим в раствор третью нить из 10 нуклеотидов, которая была бы полностью комплементарной первой нити. Что произойдёт в этом случае? Третья нить подходит к первой цепочке лучше, чем вторая, поэтому через какое-то время она вытеснит вторую и приклеится к первой (рис. 8).

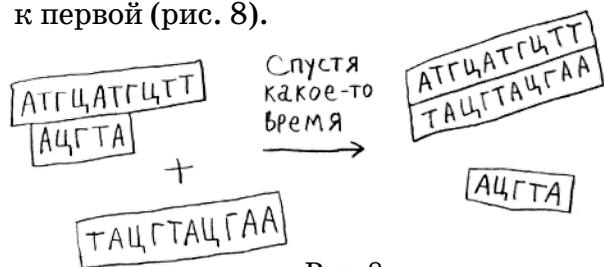


Рис. 8

Именно на этом принципе («скорее всего, соединятся наиболее подходящие нити») и работает наноробот. Сам наноробот состоит из двух склеенных последовательностей цепочек нуклеотидов:



Рис. 9

Он будет ходить по подложке, на которой закреплены нити нуклеотидов на одинаковом расстоянии (рис. 10). Каждая закрепленная нить состоит

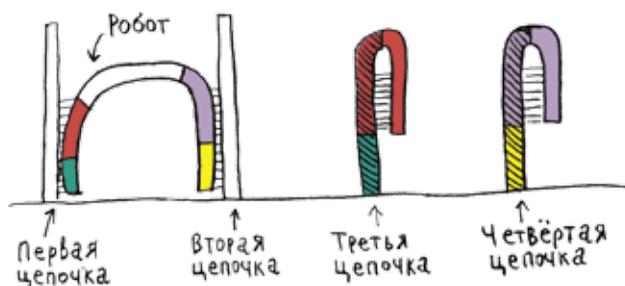
из трёх блоков, причём второй и третий блоки зеркально-комплементарны друг к другу, а первый блок комплементарен одному из блоков робота (одинаковые блоки не отличаются штриховкой и одного цвета, а комплементарные блоки отличаются штриховкой и одного цвета): таким образом, каждая нить изогнута в «шпильку».



Рис. 10

Изначально робот стоит приклеенным между нитями 1 и 2 (рис. 11, а). Для того, чтобы он сделал первый шаг, выпустим в раствор молекулу, полностью комплементарную к первой нити. Она вытеснит часть наноробота, как показано на рисунке 11.

1. Изначальное положение



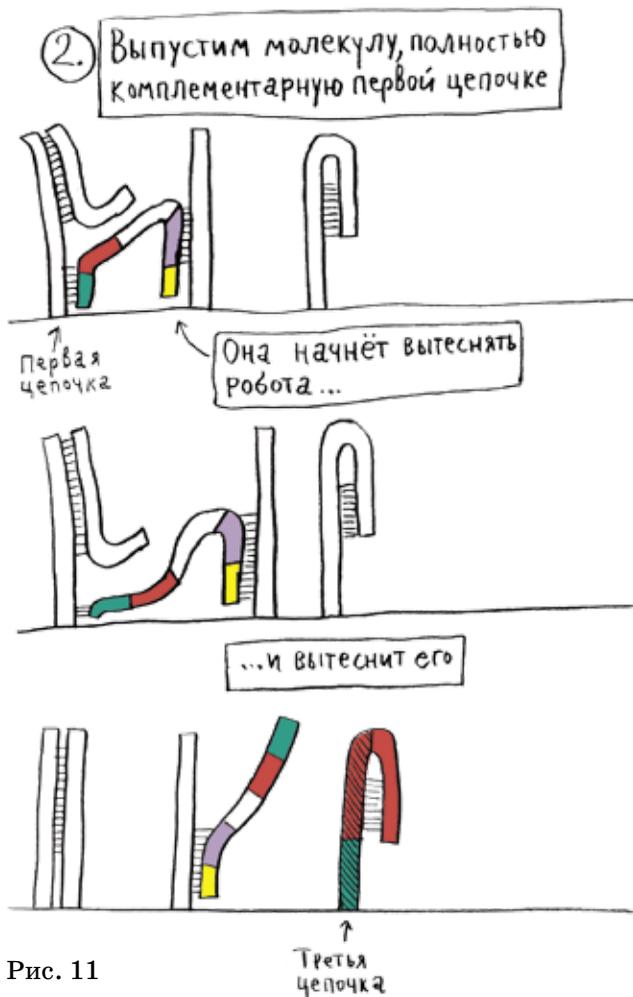
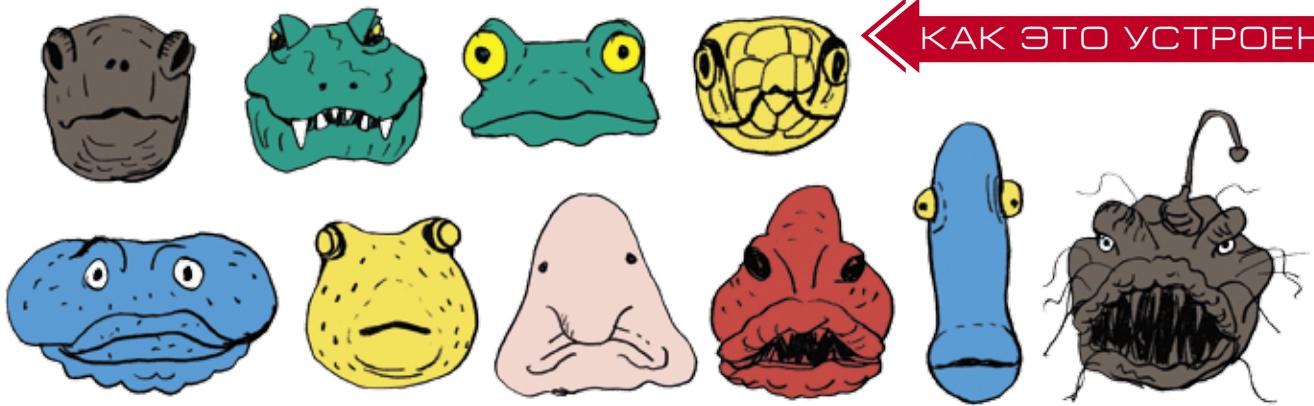


Рис. 11

Более того, эта внезапно отклеившаяся часть распрямит третью «шпильку» и приклеится к её части как более подходящая (рис. 12).

Теперь выпустим молекулу, полностью комплементарную ко второй

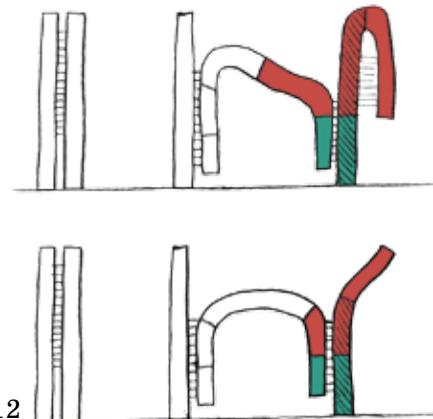


Рис. 12

нити. В результате часть нашего наноробота отклеится от второй нити и переклеится к четвёртой. Повторяя процедуру, можно заставить наноробота путешествовать по подложке!

Наш наноробот путешествовал «налегке», но существуют разработки, которые позволяют ему перетаскивать «грузы», например, молекулы золота.

Так можно собирать не только кристаллы и роботов-ходилок, но, например, коробочки, открывающиеся лишь при встрече с ключом – специальным фрагментом ДНК. Молекула, заранее припасённая внутри коробочки, не сможет ни с чем взаимодействовать, пока коробочка не откроется. В таких коробочках можно доставлять лекарства до целевых клеток и тканей человеческого организма без преждевременного высвобождения «посылки».

Художник Артём Костюкевич

