**Генетическая память, молекулярные биопроцессоры и их выходное управляющее звено**

Калашников Юрий Яковлевич

**Аннотация**

Генетическая память, молекулярные биопроцессорные аппараты транскрипции и трансляции и их выходное управляющее звено – белки и ферменты являются центральными устройствами, на базе которых построена управляющая система клетки. Белковые макромолекулы, представляющие собой молекулярные биологические автоматы, образуют различные циклические информационные потоки и сети, контролирующие различные химические и молекулярные функции живой клетки (организма). Программирование этих потоков и сетей обеспечивается экспрессией десятков и сотен различных генов, объединенных между собой скоординированными управляющими и регуляторными воздействиями. Поэтому, если учесть, что различные ферментативные системы, порой состоящие из десятков и сотен ферментов (молекулярных автоматов), участвуют в организации множества различных последовательностей идущих друг за другом химических реакций, которые в совокупности составляют клеточный метаболизм, то можно констатировать, что управление химическими процессами и биологическими функциями живой клетки осуществляется молекулярными информационными потоками и сетями “автоматизированного” управления.

Информационный подход проникает во все сферы человеческой деятельности. Не исключением является и наука о живой материи. Это естественно, так как концепция генетического кода предполагает и наличие в любой живой клетке целостной системы передачи и обработки генетической информации. Сравнительно недавно в технических устройствах для программной обработки информации стали применяться микропроцессоры. Известно, что процессор в технической системе осуществляет процессы автоматического выполнения последовательности команд в соответствии с принципами программного управления. На основе микропроцессоров строятся различные устройства, способные перерабатывать любую информацию. Это чудо техники прошлого века, способное к программному управлению, внесло большой вклад в развитие современных информационных систем и технологий, компьютеров, управляющих устройств и т. д. Тем не менее, обратим внимание на то обстоятельство, что первые процессоры, встроенные в клетку, были применены живой природой ещё миллиарды лет тому назад! В первую очередь, – это молекулярные биопроцесcорные системы репликации, транскрипции и трансляции генетической информации. Живая клетка должна постоянно пользоваться той информацией, которая хранится в её генетической памяти. Поэтому каждая клетка имеет все необходимые программные и аппаратные средства для “автоматизированной” переработки генетической информации. Обработанная и загруженная в различные биологические молекулы информация нужна как для взаимодействия биомолекул друг с другом, так и для их функционального поведения. Наука и техника всегда перенимали и копировали опыт великих достижений живой природы. Поэтому в настоящее время более детально и пристально изучаются и исследуются “творческие” пути, причины и механизмы живого состояния. Достаточно сказать, что ведутся разработки по микроминиатюризации различного рода технических средств для переработки информации. Изучаются принципы и методы обработки и использования генетической информации живыми клетками. Делаются попытки построения логико-вычислительных и интеллектуальных систем на принципах, присущих живым организмам. Думается, что особое внимание науке следует уделить и универсальной во всех отношениях молекулярной элементной базе, применяемой в живых системах. Тем более что эту базу уже не нужно разрабатывать, её можно получать в любых количествах, а по своим непревзойденным свойствам и качествам она не имеет себе аналогов и успешно используется живой природой в течение миллиардов лет! [1]. К примеру, плотность компонентов искусственных информационных систем, построенных на этой базе, могла бы возрасти еще на несколько порядков больше, чем она существует в современных полупроводниковых интегральных схемах. Исследователи, по-видимому, ещё не полностью оценили эти удивительные многофункциональные элементы, с их уникальными достоинствами и технологическими возможностями, которые широко используются в живых клетках и организмах. Ясно, что живая природа – это бездонный кладезь новых идей, принципов и механизмов. Она обладает надежно сконструированными и эффективно действующими (различного рода и назначения) молекулярными аппаратными устройствами, автоматами, манипуляторами, биопроцессорными системами и т. д. Поэтому апробированная миллионолетиями молекулярная технология химических, энергетических и информационных процессов должна стать достоянием сегодняшнего дня. Она должна стать стартовой площадкой для новых искусственных молекулярных технологий, которые могли бы применяться в различных областях науки и техники. Это, по всей вероятности, и есть то главное направление, по которому можно добиться наибольшей эффективности и производительности в новых химических, энергетических и информационных технологиях 21 века. Поэтому впредь, прежде чем “изобретать велосипед”, в первую очередь, следует исследовать опыт живой природы и научиться строить на основе уникальной элементной базы высокоэффективные биоподобные искусственные устройства и системы по переработке биоорганического вещества, обработке информации или генерированию химической, электрической или других видов энергии. Для этой цели можно использовать и имеющиеся в живой природе молекулярные устройства, аппараты и системы. Разгаданные с таким великим трудом многочисленные тайны живой формы материи должны быть достоянием общества в целом и стать на службу человеку. 1. Генетическая память. Хранилищем и источником наследственной информации в каждой живой клетке является ДНК хромосом. Генетическая память как постоянное запоминающее устройство служит для хранения данных и программ. Однако, естественно, всегда надо помнить, что генетическая память хромосом – это понятие несравненно более обширное и более грандиозное, чем, к примеру, – память компьютерная. К этой многосложной молекулярной структуре, отождествляющей “спираль жизни”, нельзя относиться без достаточной доли уважения и благоговения. Сначала отметим, что в живой клетке, точно так же, как и в любой сложной информационной технической системе, действует принцип хранимой в памяти программы. Согласно этому принципу все программы и данные хранятся в генетической памяти в закодированной форме, в виде комбинационной последовательности четырёх нуклеотидов в длинных цепях ДНК. Если, к примеру, в памяти цифровых технических систем имеется два вида информации – команды и данные и их можно четко разграничить, то в генетической памяти их можно идентифицировать лишь условно. К “данным”, видимо, можно отнести ту структурную информацию гена, которая является основой для кодирования тех фрагментов полипептидной цепи, которые ответственны за организацию внутримолекулярных структур, исполнительных органов и механизмов белковой молекулы. А к “командам”, видимо, можно отнести ту часть информации гена, которая ответственна за формирование различного рода локальных или поверхностных стереохимических сигналов белка – адресных кодов, кодов операции, регуляторных кодов, кодовых микроматриц и т. д. Значит, к командам и данным, хранящимся в генетической памяти, можно отнести ту информацию, которая является основой для кодирования трёхмерной организации и функционального поведения белковых молекул, обеспечивающих различные структурные и обменные процессы клетки. Тогда к “данным”, которые может обрабатывать управляющая система может относиться и та молекулярная информация, которая поступает в клетку в виде питательных веществ (субстратов). Они, как раз, и являются теми данными, которые в первую очередь подлежат “автоматизированной” переработке с помощью соответствующих ферментативных систем. К данным, видимо, можно отнести информацию и тех групп генов, которые кодируют структурные белки, хотя структура в биологии понятие относительное, так как она всегда связана с выполнением определённых биологических функций. Следует обратить особое внимание на то, что кодовое разделение сигналов, как линейных химических, так и пространственных – стереохимических, широко применяемое в живых системах, является базовой основой всех информационных передач генома. Только понимание того, что информация в молекулярной системе записывается, передаётся и реализуется с помощью тех молекулярных кодов и кодовых посланий, которые загружены в структуру различных биомолекул, может помочь разобраться с принципами и механизмами организации живой формы материи. К примеру, важно знать, что любая полипептидная цепь всегда является эквивалентом соответствующего кодового послания генома, указывающего будущие характеристики белковой молекулы [2]. В генетической памяти живой клетки может храниться множество программ, обеспечивающих те или иные биологические функции и процессы. Поэтому, автоматическое управление процессами решения различных биологических задач в живой системе осуществляется на основе принципа программного управления. Для программной переработки генетической информации в живой клетке широко применяется принцип микропрограммного управления, когда выполнение одной биологической операции, например, биосинтез белка, распадается на последовательность отдельных элементарных операций. Хромосомы клетки являются не только хранилищем генетической информации, они же являются и той многофункциональной системой, которая ответственна за передачу различных генетических программ в оперативную память живой клетки. Роль оперативной памяти в клетке выполняют различные биомолекулы РНК – информационная РНК, рибосомная РНК, транспортная РНК. Поскольку программы хранятся в памяти, то одни и те же команды могут извлекаться и выполняться нужное число раз. Более того, так как реализация команд в живой клетке осуществляется в форме трёхмерных биомолекул, то и над командами, как над информационными данными, могут производиться различные операции. Например, в виде модификации белковых молекул или в виде регуляторных сигналов (молекул) обратных связей для воздействия на аллостерические ферменты. А обработка генетических данных и организация потоков управляющей информации в каждой живой клетке, в первую очередь, осуществляется при помощи уникальных унифицированных молекулярных биопроцессорных систем управления – транскрипционного и трансляционного аппаратов.

2. Молекулярные биопроцессорные системы. Генетическая память, молекулярные биопроцессорные системы и их выходное управляющее звено – белки и ферменты являются центральными устройствами, на базе которых построена управляющая система клетки. Гены служат только для хранения информации, поэтому её необходимо сначала считывать, а затем определённым образом перерабатывать с тем, чтобы получить форму, приспособленную для непосредственного применения в различных биологических процессах. Для этой цели в клетке применяются специальные аппаратные средства транскрипции и трансляции, которые представляют собой ничто иное, как молекулярные системы для микропрограммной переработки генетической информации. Фактически каждая живая клетка для микропрограммной обработки генетической информации применяет такие аппаратные устройства, которые с кибернетической точки зрения вполне эквивалентны молекулярным биологическим процессорам.

Состав и характеристики транскрипционного и трансляционного аппаратов достаточно наглядно отражены в соответствующей биологической литературе. Поэтому можно легко убедиться в том, что эти аппараты, как системы с микропрограммным управлением, имеют все необходимые узлы, компоненты и характеристики, позволяющие их отнести к категории молекулярных биопроцессорных систем управления. Молекулярная биопроцессорная система отличается от управляющего микропроцессора не только вещественно-информационным субстратом или методом обработки информации в управляющие сигналы, но и широким параллелизмом действия её биопроцессорных единиц. Поэтому биопроцессорные единицы, несмотря на то, что они практически состоят из одних и тех же компонентов, можно легко подразделять как по назначению, так и по характеру выполняемых ими функций.

Процесс управления в сложных технических устройствах и в живой клетке, в определённой мере, выполняет одни и те же задачи, хотя есть и существенные различия в информационных субстратах и в организации самих информационных процессов. Кроме того, если информация в технических устройствах есть функция аппаратной системы, то в живых клетках чаще всего наоборот, – информационные сообщения сами являются базовой основой построения или реорганизации аппаратной системы клетки (белков, ферментов и других функциональных устройств). Сердцем управляющей системы живой клетки являются генетическая память и локальные биопроцессорные контуры управления, находящиеся, как в цитоплазме клетки – трансляционный аппарат, так и биопроцессорные системы верхнего уровня, находящиеся в клеточном ядре – транскрипционный аппарат. Эти аппараты выполняют различные информационные функции. К примеру, ядерные биопроцессорные устройства верхнего уровня (транскрипционный аппарат) служат для микропрограммного управления процессами считывания генетической информации в оперативную память рибонуклеиновых кислот. Известно, что ДНК и РНК живой клетки построены из одних и тех же мономерных звеньев – нуклеотидов. Однако между этими двумя нуклеиновыми кислотами имеются определённые различия, которые и привели к появлению в живой клетке особой молекулярной биопроцессорной системы, которая предназначена для считывания информации с ДНК-матрицы и переноса её на структуру РНК. “Этот процесс носит название транскрипции (переписывания). При этом часть двойной спирали ДНК раскручивается, и вдоль одной из её цепей движется особый фермент, который выстраивает нуклеотидные мономеры РНК против их партнёров на цепи ДНК и соединяет эти мономеры друг с другом, так что образуется длинная цепь РНК… На ДНК-матрице образуется три типа РНК: информационная, транспортная и рибосомная” [3]. Таким образом, задача по считыванию генетической информации в оперативную память структуры РНК решается путем выполнения отдельных микроопераций строго в соответствии с микропрограммой того участка ДНК, который определяется структурным геном. Результатом работы транскрипционной процессорной системы является загрузка в оперативную память РНК структурной и программной информации, которая необходима для выполнения различных биологических функций живой клетки. Так происходит считывание генетической информации и передача её к другой биопроцессорной системе для трансляции, то есть для перевода информации иРНК в аминокислотную последовательность белковых молекул с помощью генетического кода. В виде информационной РНК, которая в клеточной системе выполняет роль оперативной памяти, генетические программы по синтезу полипептидов передаются к белоксинтезирующему аппарату клетки, то есть к рибосомам. Кратко рассмотрим принцип работы молекулярной биопроцессорной системы трансляции (трансляционный аппарат). Основным компонентом типовой биопроцессорной единицы является рибосома. Важная регулирующая роль в синтезе белка помимо иРНК принадлежит тРНК. С помощью специального фермента аминоацил-тРНК-синтетазы тРНК присоединяет на одном из своих концов молекулу соответствующей аминокислоты, в результате чего возникает комплекс аминоацил-тРНК. тРНК при участии белковых факторов устройства управления и энергии гуанозинтрифосфата (ГТФ) доставляет аминокислоту в рибосому для включения ее в растущий полипептид. С помощью своего антикодона тРНК информационно взаимодействует с комплементарным ему кодоном иРНК и таким образом обеспечивает необходимую последовательность микроопераций включения аминокислот в синтезируемую полипептидную цепь, строго в соответствии с микропрограммой заданной иРНК. Благодаря этой функции тРНК дешифрует генетический код в иРНК-матрице и переводит его в биологический код аминокислотной последовательности белка. Сама рибосома, в частности, обладает каталитической функцией, ответственной за образование пептидных связей в цепи белка. Как мы видим, иРНК в биопроцессоре играет роль матричного модуля оперативной памяти, несущего микропрограмму преобразования генетической информации в структурную и функциональную информацию полипептидной цепи белка.

Таким образом, задача по преобразованию генетической информации в линейную структуру белка решается путем выполнения отдельных элементарных микроопераций строго в соответствии с заданной микропрограммой, которая заранее была загружена в оперативную память структуры иРНК. При этом системой реализующей процесс трансляции с известными стадиями инициации, элонгации и терминации является молекулярный биологический процессор. Весь ход процессинга и адресной доставки фермента в соответствующий компартмент осуществляется в виде отдельных операций манипуляторами устройства управления, точно в соответствии с кодовыми компонентами белка. В результате конформационного преобразования и процессинга макромолекула фермента (белка) приобретает характерную трехмерную конформацию со своими стереохимическими кодами и, в связи с этим, – свой информационно-кибернетический статус. Далее, точно в соответствии с функциональным адресным кодом и кодом каталитической операции фермент, действуя как молекулярный биологический автомат, выполняет определенный тип химической реакции. Если фермент является аллостерическим, то на него могут воздействовать регуляторные молекулы обратных связей, влияя, таким образом, на ход химической реакции. Так происходит реализация управляющей генетической информации. Поскольку каждый фермент способен ускорять лишь какую-то одну цепь реакций данного соединения, не влияя на другие возможные реакции, то в отдельно взятом компартменте одновременно может протекать множество различных химических реакций. В связи с этим можно сделать заключение о том, что других специальных механизмов синхронизирующих работу белков и ферментов, по-видимому, не требуется (кроме сигналов обратных связей или изменения физических и химических факторов микросреды). Если работу трансляционного аппарата рассматривать с информационной точки зрения, то он, как молекулярный биопроцессор, выполняет следующие основные функции:

1) реализацию алгоритма связывания начальной точки считывания матричной цепи иРНК (оперативной памяти) с рибосомой (процесс инициации трансляции);

2) микропрограммное преобразование, в реальном масштабе времени линейных информационных кодов (триплетов) иРНК в линейную аминокислотную кодовую последовательность полипептидной цепи белка (процесс элонгации);

3) реализацию алгоритма процесса терминации (завершения) трансляции. Далее устройство управления биопроцессорной системы осуществляет: 4) конформационное преобразование полипепидной цепи (процесс стереохимического кодирования) и процессинг, связанные с формированием стереохимических кодов фермента (белка), предназначенных для управляющих воздействий и приема регуляторных сигналов обратных связей;

5) автоматическое распределение и адресную доставку управляющих белков в соответствующий операционный блок (компартмент);

6) реализацию ферментами управляющих воздействий в соответствии с их адресными и каталитическими кодами, определяющими требуемый результат управления;

7) согласование взаимодействия выходного управляющего звена (ферментов) биопроцессорной системы с управляемыми биохимическими объектами (субстратом) по их сигнальным кодовым компонентам;

8) сбор и использование регуляторных молекул обратной связи (их стереохимических кодов), которые, как правило, являются конечными продуктами химических реакций;

9) обмен информацией с вышестоящей ядерной управляющей системой. Такова общая картина прохождения и реализации генетической информации. Важно отметить, что размещенные в оперативной памяти иРНК генетические программы сначала загружаются биопроцессорной системой трансляции в полипептидные цепи, а затем реализуются в виде трёхмерных белков и ферментов. Специфические коды регуляторных молекул воспринимаются центральными устройствами управляющей системы или аллостерическими ферментами, в частности, и это ведет к изменению хода управляемых химических реакций. Система самоуправления живой клетки состоит локальных биопроцессорных контуров управления цитоплазмы и систем верхнего ядерного уровня. Между ними также обеспечивается интенсивный обмен информацией.

В ядерную систему верхнего уровня передается как запрос на нужную управляющую информацию, так и сигналы обратной связи о достижении целей управления. Как мы видим, для программной переработки генетической информации в живой клетке широко применяется принцип микропрограммного управления, когда выполнение одной биологической операции распадается на последовательность отдельных элементарных операций. Поэтому живая клетка для микропрограммной обработки генетической информации имеет свои специфические устройства, которые с кибернетической точки зрения вполне эквивалентны молекулярным биологическим процессорам. Молекулярный биопроцессор, на своём рабочем уровне, тоже реагирует на список операций, называемой программой. Эта программа, как известно, заключена в генах и предназначена для переноса на биомолекулы иРНК, которые в клеточной системе выполняют роль оперативной памяти. В биологической литературе такие аппаратные системы уже давно отождествляются с молекулярными биологическими “машинами” или механизмами. Наглядный пример: “Синтез белка в клетке осуществляет сложная система, состоящая из множества компонентов. Одна из особенностей этой системы заключается в том, что она существует в клетке как бы в разобранном виде, то есть её отдельные компоненты, когда они не участвуют в синтезе белка, не связаны друг с другом в единую физическую структуру, а находятся в цитоплазме раздельно. Но каждый раз, когда начинается процесс синтеза белка, из этих компонентов, благодаря их согласованному взаимодействию, возникает своеобразная, уникальная биологическая “машина”. Пусковым событием, которое приводит к взаимодействию всех компонентов системы синтеза белка и образованию активно работающей “машины”, является поступление генетической информации в виде иРНК. Завершение процесса трансляции приводит одновременно и к диссоциации белоксинтезирующего комплекса на отдельные его компоненты. Следовательно, биологическая “машина”, синтезирующая белок, представляет собой очень динамичный комплекс, который собирается каждый раз заново для синтеза индивидуальной полипептидной цепи. Уникальность такой “машины” состоит в том, что, возникая каждый раз из одних и тех же компонентов и работая по одному и тому же принципу, она выдаёт каждый раз различную продукцию (различные белки) в зависимости от получаемой ею программы” [4]. Как мы видим, весь смысл работы молекулярных биопроцессоров заключаются в том, чтобы передать структурную и программную информацию белкам и ферментам – выходному управляющему звену биопроцессорных систем живой клетки. Поэтому транскрипционный аппарат обеспечивает загрузку разнообразнейшей информации в оперативную память структуры иРНК, а трансляционный аппарат строго в соответствии с этими данными строит различные полипептидные цепи. При этом выходное звено управления, с информационной точки зрения, представляет собой множество различного рода адресно доставляемых и локально рассредоточенных молекулярных биологических автоматов, манипуляторов и агрегатированных аппаратных устройств, с программной биохимической логикой [1]. Применение в управляющей системе биопроцессорных устройств явилось существенным эволюционным вкладом в повышение гибкости и улучшения качества управления биохимическими процессами клетки. Именно на этом уровне рельефно проявляется факт целенаправленного прохождения генетической информации и ее управляющий характер. Функции биопроцессорных единиц в управляющей биокибернетической системе клетки жизненно важны и требуют с информационной точки зрения более детального рассмотрения и изучения.

По выполняемым функциям генетическая память, молекулярные биопроцессоры и их выходное звено – ферменты и белки являются центральными устройствами клетки, на базе которых построена её информационная биокибернетическая система. А биопроцессорные единицы живой клетки при этом отличаются широким параллелизмом действия и возможностью изменения управляющей программы. В связи с этим, система самоуправления живой клетки состоит из локальных контуров управления, действующих как в цитоплазме, так и в самом ядре живой клетки. Между ними также обеспечивается интенсивный обмен информацией. В ядерную систему верхнего уровня передаётся как запрос на нужную управляющую информацию, так и сигналы обратной связи о достижении целей управления. В связи с этим, самым приоритетным направлением молекулярной биологической информатики должно стать изучение структурной организации биопроцессорных единиц и механизмов их функционирования. Однако уже ясно, что в основе действия этих механизмов лежит позиционная информация биомолекул – линейных, локальных и поверхностных молекулярных биохимических матриц, образованных линейным, а затем и координатным расположением боковых атомных групп составляющих их элементов, способных к динамическому взаимодействию и спариванию посредством различных информационных сил и связей [2]. Особое значение клеток как раз и состоит в том, что с их появлением живая природа получила целый комплекс удивительных молекулярных биопроцессорных систем управления, с уникальной генетической и оперативной памятью. Эти системы приспособлены к автоматической обработке генетической информации, а их выходное управляющее звено – белки и ферменты приспособлены к “автоматизированной” переработке различных видов молекулярной информации, как управляющей, так и сигнальной осведомляющей (субстратной), в том числе и молекулярной информации питательных веществ. Поэтому, в целом, можно констатировать, что управление всеми химическими и биологическими функциями живой клетки осуществляется молекулярными информационными потоками и сетями “автоматизированного” управления. А управляющая система клетки, состоящая из генетической памяти, комплекса локальных биопроцессорных систем и выходного управляющего звена – молекулярных автоматов и манипуляторов, воспринимает информацию о ходе управляемых реакций, об эффективности протекающих процессов, об изменении физических и химических факторов и в зависимости от результата корректирует управляющие воздействия [5].

3. Белки и ферменты – выходное звено управления биопроцессорных систем. Белки и ферменты, как выходное управляющее звено представляет собой множество различного рода молекулярных биологических автоматов, манипуляторов или агрегатированных аппаратных устройств, с программной биохимической логикой. Каждый из этих, иногда довольно сложных молекулярных устройств, приспособлен выполнять определённую последовательность команд и био-логических функций. То есть все эти аппаратные устройства могут автоматически выполнять какие-то определённые алгоритмы био-логической деятельности [1]. В данном случае имеются все основания говорить о программировании молекулярных биологических функций. Ясно, что программирование структур и функций белковых молекул осуществляются с помощью биопроцессорных аппаратных систем транскрипции и трансляции генетической информации. Мы уже говорили об этом. Сначала с помощью этих устройств строятся и программируются ферменты и другие клеточные белки, а затем с помощью ферментов программируется структурная организация и функциональное поведение всех остальных биомолекул и структур клетки. Причем, функции клеточных структур и органелл могут меняться только на базе вновь синтезированных и включенных в их состав биомолекул. Для их взаимодействия и возникновения новых биологических функций в клетке нужна информация, как старых структур, так и новых биологических молекул. Поэтому эти структуры могут менять форму, делиться, но никогда не могут возникнуть заново, на основе только одних синтезированных биомолекул. В результате большого числа параллельно идущих процессов происходит программирование белков и ферментов, а через них, соответственно, осуществляется и программное управление химическими реакциями и биологическими функциями клетки. Информационная молекулярно-биологическая (биокибернетическая) система живой клетки – это комплекс различных молекулярных управляющих устройств и средств, который, с одной стороны, осуществляет управление различными химическими процессами и биологическими функциями, а с другой – занимается реорганизацией и реконструкцией своих же биологических структур и компонентов. Поэтому ферменты и другие функциональные белки используются клеткой как выходное управляющее звено её биопроцессорной системы. Ясно, что подобные процессы не могут обеспечиваться химическими катализаторами, какими бы уникальными и замечательными свойствами они не обладали. Работу ферментов, как организаторов всех химических процессов живой клетки, нельзя определять только одним, хотя и существенным их свойством. Феномен биологического управления по силам лишь молекулярным биологическим автоматам и манипуляторам. А полифункциональный катализ, используемый молекулярными биологическими автоматами (ферментами), применяется лишь как способ управления химическими превращениями. Однако избирательная химическая и динамическая реактивность фермента может осуществляться только информационным путём. Главное назначение белков и ферментов – обеспечивать живую клетку необходимыми ресурсами и материалами, а также осуществлять управление всеми процессами её жизнедеятельности и развития. Одна из отличительных особенностей управляющей системы клетки заключается в том, что она, как правило, взаимодействует с физико-химическими объектами управления, имеющими признаки единства вещества, энергии и информации. При этом операции, связанные с процессом управления, выполняются в реальном масштабе времени. Целью управления является обеспечение клетки необходимыми ресурсами, энергией и элементной базой. Поэтому живая клетка в полном смысле может рассматриваться как биокибернетическая система, которая не только самоуправляется, но и “конструируется” информационным путём. Поэтому информационное управление должно охватывать и такие клеточные функции, как: 1) извлечение энергии из окружающей среды (либо в форме энергии солнечного света, либо в форме энергии органических веществ); 2) получение исходных низкомолекулярных материалов для процессов биосинтеза элементной базы; 3) превращение исходных материалов в элементную биохимическую базу живой клетки или получение этих мономеров из окружающей среды; 4) разрушение “устаревших” биомолекул, выполнивших в клетке свои функции.

Иными словами, часть выходного аппарата биокибернетической системы должна координировать во времени и пространстве совокупность огромного числа ступенчатых химических реакций: окисления, восстановления, расщепления, межмолекулярного переноса атомных групп и т. д. Поэтому “сотни протекающих в клетке химических реакций катализируемых ферментами, организованы в виде множества различных последовательностей идущих друг за другом реакций. Такие последовательности могут состоять из нескольких реакций – от 2 до 20 и более. Одни из этих последовательностей ферментативных реакций приводят к расщеплению органических пищевых продуктов на более простые соединения, причем в процессе такого расщепления из них извлекается энергия. Другие последовательности реакций, требующие затраты энергии, начинаются с малых предшественников, которые постепенно соединяются друг с другом и образуют крупные и сложные макромолекулы” [6]. Все эти процессы обычно локализованы в соответствующих участках клетки и организованы ферментативным аппаратом в виде различных последовательностей единичных операций по конвейерному или циклическому типу. Каждый объект управления (субстрат) является носителем в “законсервированном” (статическом) виде определённой структурной биологической информации и химической энергии, накопленной в его химических связях. Поэтому все органические питательные вещества, поступающие в живую систему, представляют собой молекулярные информационно-энергетические субстраты, которые поставляют в клетку необходимые структурные, информационные и энергетические компоненты. И всё это клетка получает в результате информационной переработки субстратов (данных). Если генетическую информацию рассматривать как программы, предназначенные для переработки “данных”, то под общим термином – “данные” можно понимать и ту биохимическую информацию субстратов, которую перерабатывает управляющая система, а так же те химические буквы и символы, которыми манипулирует система при организации управляющих процессов клетки. То есть информационная, вещественная и энергетическая составляющие различных субстратов (в том числе и органических пищевых веществ) – это и есть те материальные компоненты, с которыми работает управляющая система клетки. Путём “расконсервации” этих составляющих живая клетка получает всё необходимое для процессов жизнедеятельности и развития. Благодаря стереохимической форме представления информации, сигнальными элементами субстратов для управляющей системы являются лишь те элементы, к которым она в данный момент имеет доступ. Другие же сигнальные элементы (буквы, символы или знаки) временно маскируются в трёхмерной структуре субстрата. Поэтому информационное преобразование молекулы субстрата, при обработке её различными ферментами, осуществляется последовательно, шаг за шагом (программно), в виде отдельных единичных каталитических операций (реакций). Таким образом, все биологические процессы управления и химического превращения веществ в клетке сопряжены с процессами преобразования биологической информации и находятся под генетическим контролем. К примеру, процессы управления ступенчатыми химическими реакциями в живой клетке непосредственно связаны с переработкой двух видов информации. С одной стороны, с обработкой генетической информации, которая в результате процессов транскрипции и трансляции преобразуется в трёхмерную структуру и информацию управляющих биомолекул ферментов и белков, с другой стороны – с преобразованием осведомляющей информации биомолекул субстрата, так как каждая ступенчатая реакция химического превращения вещества ведёт и к изменению его кодовых компонентов [2]. Поэтому клеточная система сразу же получает информацию о ходе управляемых химических процессов в виде стереохимических кодов продуктов реакции, которые становятся субстратами для других ферментов или выступают в качестве сигнальных или регуляторных молекул обратной связи. Так как в основе биологической формы материи лежит принцип тождественности химических и информационных компонентов, то все биохимические процессы, в частности, можно рассматривать с двух точек зрения – или с физико-химической, или же с информационной. Если же учесть, что только информационная составляющая обеспечивает упорядоченность структур и процессов, то и в молекулярной биологии возникает необходимость применения именно информационного подхода. Все белковые (как, впрочем, и другие) молекулы образуют циклические информационные потоки и сети, контролирующие различные биохимические и молекулярные функции живой клетки (организма). Программирование этих потоков и сетей обеспечивается экспрессией десятков и сотен различных генов, объединённых между собой скоординированными управляющими и регуляторными воздействиями. А если учесть, что различные ферментативные системы, порой состоящие из десятков и сотен ферментов, участвуют в организации множества различных последовательностей идущих друг за другом химических реакций, которые в совокупности составляют клеточный метаболизм, то можно констатировать, что управление химическими процессами и биологическими функциями клетки осуществляется молекулярными информационными потоками и сетями “автоматизированного” управления. Увеличение помехоустойчивости передач генетических сообщений достигается также и за счет циклической работы информационных сетей и потоков “автоматизированного управления”, которые, собственно, и служат для управления всеми потоками вещества, энергии и различными сетями химических реакций в живой клетке. Поэтому сущность живого состояния сводится к хранению, передаче, преобразованию и реализации генетической информации по различным сложно организованным сетям и каналам клетки. Только молекулярные биологические процессоры и их выходное управляющее звено – белки и ферменты, организованные в виде информационных потоков и сетей “автоматизированного” управления, обеспечивают управление, регуляцию и контроль клеточного метаболизма. Только наличие таких потоков и сетей способно превратить клетку в элементарную основу жизни, в центр, где все процессы по переработке органического вещества, химической энергии и генетической информации полностью скоординированы, “механизированы и автоматизированы” [5]. В связи с этим, все химические процессы в живой клетке трансформируются на более высокий уровень организации, который может быть обеспечен только программной информацией. Важно еще раз подчеркнуть, что для реализации и воплощения генетической информации в биологическую структуру и функцию и программного управления этими процессами в клетке имеются свои унифицированные молекулярные аппараты, которые со всех точек зрения вполне эквивалентны процессорным устройствам для программной переработки информации.

4. Программное обеспечение клетки. Биологические процессы, как мы выяснили, не ограничены одними физико-химическими законами, – они подчиняются и закономерностям молекулярной биохимической логики и генетической программной информации. На основании этих закономерностей и программной информации в живой клетке постоянно возбуждаются биологические алгоритмы, или совокупность процедур и операций, определяющих характер поведения биологических молекул и молекулярных систем. Генетическая память обладает феноменальными информационными возможностями. И, действительно, в последовательности оснований внутри двойной спирали ДНК закодирована вся необходимая информация для осуществления жизнедеятельности, развития и самовоспроизведения живой системы. А главной задачей программных средств, используемых в клетке, является обеспечение оперативного взаимодействия управляющего звена – белков и ферментов с биохимическими объектами управления. Поэтому все клеточные процессы и функции координируются той программной информацией, которая в данное время перенесена (загружена при помощи биопроцессорных систем или соответствующих ферментов) и находится в функциональных биомолекулах и структурах живой клетки. Важно отметить, что живая клетка, точно так же как и любая другая система для “автоматизированной” переработки информации, имеет свою “операционную систему” – набор программ, который организует и приводит в действие многие аппаратные и программные ресурсы живой клетки. В первую очередь, операционная система клетки обеспечивает построение и функционирование основных компонентов молекулярных биопроцессорных систем – транскрипционного и трансляционного аппаратов. То есть тех средств, которые предоставляют услуги для выполнения различных клеточных программ. Операционная система – это совокупность важнейших программ, предназначенных для управления процессами считывания генетической информации и перевода текста программ с языка нуклеиновых кислот на аминокислотный язык белковых молекул, то есть, в конечном итоге, на стереохимический язык трёхмерных биомолекул и структур. Значит, операционная система клетки содержит встроенные функции перекодировки из одной системы кодирования в другую. А для перевода закодированных сообщений используются свои программы-переводчики. Поэтому, можно сказать, что операционная система состоит из набора отдельных транскрибирующих и транслирующих программ, обеспечивающих как построение, так и функциональное поведение основных биопроцессорных комплексов живой клетки. Определённые группы генов кодируют и программируют синтез рибосомных и транспортных РНК, другие группы генов (программ) контролируют биосинтез белков и ферментов, обеспечивающих работу транскрипционного и трансляционного аппаратов (биопроцессорных систем). Таким образом, операционная система создаёт и предоставляет аппаратные средства и функциональные услуги для выполнения всех генетических программ живой клетки. Она контролирует проявление всех структурных генов клетки и соответственно является одним из основных факторов клеточной интеграции. В генетической памяти клетки существует значительное количество различных пакетов программ, решающих различные биологические задачи. Причем, ключ к решению биологических задач, с помощью управляющей системы, лежит не в переборе вариантов при поиске решений. Программы реализуют стереохимические принципы узнавания и динамического взаимодействия, которые гарантируют точность матричного спаривания биологических молекул и проверку их на комплементарное соответствие друг другу. Этим достигается не только повышенная помехоустойчивость при прохождении управляющей информации, но и высокая достоверность передачи сообщений. В свете рассмотренных идей становятся понятными и принципы организации доступа к информации генетической памяти. Хромосомы ядра, благодаря присутствию в них структурных и регуляторных белков, а также “малых” двухцепочечных РНК, являются чрезвычайно активными динамическими компонентами клетки. Гибкость ДНК в составе хромосом позволяет регуляторным белкам и РНК информационно связываться с различными её участками и влиять на транскрипцию генов. При этом каждый из этих управляющих белков и “малых” РНК, благодаря программной информации и своим стереохимическим кодовым компонентам, четко знает свою функциональную роль. Согласованность действия различных управляющих, а также регуляторных белков и “малых” РНК достигается за счет генетической информации, которая заранее была загружена в их структуру. А загруженные в их структуру программы являются составляющими того пакета программ, который предназначен как для организации автоматического доступа к генам ДНК, так и для управления и регуляции процессами транскрипции генетического материала. В силу этих обстоятельств отдельные домены хроматина в хромосомах в процессе функционирования разворачиваются, а после окончания считывания информации с генов ДНК вновь упаковываются. Поэтому сами хромосомы представляют собой активные динамические структуры, в разных участках которых идут процессы считывания информации с ДНК. Доступ к генетической памяти основан на тех же правилах информационного стереохимического управления и тех же принципах динамического взаимодействия биологических молекул друг с другом, которые являются основой управляющих био-логических процессов в живой клетке [5]. Нам остаётся лишь научиться расшифровывать и понимать эту информацию. Функциональные программы, хранящиеся в генетической памяти, считываются по запросу или по мере необходимости транскрипционным аппаратом хромосом в оперативную память живой клетки, роль которой выполняют биомолекулы РНК. Генетическая память имеет полный набор программных средств для обслуживания ступенчатых процессов катаболизма и энергетического обеспечения, для обслуживания процессов биосинтеза молекул, систем репарации ДНК, аппаратных устройств ввода молекулярной информации питательных веществ и вывода конечных продуктов обмена веществ и т. д. Генетическая память живой клетки имеет пакет программ, кодирующих и программирующих молекулярные средства и механизмы самовоспроизведения, которые начинают синтезироваться и действовать строго в соответствии с общей программой развития. А программирование самой генетической памяти осуществляется особым репликативным аппаратом живой клетки в S-период её развития, и дочерние клетки получают полный дубликат генетического материала. Этот аппарат является молекулярной биопроцессорной системой репликации. Программное обеспечение клетки – это важнейший проблемный вопрос молекулярной биологической информатики. Автор давно убеждён, что только альтернативный информационный подход к молекулярным биологическим проблемам может позволить по-иному взглянуть на давно известные биофизические и биохимические закономерности и открыть новые страницы в изучении биологической формы движения материи. Кроме того, информационный подход мог бы послужить еще и стимулом к объединению усилий различных биологических наук и дисциплин, изучающих сущность живого. Однако нет сомнений в том, что феномен живого состояния материи так и останется мировой загадкой до тех пор, пока не будет изучена и исследована его информационная основа.

**Список литературы**

1. Ю. Я. Калашников. Ферменты и белки – это молекулярные биологические автоматы с программным управлением. – М., 2002.–25с. – Депонир. в ВИНИТИ РАН 21.05.02, №899-В2002, УДК 577.217:681.51

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

3. П. Кемп, К. Армс. Введение в биологию. Пер. с англ. – М: Мир, 1988.

4. А. И. Коротяев, Н. Н. Лищенко. Молекулярная биология и медицина. – М: “Мед.” 1987.

5. Ю. Я. Калашников. Концепция информационной молекулярно-биологической системы управления. – М., 2005.– 88с. – Депонир. в ВИНИТИ РАН 14.04.05, №505-В2005

6. А. Ленинджер. Основы биохимии. Пер. с англ. в 3-х томах – М: Мир, 1985.