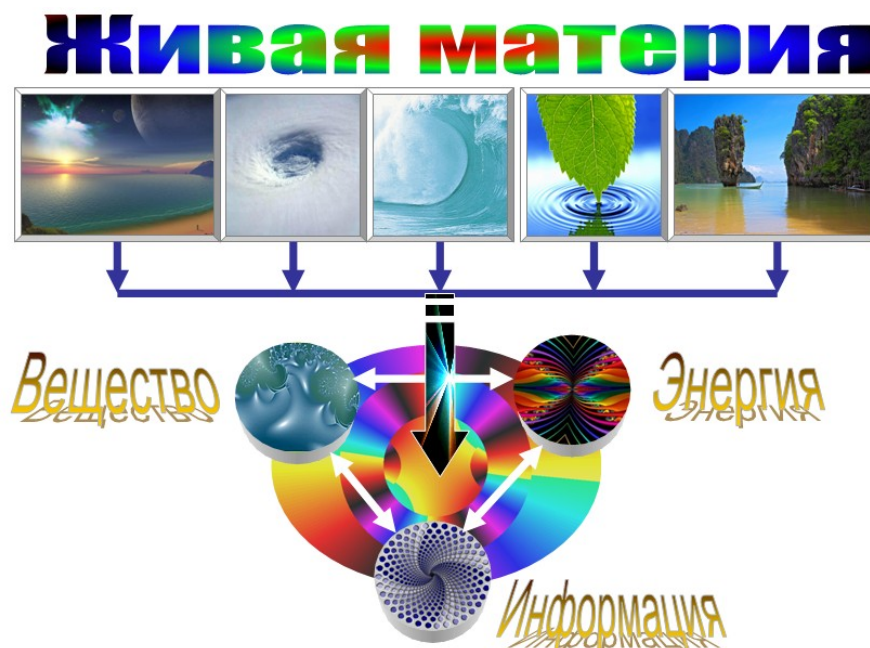


07 ЕДИНСТВО ВЕЩЕСТВА, ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ - ОСНОВНОЙ ПРИНЦИП СУЩЕСТВОВАНИЯ ЖИВОЙ МАТЕРИИ

Данный материал посвящен трем главным составляющим живой формы материи - веществу, энергии и информации. Здесь кратко и последовательно рассмотрены:

- 1) разнообразные виды и формы молекулярной информации и разные категории информационных сообщений, которые широко применяются в клетках для реализации различных биологических функций и химических превращений;
- 2) комплементарные (матричные) принципы молекулярных информационных взаимодействий;
- 3) информационные поля и сферы живой формы материи.



Три главные составляющие живой формы материи

Главный упор сделан на «принцип триединства биоорганического вещества, химической энергии и молекулярной информации» живой материи. Можно предположить, что этот принцип, по всей вероятности, является ключевым в молекулярной биологии, определяющим базисную, фундаментальную основу существования биологической формы материи. В заключение рассмотрена ещё одна важная концепция - концепция взаимообусловленности и взаимозависимости между главными составляющими живой материи - информацией, структурой, энергией и функцией в различных биологических процессах. Эти две концепции, по мнению ученых, в наибольшей степени определяют сущность биологической формы движения материи, а значит, и природу, и принципы её организации.

Известно, что вещество, энергия и информация — это три важнейшие сущности нашего мира, три главнейших его составляющих. Мы живём в чрезвычайно богатом по форме и разнообразию окружающем нас материальном мире. Наука уже достаточно давно изучает и исследует различные формы материи, в ряду которых живой материи отводится особое место. Однако особые нюансы возникают с понятием информации.

К примеру, хотя она и является одной из главных слагаемых нашего мироздания, но до сих пор не имеет общепринятого научного определения. Между тем этот факт не мешает успешно применять понятие «информации» в различных областях науки, техники и человеческой деятельности. Поэтому «информация» также может классифицироваться на различные виды и категории и характеризоваться различными формами существования, сферами применения и назначением.

Тем не менее, этот термин продолжает вызывать различного рода активные дискуссии, которые особенно заметно проявляются в молекулярной биологии. К сожалению, это происходит на фоне общепринятой и четко сформулированной центральной догмы молекулярной генетики, «которая определяет три главных этапа в обработке генетической информации. Первый этап -

репликация, то есть, копирование родительской ДНК с образованием дочерних молекул ДНК, нуклеотидная последовательность которых комплементарна нуклеотидной последовательности родительской ДНК и однозначно определяется ею. Второй этап – транскрипция, процесс, в ходе которого часть генетической информации переписывается в форме рибонуклеиновой кислоты (РНК). И, наконец, третий этап – трансляция, в процессе которой генетическая информация, записанная при помощи четырёхбуквенного кода в РНК, переводится в рибосомах на двадцатибуквенный код белковой структуры».¹

Вместе с тем и здесь, как мы можем наблюдать, изучение и исследование прохождения генетической информации, почему-то, остановилось на этапе синтеза белковых молекул. Хотя уже давно стало очевидным, что живые системы в принципе не могут ни существовать, ни функционировать, ни развиваться исключительно лишь на физико-химической основе. Ясно, что в подобных процессах ведущую роль может играть только наследственная молекулярная (генетическая) информация. Поэтому изучать общие свойства и структуру молекулярной информации, а также закономерности и принципы её создания, преобразования, передачи и использования в различных биологических процессах должна, по всей вероятности, специализированная дисциплина, такая как «Молекулярная биологическая информатика».

Роль молекулярной информации в биологических системах

Наука показывает, что благодаря использованию наследственной информации, жизнь на планете Земля существует и развивается уже более (или около) трёх миллиардов лет. Поэтому большинство исследователей полагает, что понятие информации, в широком смысле этого слова, в биологии столь же необходимо, как и понятия органического вещества и химической энергии.

И действительно, ведь только информация может нести ту высокую меру определённости, которая существует в сложнзависимых взаимодействиях биологических молекул друг с другом и с системой управления. И если вещество и энергия живого являются его материальным наполнителем, то информация в структуре живого вещества является руководством к действию а, значит, и критерием управления всех химических, молекулярных, энергетических и других биологических процессов.

Можно сказать, что информация в живой системе выполняет ту руководящую роль, которая раньше приписывалась «таинственной жизненной силе». Не вдаваясь в философские обоснования термина «информация», в данном материале будем придерживаться общепринятых идей и концепций, которые применяются к сложным системам управления и связи при передаче информационных кодов и сигналов управления. Потому, что живая клетка, как элементарная основа жизни, является сложнейшей самоуправляемой биокibernетической системой, которая выполнена в миниатюре, и функционирует на почти недостижимом для изучения – молекулярном уровне.

*«Информация в сложных системах, как известно, — это содержательные сведения, заключенные в том или ином сообщении. А сообщением может быть какой-либо текст, передаваемые данные о структурной организации или каком-либо процессе, значение контролируемого параметра, команда управления и т. д. Причем, сообщение может иметь форму, не приспособленную для передачи, хранения и других информационных процессов. В связи с этим применяются различные способы преобразования сообщения, такие, как дискретизации и кодирование с целью получения оптимального сигнала. Сигналом называется средство передачи (переносчик) сообщения. В общем виде сигнал – это однозначное отображение сообщения, всегда существующее в некотором физическом воплощении».*²

Естественно, что и в живой молекулярной системе информация передаётся с помощью различных дискретных кодовых сигналов, которые формируются в «линейных» цепях, а затем и в трёхмерных структурах различных классов биологических молекул.³

Вообще-то существуют разнообразнейшие виды информации, в том числе - логическая смысловая, метрическая, исчисляемая в битах и другие. Молекулярной биологической (био+логической) информации в этом ряду должно отводиться своё особое место. В самом деле, информация в живой молекулярной системе имеет свой специфический смысл, чрезвычайно высокий статус и своё материальное наполнение. Она также характеризуется различными видами,

¹ А. Ленинджер. Основы биохимии. Пер. с англ. в 3-х томах - М: «Мир», 1985.

² В. А. Ильин. Телеуправление и телеизмерение. - М: «Энергоиздат», 1982.

³ Ю. Я. Калашников. Биологика информационных взаимодействий в живой клетке. - М., 2002. - 34с.- Депонир. в ВИНТИ РАН 6.11.02, №1923-B2002, УДК 577.217:681.51

формами и категориями и применяется живой системой в виде передач и преобразований молекулярных биологических кодов управления и сигнализации. Поэтому и не удивительно, что с кодированием информации связано одно из примечательных свойств живой клетки - потенциальная возможность хранить, передавать и обрабатывать генетические сообщения.

Информация в живой системе может передаваться и преобразовываться с помощью биологических кодов и алфавитов из одного её молекулярного вида в другой, из одной её молекулярной формы (линейной, химической) в другую (пространственную, стереохимическую). Вследствие этого, кодирование молекулярной информации в живой клетке применяется как для структурной организации различных классов биологических молекул, так и для информационного управления различными химическими превращениями, энергетическими процессами и другими биологическими функциями.

Сам же информационный код в молекулярной биологии записывается химическим способом с помощью элементарной формы органического вещества, и поэтому переносится в структурах биологических молекул. А конкретно для биосинтеза и организации важнейших классов биоорганических соединений (нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов и липидов) и для записи в их структуру информации применяются различные алфавиты - системы биологических элементов (нуклеотиды, аминокислоты, простые сахара, жирные кислоты и др.).⁴

Следовательно, разные алфавиты служат для кодирования различных форм и видов молекулярной биологической информации. Информация, заключенная в последовательности нуклеотидов, определяет структуру и функции макромолекул ДНК и РНК. Информационные сообщения в виде последовательности аминокислот в полипептидных цепях кодируют и программируют структурно-функциональную организацию белковых молекул. А информационная последовательность моносахаридов или жирных кислот кодирует структуру и функции полисахаридов и липидов.

Всё это лишней раз подтверждает, что различные виды и формы молекулярной информации определяют свою структурную и функциональную организацию, присущую различным классам биологических молекул. Значит, элементарное содержание любой макромолекулы определяется формой представления и видом молекулярной информации. Поэтому все виды и формы информационных передач в живой клетке носят чисто биологический характер. А чтобы перебросить информацию из одного её молекулярного вида в другой, или из одной формы в другую, живая клетка использует всевозможные биологические коды.

Например, информация, записанная в структуре ДНК и РНК в виде нуклеотидной последовательности, переводится в аминокислотную последовательность белка с помощью генетического кода, то есть, таким способом информация преобразуется из одного её молекулярного вида в другой. А для того, чтобы трансформировать аминокислотную последовательность в трёхмерную структуру и форму белковой молекулы, применяется аминокислотный код. Следовательно, здесь информация преобразуется из одной её молекулярной формы - линейной, в другую форму - пространственную, стереохимическую.

В связи с этим, в живой клетке используются многообразные биологические коды, где кодирование и преобразование различных видов и форм молекулярной информации применяется при структурной организации разных классов биологических молекул, предназначенных для реализации соответствующих биологических функций и процессов. К примеру, если коды активного центра гликоген-синтазы несут генетическую информацию о биосинтезе макромолекул гликогена, значит, эти коды эквивалентны функциональным возможностям фермента. Получается, что пространственные кодовые комбинации боковых R-групп элементов активного центра фермента (адресный код и код операции) выступают в роли ключа для перевода генетической информации в кодовую последовательность молекулярной цепи гликогена. А сам фермент при этом является преобразователем одной формы молекулярной информации в другую.

Значит, молекулярные коды соответствий, так же, как и средства, их реализации и рецепции, действительно существуют в любой живой клетке. Важно отметить, что информация в живой системе ответственна не только за молекулярное содержание её компонентов, но выступает и в качестве всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости, и является критерием управления её молекулярных объектов. А информационные взаимодействия различных классов биологических молекул друг с другом осуществляются на трёхмерном уровне их структурной организации, с помощью их локальных или поверхностных биохимических матриц. Следовательно, информация

⁴ Ю. Я. Калашников. Биология информационных взаимодействий в живой клетке. - М., 2002. - 34с.- Депонир. в ВИНТИ РАН 6.11.02, №1923-B2002, УДК 577.217:681.51

в молекулярной биологии не только свойство и содержание биологических молекул и структур, но и средство управления и сигнализации, способное совершать работу.

Результатом этой работы является строгая последовательность, упорядоченность и согласованность химических процессов, морфологических и физиологических изменений. Только по этой причине все физико-химические процессы в живой системе выходят за свои собственные рамки и вступают в более содержательную область, - область молекулярной биохимической логики, информатики и управления. Поэтому информация в молекулярной биологии не отвлеченное понятие, а само содержание и сущность живой материи. В связи с этим, живая материя формируется и «движется» под руководством управляющей системы, благодаря использованию генетической информации и общего молекулярного алфавита. А многофункциональные свойства элементной базы являются ключевым критерием единства вещества, энергии и информации, которое всегда обнаруживается в различных биологических молекулах.⁵

Единство информации со структурой и энергией живого вещества является важной движущей силой и особенностью эволюции живой материи. А консервация информации в субстрате биоорганического вещества, в виде различных химических букв и символов, становится характерной чертой даже биотического круговорота. Поэтому в прямом и буквальном смысле можно говорить о том, что каждая живая система обменивается с окружающей средой молекулярной информацией, то есть веществом и энергией. Следовательно, назначение информационного подхода к молекулярным биологическим проблемам состоит в том, чтобы понять принципы функционирования живых систем, отправляясь от их структуры и сведений о свойствах их составляющих элементов, которые всегда являются натуральными единицами молекулярной информации.

Загадка жизни, по всей вероятности, и заключается в том, что основой её проявления служит генетическая память, а все процессы функционирования осуществляются и поддерживаются информационной молекулярно-биологической системой управления, созданной на базе живой клетки. Перед живой клеткой не возникает проблемы - как осуществить адресную передачу молекулярной информации внутри клеточной системы, или вне её пределов. Основным способом передачи информации является транспортировка и адресная доставка биологических молекул, в структурах которых записана нужная информация.

Доставка информации в соответствующее место осуществляется автоматически. Для этой цели в живой клетке существуют специальные системы автоматической сортировки и адресной доставки сообщений (биомолекул), имеется разветвлённая сеть физических каналов связи, компартментов и отсеков. Причем, как сортировка, так и адресная доставка информационных сообщений осуществляется на основе специальных кодов сортировки и адресации, которыми снабжаются все биомолекулы при их изготовлении.

Информационные сообщения в клеточной системе имеют свои специфические свойства и особенности. Во-первых, с одной стороны, сама управляющая система клетки является источником управляющих сообщений, команд и инструкций, передаваемых в виде кодовых передач в структурах белковых молекул по различным каналам на многочисленные биохимические объекты управления (субстраты), которые являются приёмниками управляющей информации.

Однако, с другой стороны, различные биохимические объекты управления являются источником сигнальной осведомляющей информации для выходных аппаратов управляющей системы (ферментов и белков). Таким образом, потоки управляющей и сигнальной молекулярной биологической информации в живой клетке всегда направлены навстречу друг другу.

Поэтому управлением в живых системах, по-видимому, можно назвать передачу и транспортировку на расстояния, с помощью ферментов, команд управления и исполнительных органов и механизмов, могущих воздействовать на химические кодовые группы молекул субстрата. Живая клетка относится к системам с распределёнными объектами управления, где применяется адресный способ передачи управляющей информации от центральных устройств к многочисленным локально рассредоточенным объектам управления (субстратам). А сигнальной осведомляющей и регуляторной информацией обратно, от объектов к центральным или местным управляющим устройствам (ферментам и белкам). Причем, «запрос» управляющей информации,

⁵ Ю. Я. Калашников. Основы молекулярной биологической информатики. - М., 2004. -66с. - Депонир. в ВИНТИ РАН 13.04.04, №622-В2004, УДК 577.217:681.51

как правило, осуществляется на основе поступившей в клетку осведомляющей информации субстратов.

Живая клетка является информационной молекулярно-биологической системой управления, извлекающей свободную энергию и сырьевые ресурсы из окружающей среды.

Поэтому, для реализации различных биологических функций и химических реакций, в клетке применяются и различные категории информационных сообщений, а именно:

1) молекулярно-биологическое управление - транспортировка и адресная доставка ферментов (белков), а значит, и передача на расстояние их дискретных сигналов, кодовых команд управления, исполнительных органов и механизмов, для непосредственного химического и динамического воздействия на объекты управления (субстраты);

2) структурно-функциональная информация – при передаче кодовых дискретных сообщений о трёхмерной организации биомолекул, выполняющих структурные или иные биологические функции;

3) осведомляющая сигнализация - транспортировка и адресная доставка в нужный компартмент живой клетки молекул субстрата, с целью передачи дискретных сигналов от субстратов к соответствующим ферментам о состоянии объектов управления;

4) сигнальная и регуляторная информация - при передаче дискретных сигналов в виде молекул обратной связи, воздействующих непосредственно на исполнительные органы белков и ферментов, с целью контроля и регуляции химических превращений;

5) безадресная передача регуляторной информации биомолекулам клетки, которая осуществляется путём изменения концентрации ионного состава клеточной микросреды, изменения водородного показателя рН и т. д.

Необходимо отметить, что молекулярная биологическая информация в живой системе имеет различные формы существования. Наиболее характерными формами существования информации в живой клетке являются: статическая, динамическая (управляющие) и сигнальная осведомляющая. Статическая управляющая информация кодируется в структуре ДНК при помощи нуклеотидов. Генетическая память сама по себе структура инертная и статическая, поэтому первичная биологическая информация существует в кодовой форме записи определённых сведений и сообщений в соответствующих генах ДНК. Динамическая управляющая информация - является производной от генетической, она определяется линейной, а затем и трёхмерной организацией биомолекул, то есть, в конечном итоге, имеет стереохимическую форму представления.

Благодаря стереохимической форме представления информации - ферменты, белки и другие функциональные макромолекулы, надмолекулярные комплексы и ансамбли, клетки способны в автоматическом режиме решать ряд биологических задач. Осведомляющая информация (сигнализация), воспринимаемая управляющей системой клетки, передаётся кодовыми элементами (буквами, символами или знаками) молекул субстрата. Ферменты и белки способны специфически (информационно) взаимодействовать с различными биологическими элементами и их химическими знаками. Поэтому в качестве объектов сигнальной осведомляющей информации в живой клетке могут выступать как отдельные биохимические элементы, так и различные биомолекулы, состоящие из таких элементов, то есть многочисленные молекулы субстратов.

Осведомляющая сигнализация служит для информирования системы о состоянии управляемых биохимических объектов, о ходе химических реакций, об эффективности протекающих процессов и т. д. Управляющая система клетки реагирует только на ту сигнальную информацию, которая свойственна её природе. В связи с этим, одним из главных признаков процессов управления в клетке является непрерывная циркуляция информации, которая непрерывно и циклически загружается в молекулярную структуру биоорганического вещества.

После выполнения своих функций, различные биомолекулы, как правило, разрушаются до их составляющих - мономеров (биологических элементов), которые затем вновь могут быть вовлечены в информационные или другие биологические процессы. При этом если динамическая управляющая информация непосредственно связана с молекулярными структурами белков (закодирована в них), то сигнальная осведомляющая информация, воспринимаемая ферментами (белками), заключена в структурной организации их молекулярных партнёров.

Поэтому можно констатировать, что молекулярная биологическая информация в живой клетке имеет различные формы существования и может записываться различными химическими буквами и символами. К примеру, статическая управляющая информация кодируется в структуре

ДНК при помощи нуклеотидов. Динамическая управляющая информация белковых молекул записывается и реализуется при помощи аминокислот. Сигнальная (осведомляющая) молекулярная информация может обеспечиваться разными буквами и символами общего алфавита живой материи, а, следовательно, и их различными химическими знаками. Поэтому потоки и циркуляция информации в живой системе тождественно могут быть представлены потоками и циркуляцией различных биологических молекул.

В связи с этим появляется необходимость деления информации по формам, видам и категориям, например:

- 1) по форме представления - непрерывная (аналоговая) и дискретная;
- 2) по принципу и форме записи - химическая и стереохимическая;
- 3) по видам представления - в виде макромолекул нуклеиновых кислот или белков, в виде макромолекул полисахаридов или липидов и т. д.;
- 4) по форме существования - статическая и динамическая;
- 5) по назначению и характеру действия – управляющая (функциональная) и сигнальная (осведомляющая);
- 6) по признакам и свойствам - генетическая (наследственная, статическая, определяющая генотип) и биологическая функциональная (производная от генетической, динамическая, определяющая фенотип);
- 7) по способу существования - вещественная (молекулярная) и виртуальная (знание, сознание) и т. д.

В живой клетке для представления (кодирования) информации используются разные молекулярные алфавиты, которые содержат свои химические буквы или символы. Представление биологической информации разными алфавитами ведёт к тому, что информация в живой системе может записываться разными биологическими элементами, которые и определяют различное содержание биологических молекул и, соответственно, различный её молекулярный вид и форму.

В связи с этим:

- 1) одномерная - линейная форма наследственной информации в живой системе кодируется в структуре ДНК и РНК в виде последовательности нуклеотидов;
- 2) «линейная» и пространственная (стереохимическая) форма программной информации ферментов записывается аминокислотным кодом в виде полипептидных цепей и трёхмерных белковых молекул;
- 3) линейная и пространственная структурная и функциональная информация полисахаридов кодируется моносахаридами (простыми сахарами);
- 4) линейная и пространственная структурная и функциональная молекулярная информация липидов кодируется мономерами жирных кислот и т. д.

Живая форма материи отличается от других форм тем, что её структура и функции кодируются и программируются той молекулярной информацией, которая с помощью элементной базы заранее была загружена в её молекулярные цепи и трёхмерные структуры. Поэтому всё разнообразие биологических молекул живой клетки формируется только на основе управляющих средств, с помощью генетической информации и использования различных молекулярных алфавитов.

Матричный, комплементарный принцип информационных взаимодействий

Отметим, что в живой системе для организации информационных процессов наиболее широко используется комплементарный принцип взаимодействия биологических молекул друг с другом с помощью их линейных, локальных, рельефных или поверхностных биохимических кодовых матриц.

Информационные взаимодействия биомолекул, обусловленные кодовыми матрицами, состоящими порой из многочисленных боковых атомных групп элементов, достаточно сложны и более грандиозны чем, к примеру, процессы в цифровых системах. Они связаны с меняющейся динамикой взаимодействий и многовариантностью физико-химических сил и связей, определяющих характер молекулярной биологической информации. Здесь отсутствуют четко тестируемые сигналы определённого типа, такие как, например, 1 и 0 в цифровых устройствах.

Каждый элементарный биологический сигнал боковой группы имеет своё смысловое значение и характеризуется своим набором физико-химических свойств и своим позиционным расположением в биохимической матрице. От этих параметров, видимо, и зависит

функциональная направленность и кооперативность действия каждого индивидуального сигнала, то есть, неоднозначность действия отдельного биологического элемента, входящего в состав макромолекулы.

Можно сказать, что к наиболее изученным информационным взаимодействиям в живой клетке относятся, именно, матричные процессы. Здесь хорошо просматриваются идеи программного биологического управления, когда случайные беспорядочные столкновения молекул сменяются четко организованными, генетически детерминированными процессами. Например, последовательность нуклеотидов в одной цепи ДНК автоматически определяет последовательность в другой, комплементарной цепи. В поддержании и закреплении третичной структуры глобулярных белков принимают участие различные типы комплементарных (информационных) сил, связей и взаимодействий между элементами или фрагментами полипептидной цепи: электростатические эффекты, ионные и водородные связи, вандерваальсовы силы и гидрофобные взаимодействия.

Во время конформационных преобразований каждый сигнал R-группы полипептидной цепи кооперативно взаимодействует с другими сигнальными элементами, а также с молекулами воды, которая всегда принимает участие в формировании трёхмерной структуры белка. При этом стабилизация трёхмерной конформации белковой молекулы и правильное расположение структур определяется сочетанием различных типов комплементарных взаимодействий:

«1) ионными связями между положительно и отрицательно заряженными боковыми группами аминокислот;

2) водородными связями между атомами, несущими частичные положительные и частично отрицательные заряды;

3) гидрофобными взаимодействиями, обусловленными стремлением неполярных боковых R-групп аминокислот объединиться друг с другом, а не смешиваться с окружающей их водной средой;

*4) ковалентными связями между атомами серы двух молекул аминокислоты цистеина».*⁶

Таким образом, трёхмерная конформация белка однозначно определяется информацией, которая записана в «линейной» аминокислотной последовательности его полипептидной цепи. Отсюда следует, что любые информационные взаимодействия между фрагментами молекулярной цепи в структуре биомолекулы, или же между биомолекулами клетки могут базироваться только на химической и стерической комплементарности их биохимических матриц, то есть, на взаимодополняемости химических свойств, электрических зарядов и структурных рельефов друг друга.

Если же теперь обобщить различные наблюдения и факты, то оказывается, что комплементарный матричный (информационный) принцип «подгонки» действует в совершенно различных, казалось бы, по своей биологической роли процессах:

1) при репликации, транскрипции и трансляции генетической информации;

2) при биосинтезе или расщеплении «неинформационных» биомолекул клетки, когда локальные стереохимические кодовые группы активного центра фермента взаимодействуют с молекулой (или молекулами) субстрата по матричному принципу;

3) при свертывании белковой (как, впрочем, и любой другой) молекулы, когда отдельные фрагменты полипептидной цепи «отыскивают» друг друга, комплементарно взаимодействуют и «застёгиваются» между собой с помощью линейных матричных взаимодействий боковых атомных R-групп по принципу застёжки-молнии;

4) при объединении между собой отдельных субъединиц олигомерного белка с помощью рельефных матричных взаимодействий в четвертичной структуре белка, когда комплементарная «подгонка» осуществляется при взаимодействии биохимических матриц, образованных многочисленными R-группами, координатно расположенными на поверхности субъединиц олигомерного белка;

5) рельефные поверхностные биохимические матрицы играют ведущую роль в процессах самосборки или разборки надмолекулярных комплексов и ансамблей, состоящих из различных белковых и других молекул.

К примеру, точное взаиморасположение молекулярных компонентов рибосом, включая белки, возможно только за счет комплементарного взаимодействия их поверхностных биохимических матриц. А регуляторами, включающими или выключающими процессы их самосборки является наличие или отсутствие иРНК, а также соответствующие ионные, или другие

⁶ П. Кемп, К. Армс. Введение в биологию. Пер. с англ. - М: «Мир», 1988.

условия, влияющие на перераспределение комплементарных матричных сил и связей. Все эти факторы и ведут или к взаимному ориентированному притяжению и самосборке биомолекул в целостную рибосому, или же, наоборот, к их отталкиванию и разборке.

Здесь мы наблюдаем один из основных механизмов функционального и регуляторного действия, лежащий в основе информационных взаимодействий между биомолекулами клетки. Рибосома ведет себя как молекулярная автоматическая система, которая отзывается на сигнальные и регуляторные воздействия и функционирует строго в соответствии с загруженной в её компоненты программной информацией.

По аналогии совершаются и другие информационные взаимодействия, которые, как мы видим, характерны только для живой молекулярной системы. Ясно, что матричный принцип соответствия является основой информационных взаимодействий биологических молекул друг с другом.⁷

Информационные поля и сферы живой формы материи

Живое вещество, в отличие от твёрдого, кристаллического, жидкого или газообразного, имеет свои строго определённые структурные особенности и свойства. Оно отличается от других веществ удивительной способностью целенаправленно выполнять определенные биологические функции.

Макромолекулы живой клетки характеризуются строгой упорядоченностью молекулярных цепей в пространственной решётке и специфическим конденсированным состоянием, поэтому к ним вполне приемлемо редко применяемое, но достаточно точное название - «кристаллоиды». Кристаллоиды обладают и другими уникальными качествами и свойствами.

Наличие в структурах макромолекул как внутримолекулярных, так и внешних информационных сил и связей (обусловленных составляющими их элементами), которые сами по себе слабы, но мощны своей многочисленностью и разнообразием, позволяет говорить о том, что внутри и вокруг кристаллоида образуется специфическое силовое «**информационное поле**». Оно способно влиять как на структуру самого кристаллоида, так и на его микроокружение. При этом сама макромолекула как бы стабилизируется самосогласованным сжимающим информационным полем, обусловленным кооперативными силами притяжения между боковыми атомными группами и атомами мономеров.

Эти рассуждения приводят нас к мысли о существовании новых полей особого типа, которые можно назвать «*информационными полями и сферами*» живой формы материи. Информационная сфера — это состав того информационного поля, которое образуется и окружает конкретную биологическую молекулу в определённый период времени. А наложение информационных сфер друг на друга и создаёт в окружающем пространстве живой клетки общее информационное поле. Можно констатировать, что информационное поле - это одно из видов полей, которое образуется с помощью различных биологических молекул и клеточных структур, способных к информационному взаимодействию.

Молекулярные информационные поля, по всей видимости, служат для организации дистанционного, а затем, и контактного коммуникативного общения биологических молекул друг с другом. Только в таком поле молекулы, находящиеся в клеточных отсеках, способны быстро находить друг друга, информационно взаимодействовать и возбуждать при этом биологические функции. Любая молекула может находиться в одной из точек информационного поля, от энергии которого и зависит её поведение. Известно, что большинство макромолекул биоорганических соединений имеют «*огромные размеры*», которые определяют их чрезвычайно важные, в биологическом и информационном отношении, свойства.

- *Во-первых, большие размеры благоприятны для динамических и функциональных характеристик, которыми обладают эти молекулы.*
- *Во-вторых, секрет больших молекул заключается в их особых электрических и других удивительных свойствах, которые строго специфичны для их молекулярных структур и поверхностных профилей.*

Если небольшие молекулы, представляющие собой постоянные или временные диполи, создают вокруг себя электрические поля небольшого радиуса действия, обуславливающие ван-дер-ваальсовы взаимодействия, то крупные полярные молекулы создают дисперсионные силы,

⁷ Ю. Я. Калашников. Основы молекулярной биологической информатики. - М., 2004. -66с. - Депонир. в ВИНТИ РАН 13.04.04, №622-В2004, УДК 577.217:681.51

которые являются электрическими силами «*большого радиуса действия*». За счет них большие молекулы способны притягивать, отталкивать и ориентировать другие молекулы.

Чем больше размер кристаллоида, тем больше радиус действия его силового поля и, следовательно, тем больше сфера его влияния. А «буквенная мозаика» на поверхностных участках, в виде различного рода центров и биохимических матриц, определяет ту часть информационной сферы, которая непосредственно отвечает за комплементарные контактные (матричные) взаимодействия макромолекулы с её молекулярными партнёрами.

Ясно, что информационные молекулярные поля и сферы подвержены влиянию не только клеточной микросреды, но и возмущению известных и неизвестных нам полей космоса и окружающего нас мира. Изучение информационных полей живого вещества и сфер биологических макромолекул-кристаллоидов может дать дополнительные сведения о природе и принципах организации живой формы материи.

Единство вещества, энергии и информации - основной принцип существования живой формы материи

Вещество, энергия и информация являются важнейшими сущностями нашего мира и главнейшими его составляющими. Они могут существовать в различных видах, формах и качествах, и в различных сочетаниях между собой.

А когда путём пошагового объединения они слагаются между собой, то возникает новое качественное состояние. К примеру, таким путём идёт развитие производительных сил: сначала возникли орудия труда, затем из орудия труда, - путём объединения с энергетической составляющей, возникают машины, а затем и автоматы с важнейшими составляющими - вещества, энергии и информации.

Аналогичный процесс развития лежал и в основе становления биологической формы движения материи, когда её составляющими стали органическое вещество, химическая энергия и молекулярная биологическая информация. Эта триада, по-видимому, и явилась тем феноменом, который определил движущие силы постоянного развития и совершенствования живой материи.

В живом веществе, как оказалось, заключены не только валентные и невалентные химические силы и связи, определяющие характер биохимических и информационных взаимодействий, но также и те элементарные внутренние силы саморазвития, которые делают возможным возникновение большого числа различных вариантов форм, позволяющих осуществить процесс селекции. А основной функцией живой материи стала системная организация и интеграция в её структуре органического вещества, химической энергии и молекулярной биологической информации. Их совокупность, видимо, и обеспечила движение и развитие биологической формы материи.

Это – ключевой момент в становлении живого, и не ясно только, почему ему биологи не уделяют должного внимания. Причем, информация, точно так же, как и химическая энергия, обнаруживает полное сродство с живым веществом на его элементарном уровне. И действительно, ведь все биохимические элементы биологических молекул представляют собой ту элементарную форму органического вещества, с помощью которой формируются и передаются биологические коды молекулярной информации.

Поэтому можно сказать, что триединство вещества, энергии и информации является фундаментальной основой существования живой формы материи. И хотя информация, в философском смысле, не есть ни вещество и ни энергия – она является лишь свойством материи. Однако, в молекулярной биологии она приобретает своё воплощение и смысл уже на уровне молекулярных единиц биологической информации (букв или символов), которые в живой клетке используются для кодирования и программирования биологических молекул. Отсюда следует, что информация в молекулярной биологии не отвлеченное понятие, а объективное свойство и, более того, - само содержание и сущность живой материи.

Биологические молекулы и структуры, как носители генетической информации в различных её видах и формах, всё время находятся в информационном взаимодействии друг с другом и системой управления. Поэтому все они вполне могут быть признаны информационными «образованиями». Благодаря информационным взаимодействиям и системной организации живая форма материи никогда не стояла на месте в своём развитии, причем, эти процессы всегда имели закономерный характер. Здесь, видимо, и следует искать ключ к разгадке великой тайны живого состояния и развития. «**Закон триединства**», если им правильно воспользоваться, по-видимому, может решить многие проблемы молекулярной биологии.

Приведём соответствующие факты и аргументы. Прежде всего, обратим внимание на то, что этот принцип начинает действовать уже на элементарном уровне, то есть на уровне биохимических букв и символов алфавита живой формы материи. Биологические элементы нельзя мыслить и воспринимать без их многофункциональных качеств и свойств. Все они тождественно и эквивалентно исполняют роль структурных, физико-химических, информационных и функциональных единиц, а также программных элементов живой формы материи. А принцип многофункциональности позволяет рассматривать элементную базу буквально с разных сторон и различных точек зрения.

Сначала остановимся на информационных аспектах применения таких элементов. Точно так же, как мы свободно узнаём любую букву русского алфавита по её очертаниям, так и управляющая система живой клетки легко тестирует и узнаёт любой биохимический элемент по составу его функциональных и боковых атомных групп, их строению, форме и химическим свойствам. Кроме отличительных химических свойств каждая буква или символ биологического алфавита обладает ещё и своим структурным и стерическим рельефом, который как бы дополняет его химическую информационную составляющую.

Получается так, что если, к примеру, информация в структурном рельефе обыкновенного ключа является его основной характеристикой, то информация биохимических элементов состоит и складывается из разных составляющих - структурной и химической. А эти компоненты, как известно, играют ведущую роль при комплементарных - информационных взаимодействиях. То есть, как структурная, так и физико-химическая составляющие каждого элемента являются его информационными параметрами. Иными словами, в основе представления молекулярной биологической информации лежит принцип эквивалентности структурно-химических и информационных компонентов. Это свойство можно назвать принципом тождественности вещества и информации.

«**Формула тождественности**» говорит о том, что все биологические структуры и процессы, в частности, можно рассматривать с любой из двух точек зрения – или с физико-химической (вещественной), или же с информационной. Это как две стороны одной медали. Следовательно, все биологические элементы в живой системе, с одной стороны, могут играть роль строительных блоков, а с другой – кодирующих и функциональных единиц молекулярной информации.

То есть, уже на этом уровне наглядно соблюдаются условия единства вещества и информации. Потенциальная энергия в клетке представлена главным образом в форме химической энергии связей между атомами в молекулах органических соединений. А центральная роль в биоэнергетике клеток животных принадлежит дыхательному обмену. Он, как известно, включает в себя реакции расщепления сахаров, жирных кислот, аминокислот и использования выделяемой энергии для синтеза химической энергии в виде АТФ.

Иными словами, все биохимические элементы вносят свой существенный вклад и в энергетику живой клетки. Кроме того, элементарный состав биологических молекул, то есть, молекулярная информация, определяет не только структуру, но и все многочисленные химические валентные и невалентные связи между элементами, а, значит, и потенциальную, и свободную химическую энергию биомолекул. ³

аметим, что все основные характеристики биологических элементов наиболее ярко проявляются только в составе биологических молекул.

А многофункциональные свойства элементной базы становятся ключевым критерием того «**триединства**», которое обнаруживается в различных биологических макромолекулах и структурах, обладающих интегративными свойствами составляющих их элементов. Значит, «*принцип триединства вещества, энергии и информации*» в живой системе, который обнаруживается на элементарном уровне, распространяется и на все биологические молекулы и структуры живой материи.

В связи с этим, можно сказать, что генетическая информация определяет не только структуру, но и энергетический, и функциональный потенциал биологических молекул. ⁸

Принцип триединства показывает, как многолик образ живой формы материи. Поэтому, когда в молекулярной биологии мы говорим - «*информационное сообщение*», то должны подразумевать и ту «*молекулярную биологическую структуру*», которую оно определяет.

⁸ Ю. Я. Калашников. Основы молекулярной биологической информатики. - М., 2004. -66с. - Депонир. в ВИНТИ РАН 13.04.04, №622-В2004, УДК 577.217:681.51

А когда говорим – «молекулярная структура», то, естественно, должны иметь в виду и ту «информацию», и ту энергетическую составляющую, которые представлены в биомолекуле на её элементарном уровне.

Различные подходы к молекулярным биологическим проблемам

Как мы видим, уникальное свойство единства вещества, энергии и информации и многофункциональный принцип применения элементной базы, привели к удивительной ситуации в естественных науках.

Во-первых, такая ситуация подсказывает, почему биологическая форма материи не поддаётся объяснению с какой-либо одной из точек зрения, к примеру, при физико-химическом подходе.

Во-вторых, это же обстоятельство позволяет биологам изучать живую материю буквально с разных сторон и различных точек зрения.

Поэтому любую биомолекулу, например, белка, можно исследовать:

1) с информационной точки зрения, так как никаких особых компонентов, кроме информационных, белок не содержит;

2) с физико-химической, - так как белок является веществом живой материи и подчиняется всем известным физическим и химическим законам;

3) с энергетической, - так как в химических ковалентных и нековалентных связях биомолекулы содержится химическая энергия. А при недостатке свободной энергии макромолекула белка способна адресно связываться и взаимодействовать с молекулой АТФ, которая в живой клетке играет роль аккумулятора химической энергии и т. д. Причем количество вещества, энергии и информации в различных классах биологических молекул варьирует.

Например, биомолекулы белков несут в своей структуре значительное количество информации, но обладают небольшим запасом свободной химической энергии, поэтому часто нуждаются в дополнительной энергии в форме АТФ.

А биомолекулы полисахаридов, наоборот, при значительных запасах энергии в их химических связях, обладают небольшим количеством информации. Однако, используя даже один или два информационных символа, при построении полисахаридов или липидов, живая клетка, всё-таки, закладывает в их структуру то необходимое количество информации, которое достаточно для осуществления их биологических функций.

Поэтому, в любой отдельно взятой биологически активной молекуле вещество неотделимо от структурной информации и химической энергии, а молекулярная информация и энергия как раз и являются теми составляющими, которые обуславливают структурную организацию вещества. Это и есть «*принцип тождественности информации, энергии и вещества*», который является основным в молекулярной биологии и позволяет осуществлять разные подходы, при рассмотрении живой формы материи.

Как мы видим, образ любой биологически активной молекулы многолик. Однако, заметим, что информация в этой триаде, всё-таки, играет первую «скрипку», так как она определяет и трёхмерную структуру биомолекулы, и её энергетику, и её биологические функции.

Наличие «закона триединства» привело к тому, что в настоящее время все биологические проблемы оказались в фокусе интересов различных естественных наук. Эти проблемы рассматриваются с различных сторон и изучаются разными дисциплинами.

Современная наука вынуждена интенсивно искать и использовать разные подходы и пути к исследованию феномена жизни. Поэтому изучением живой формы материи заняты различные биологические дисциплины:

1) *биофизика* - исследует наиболее простые физические взаимодействия, лежащие в основе биологических явлений;

2) *биохимия* - изучает различные биохимические процессы и даёт объяснение биологическим функциям и жизненным явлениям с использованием данных физико-химических исследований;

3) *молекулярные основы наследственности* остаются основной темой современной генетики;

4) *молекулярная биология* - изучает молекулярную структуру живого вещества, механизмы воспроизведения генетической информации в поколениях клеток и организмов и механизмы реализации генетической информации через биосинтез белков.

Этот список значителен, и его можно продолжить. Однако, к сожалению, самый большой и существенный круг информационных проблем, всё-таки, оказался за бортом биологических наук. К примеру, пока еще не рассмотрены следующие вопросы:

- 1) *принципы и правила прохождения управляющей и сигнальной (осведомляющей) информации в живой клетке;*
- 2) *закономерности молекулярной биохимической логики;*
- 3) *принципы и правила кодирования и программирования биологических молекул;*
- 4) *использование программной информации в управлении биологическими функциями и химическими превращениями и т. д.*

Не изучены следующие проблемы:

- 1) *принципы работы молекулярных биологических средств с программным управлением (например, белков и ферментов);*
- 2) *принципы работы молекулярных биопроцессорных систем управления (репликации, транскрипции и трансляции генетической информации) с информационной точки зрения;*
- 3) *биокибернетическая система живой клетки и принципы её работы;*
- 4) *программные средства клетки и многое другое.*

Эти реально существующие информационные механизмы и процессы, почему-то, постоянно «ускальзывают» от нашего внимания.

Между тем, все информационные взаимодействия в живой клетке имеют не виртуальный, а вполне вещественный, биологический характер. Поэтому и подход, определяющий характер изучения живой формы материи, в первую очередь, должен быть - информационно-кибернетическим.⁹

Поскольку живая форма материи является высшим единством, связующим в себе в одно целое - вещество, энергию и информацию, то и проблема информационной организации живых систем становится ключевой проблемой молекулярной биологии.

От генетической информации, через молекулярную структуру и информационные взаимодействия, к биологическим функциям и управлению

В молекулярных цепях и трёхмерных структурах биологических молекул не содержится никаких компонентов, в которых были бы скрыты особые жизненные силы.

Мы имеем лишь определённую комбинационную последовательность или пространственную кодовую организацию химических букв или символов (программных элементов), соединённых между собой ковалентными связями и слабыми (информационными) физико-химическими силами и взаимодействиями в трёхмерной структуре.

Причем, порядок чередования, последовательность и состав биохимических элементов в различных цепях а, затем, их координатная организация в биологической структуре (пространственной решетке) определяется генами, то есть информацией.

Следовательно, можно сказать, что различные биологические молекулы отличаются друг от друга только информационным содержанием, то есть, специфическим способом организации информационных биохимических единиц, входящих в состав их структуры.

Вначале информация (через элементарный состав) загружается в структуру макромолекулы, определяя её трёхмерную организацию и все её биологические свойства, затем, при информационных взаимодействиях биомолекул друг с другом, возбуждаются сами биологические функции. Поэтому проблема понимания информации, структуры и функции в молекулярной биологии заключается в том, что они не могут существовать друг без друга.

Этот факт обеспечивается и многофункциональными характеристиками элементной базы, и закодированными информационными сообщениями генома, и различными классами биологических молекул, в структурах которых загружена программная информация. Поэтому в живых системах нет структуры вне информации, так же как и нет функции без структуры и информации. А все биологические характеристики живой материи обеспечиваются интегральными свойствами молекулярной элементной базы. Такой вывод напрашивается из того факта, что возникновение любых биологических структур связано с молекулярной элементной базой, генетической информацией и функциями других структур.

К примеру, все белковые молекулы содержат ту информацию, которая определяет их функции. А информация, действующая в системе, как известно, всегда возбуждает функцию. Есть

⁹ Ю.Я.Калашников. Концепция информационной молекулярно-биологической системы управления. - М., 2005. -88с. - Депонир. в ВИНТИ РАН 14. 04. 05, № 505-В2005, УДК 577. 217:681.51

информация – осуществляется функция, нет информации - функция отсутствует. Не потому ли белковые молекулы, как обладатели и реализаторы генетической программной информации, специфически способны к выполнению великого разнообразия биологических функций?

Эти функции возникают лишь в процессе молекулярного взаимодействия, то есть, в результате адресной встречи и обмена информацией между биомолекулами с помощью их кодовых биохимических матриц.

А носителем этого функционального единства, безусловно, является генетическая программная информация, перенесённая и трансформированная в стереохимическую форму функциональных биомолекул и структур живой клетки. Таким образом, только информация, загруженная в молекулярные цепи, может определить всё разнообразие трёхмерной организации биологических молекул и их биологических функций.

Поэтому различные биомолекулы столь разительно отличаются друг от друга не только структурой и формой, но и их функциональными способностями и назначением. А белковые молекулы приобретают свойства того «живого состояния», которое наблюдают исследователи. В живой клетке функционируют сотни различных белков и ферментов. Свои специфические функции выполняют полисахариды, липиды, а также другие макромолекулы клетки, которые, как мы убедились, отличаются друг от друга только информационным содержанием, а, значит, и той системой молекулярных элементов (алфавитом), которая применяется для кодирования их информации. При этом в молекулярных цепях, а затем и в трёхмерных структурах, с помощью букв и символов записываются лишь те информационные сообщения, которые передают гены.

Эти молекулярные сообщения являются структурной и программной основой, как для построения, так и для функционального поведения биологических молекул. Значит, с информационной точки зрения, в молекулярных цепях и в трёхмерных конформациях макромолекул нет ничего, кроме структурной и программной молекулярной биологической информации.

А это означает лишь одно, что все они построены и будут работать с помощью той информации, которая загружена в их структуру. Напомним, что все биологические элементы в составе макромолекул играют также и роль тех программных элементов, с помощью которых строятся алгоритмы функционального поведения.

Это важное обобщение логически связывает между собой структурно-информационную основу биологических молекул с их функциональными возможностями. А если учесть, что элементарный состав определяет не только структуру, но и все многочисленные химические связи между элементами, как ковалентные, так и многочисленные слабые невалентные, то, можно сказать, что молекулярная информация определяет не только функциональное поведение биомолекул, но и их энергетический потенциал.

Таким образом, информационные сообщения генов в молекулярной биологии определяют всё: как структурную организацию, так и химическую энергию макромолекул; как программное обеспечение, так и все их функциональные возможности. Значит, в итоге, информационные сообщения в молекулярной биологии приобретают смысл через функциональные возможности различных биомолекул, которые строятся и программируются информационным путём.

Следовательно, можно констатировать, что вся технология биологических процессов основана на генетической информации и элементной базе, а все функции возникают и осуществляются только при информационных взаимодействиях биологических молекул друг с другом. Любая активная биологическая молекула обладает определенным количеством свободной энергии, которая необходима для выполнения её информационных и биологических функций.

Ясно, что информационные и функциональные процессы могут нуждаться в дополнительном источнике энергии. Для этой цели в живой клетке постоянно поддерживается дозовая циркуляция химической энергии в форме АТФ к «потребителю», а АДФ и фосфата - к митохондриям, для нового восстановления их до АТФ. АТФ - «гибкий» источник энергии, позволяющий получить нужные дозы её для прямого использования в нужном месте.

Поэтому, при недостатке свободной энергии, макромолекула, к примеру, белка, способна адресно (информационно) связываться с молекулой АТФ, которая в живой системе играет роль аккумулятора химической энергии.

В итоге преобразований любое генетическое сообщение приобретает смысл через структуру и функцию, которые оно кодируют, а сам носитель информации – макромолекула, при этом, формирует все необходимые ей информационные сигналы, а также исполнительные молекулярные органы и механизмы.

Только таким путём информация определяет биологические характеристики живой формы материи. А биологические структуры и функции упорядочиваются на молекулярном уровне.

Все эти рассуждения подводят нас к определённым обобщениям и показывают, где скрыта та разыскиваемая неразрывная связь между главными действующими факторами биологических процессов - информацией, энергией, структурой и функцией.

В связи с этим, можно сказать, что в молекулярной биологии действует ещё один «*важный закон*», распределяющий «*права и обязанности*» в иерархической лестнице взаимообусловленности и взаимозависимости структурных свойств и особенностей биомолекул от генетической информации, а биологической функции и энергии от молекулярной структуры, а, значит, тоже от информации.

И если формула единства вещества, энергии и информации показывает и определяет базисную основу существования живой формы материи, то вторая формула «*от генетической информации, через молекулярную структуру и информационные взаимодействия, к биологическим функциям и управлению*», в своей последовательности, указывает порядок и взаимообусловленность биологических событий в живой системе на молекулярном уровне.

Можно сказать, что эти две формулировки в наибольшей степени определяют сущность биологической формы движения материи, а, значит, и природу, и принципы её организации.¹⁰ Поэтому, как нам кажется, иерархический принцип взаимообусловленности и подчинения мог бы быть вторым основополагающим принципом молекулярной биохимической логики, а, следовательно, молекулярной биологии и биологической информатики.

Этот закон устанавливает иерархию отношений и взаимообусловленности между информацией, структурой, энергией и функцией в молекулярных биологических процессах.

В настоящее время в молекулярной биологии такая концепция отсутствует. Как мы убеждаемся, биологическая форма материи подчиняется ещё одному закону, по которому генетические сообщения преобразуются и загружаются в специфическую структуру биомолекул, а их стереохимическая информация, при комплементарных (информационных) взаимодействиях, возбуждает биологическую функцию, а, следовательно, и процессы управления.

Поэтому все биологические функции в живой системе возникают и формируются только информационным путём, а вся «**технология**» построения и функционального поведения биологических молекул определяется генами и удивительными природными качествами и свойствами применяемых биологических элементов (химических букв и символов общего молекулярного алфавита).¹¹

Президент Корпорации «Информационная медицина»

В.П.Барзинский

г. Киев, январь 2012 года

¹⁰ Ю.Я.Калашников. Концепция информационной молекулярно-биологической системы управления. - М., 2005. -88с. - Депонир. в ВИНТИ РАН 14. 04. 05, № 505-B2005, УДК 577. 217:681.51

¹¹ Использованы материалы с сайта <http://www.sciteclibrary.ru>