

## БИОМИМЕТИКА (*Biomimetics*)

«...отчего люди не летают так, как птицы?»  
А.Н. Островский

Усилия изобретателей всего мира направлены на создание современных экономических средств передвижения, приспособлений для наблюдения за различными явлениями и просто вещей, приносящих комфорт повседневной жизни. Но на примерах многих уникальных изобретений человечества можно понять, что внимательное наблюдение за природой подчас может принести не меньшие плоды.

Так, в детстве многие сталкивались с репейником, чьи плоды обязательно цепляются к одежде и волосам. Секрет плодов в мягких клейких крючочках, которые прицепляются к волокнам свитера, носкам и путешествуют так на многие километры, расширяя зону своего обитания. К тому же отодранный репей может пристать снова. Швейцарский инженер Жорж де Местраль однажды решил прогуляться на природе, а когда вернулся домой, заметил, что к его одежде креп-

ко прицепились соцветия растения дурнишник (родственник нашего репейника). Вместо того чтобы просто почистить одежду и посетовать на пристающий сорняк, инженер задумался о созданном самой природой оригинальном механизме. В результате этих размышлений возникла идея застежки-«липучки». Если две половинки этой застежки плотно прижать друг к другу, они слипнутся. И все это благодаря крошечным крючочкам и петелькам, сделанным из синтетического материала.

Наука, призванная подражать природе в ее великолепных творениях и черпать из этого подражания идеи для новых изобретений, носит название биомиметика (от латинских слов «биос» – жизнь и «мимесис» – подражание).

Кстати, первым инженером, попытавшимся «украсть» у природы хитрую задумку, был Леонардо да Винчи. Он пытался построить летатель-



Идею самолета Леонардо да Винчи позаимствовал у птиц

ный аппарат с машущими крыльями, как у птиц, – орнитоптер. Сейчас же, благодаря наблюдению за земными живыми существами и растениями, созданы уже сотни изоциренных механизмов и приспособлений. Например, змеиные зубы послужили прототипом игл для инъекций. Летучие мыши подсказали ученым, как сделать радары, подсолнухи – солнечные батареи, киты – безопасные водные суда, голуби – навигационные приборы. И список открытий, которые нам дарит природа, не оскудевает.

В *нанотехнологиях* использование примеров из живой природы приносит еще больше пользы, чем при создании макрообъектов. Если в макромире у ученых и инженеров есть огромное поле для самовыражения, то в наном мире приходится быть зажатыми в очень узкие рамки наномасштаба для реализации своих идей. И несомненным подспорьем является возможность подсмотреть, а затем и попытка скопировать что-то, уже придуманное матушкой природой.

Одним из наиболее ярких примеров является рукотворная реализация молекулярного мотора, с незапамятных времен реализованного в природе. Биологические *молекулярные моторы* – системы, ответственные за основные жизненные процессы на молекулярном уровне в живой клетке, – это созданные природой наномашин, превращающие химическую энергию в механическую работу. Эффективность, т.е. КПД таких моторов, во многих случаях близка к идеальным ста процентам. Размер биомоторов составляет от нескольких нанометров до нескольких микрон. В большинстве своем это белковые машины, ферменты и катализаторы, такие, как кинезин, миозин, аденозинтрифосфат (АТФ)-синтетаза и другие. Миллионы миозиновых двигателей обеспечивают сокращение мышц, заставляя сердце биться, линейные моторы транспортируют вещества в клетки мозга. В каждой клетке, передвигаясь вдоль спирали ДНК, работают и различные моторы-роторы.

Одним из представителей молекулярных моторов является АТФ-синтетаза – белок, предназначенный для синтеза или гидролиза молекул АТФ, а также для переноса протонов ( $H^+$ ) через мембрану клетки, чем обеспечивает стабильный внутриклеточный рН цитоплазмы. Он преобразует потенциальную энергию, обусловленную протонным градиентом, в химическую энергию.

За выявление механизма его функционирования внутри клетки Е. Скоу, П. Бойер и Дж. Уолкер (J.C. Skou, P. Boyer и J. Walker) получили Нобелевскую премию в 1997 году. Интересно, что при гидролизе АТФ одна из частей белка совершает вращательное движение. По эффективности работы и развиваемой силе АТФ-синтетаза существенно превосходит все известные в природе молекулярные моторы. Типичная сила, развиваемая такой молекулярной турбиной, составляет около 1 пН, а мощность – порядка 1 аВт ( $1 \cdot 10^{-18}$  Вт).

Другой пример молекулярного мотора представляет флагеллярный мотор бактерий, которые вынуждены передвигаться в поисках лучших условий для жизни и размножения. Модель работы такого мотора была предложена в 1978 году А.Н. Глаголевым и В.П. Скулачевым. Согласно ей вращение жгутика (неподвижной спирали – флагеллы) объясняется работой «роторного мотора», расположенного на клеточной мембране. Так же, как и в АТФ-синтетазе, движущей силой для флагеллярных моторов бактерий является градиент протонов или ионов  $Na^+$  на внешней мембране бактерии. Скорость вращения такого мотора может достигать нескольких тысяч оборотов в секунду. В целом механизм вращения флагеллярного мотора очень сложен (его считают одним из самых сложных известных механизмов в клетках) и до сих пор подробно не изучен. Однако известно, что во вращении оказываются задействованы несколько сотен молекул белков, образующих на один оборот до 16 различных последовательностей комплексов и химических связей.

Самый известный молекулярный мотор – миозин, который является движущей силой мышц. Миозин (а также родственные ему диенин и кинезин) – белок, ответственный за «линейное» перемещение и способный преобразовывать энергию, получаемую при гидролизе АТФ в механическую энергию. Помимо сокращения мышечных волокон, белки этого семейства отвечают и за движение сперматозоидов, и за перенос питательных веществ в клетках мозга. Миозин состоит из линейного участка, образованного двойной димерной спиралью и двух глобульных головок. Последовательное взаимодействие головок белка с поверхностью, по которой он движется (в случае миозина с волокном актина или микротрубочкой в случае кинезина), и АТФ при-

водит к тому, что молекула как бы шагает по поверхности, поворачиваясь на каждом шаге вокруг одной из головок, используя белковый «хвост» в качестве рычага. «Шаг» движения для миозина составляет 4–5 нм. В мышечных волокнах молекулы миозина собраны в жгуты, из которых выступает множество миозиновых мостиков в сторону нитей актина. Во время сокращения мышцы лишь 10–15% мостиков одновременно находится в контакте с окружающими нитями актина и взаимодействует с АТФ. Таким образом, большую часть времени молекула миозина в жгуте не выполняет работу, перемещаясь, однако, вместе с остальными молекулами миозинового жгута. Длина «шага» такой совокупности миозиновых молекул составляет 35–40 нм, что многократно превышает размер шага индивидуальной молекулы.

Естественно, число моторных белков не ограничивается названными примерами. Одних только аналогов миозина в клетках различных организмов насчитывается свыше 80 видов. Хотя такие сложные молекулы вряд ли будет возможно воспроизвести в лаборатории в ближайшие годы, они являются замечательным источником вдохновения для исследователей, создающих искусственные молекулярные моторы.

В течение уже многих лет исследователи интересуются возможностью имитации движения молекулярных моторов в искусственно созданных нанобъектах. Человеческая фантазия подсказывает, что «приручение» биологических моторов

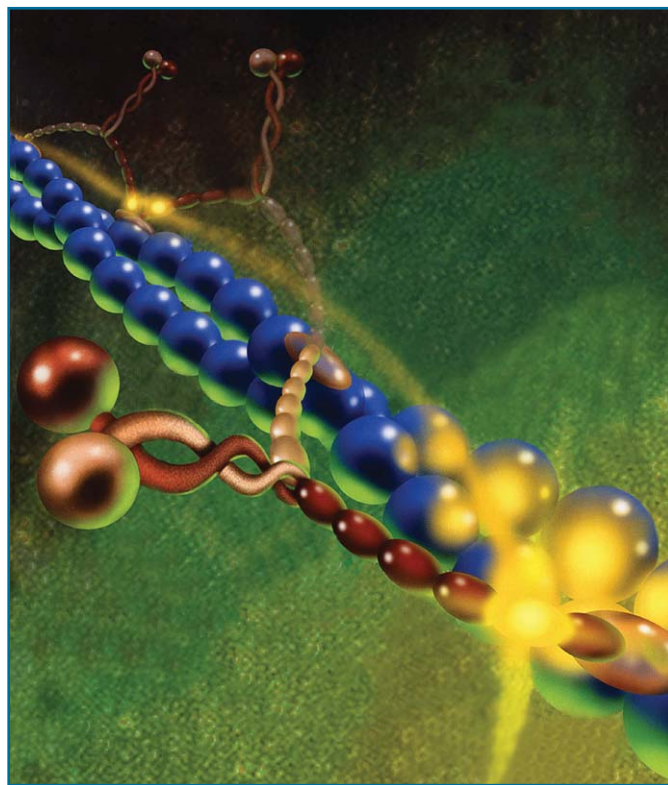


Рис. 1. Белок миозин, передвигающийся по актиновому волокну

позволит значительно увеличить возможности **преобразования энергии**, добиться более щадящих и эффективных методов лечения многих болезней. За последнее десятилетие было создано большое количество различных молекулярных систем, потенциально пригодных для использования в наноразмерных устройствах, но нам еще есть чему поучиться у природы!

#### *Литература:*

1. Биомиметика, или как человек имитирует Божественную природу (фильм, подготовленный по материалам книги Харуна Яхьи).
2. Фенелонов В.Б. МММ без обмана, или Новое в биомиметике. Химия и жизнь. 2001. № 11. Электронное издание [http://school-collection.edu.ru/dlrstore/74103683-8459-68CF-8B70-ECC0037B6CE9/0811\\_11\\_2001.djvu](http://school-collection.edu.ru/dlrstore/74103683-8459-68CF-8B70-ECC0037B6CE9/0811_11_2001.djvu)
3. Кузина С. Тараканы и стрекозы дарят ученым гениальные идеи. Комсомольская правда. 2003. 23 октября. <http://www.kp.ru/daily/23142/24195/>
4. Ализар А. Нанотехнологии вдохнули новую жизнь в бионику. <http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2003/10/24/150716>