

О СТРУКТУРЕ ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИХ СИСТЕМ

В. А. ГЕОДАКЯН

В кн.: *Проблемы кибернетики*. М., Наука, 1972, вып. 25, с. 81–91.

1. «Одной из основных задач теоретического исследования в любой области знания является установление такой точки зрения, с которой объект исследования проявляется с наибольшей простотой»,—эти слова Д. В. Гиббса справедливы также и для теоретической биологии.

Часто под теоретической биологией подразумевают противопоставление практике, а не эксперименту. Правильнее теоретической биологией считать аналог теоретической физики [8, 9], т. е. науку, которая не занимается добычей фактов, а занимается только их переработкой (оперирует только мысленными экспериментами).

2. Несмотря на различия систем (объектов) исследования, все науки последовательно решают одни и те же задачи возрастающей трудности, связанные с поведением соответствующих систем. Это задачи описания, объяснения и предсказания поведения систем, управления их поведением и создания систем нужного поведения. Почти все науки проходят через последовательные стадии развития—феноменологическую, экспериментальную и теоретическую. Переход от феноменологического подхода к экспериментальному и далее к теоретическому повышает эффективность научного исследования. Предпосылки для перехода к теоретическим исследованиям определяются, с одной стороны, количеством накопленных фактов, а с другой стороны—сложностью систем, поведение которых описывают эти факты. Поэтому появление теоретической механики, теоретической физики и теоретической химии должно было предшествовать появлению теоретической биологии. Современное состояние биологии, видимо, соответствует в этом смысле физике времен до Максвелла или химии времен Менделеева, когда, по выражению Эйнштейна, «огромное количество недостаточно увязанных фактов действовало подавляюще».

Поэтому в биологии сейчас приобретают решающее значение теоретические работы, направленные на переработку первичной информации, на поиски рациональных точек зрения, гипотез, обобщений. При этом следует помнить, что предпосылки для качественных обобщений появляются гораздо раньше, чем для построения строгих количественных теорий.

В настоящей статье предлагается новая точка зрения на распространенную среди эволюционирующих систем структуру, состоящую из двух сопряженных подсистем.

3. С выделением любой материальной системы автоматически появляется соответствующая «среда», в которой существует эта система. Так как среда всегда больше системы, то эволюция системы диктуется эволюцией среды.

Любую среду можно описать набором факторов: температура, давление различные концентрации (химических веществ, хищников, паразитов, жертв, особей своего и других видов и т. д.). По каждому фактору есть определенный диапазон, внутри которого система может существовать. Совокупность таких диапазонов существования по разным факторам среды представляет экологическую нишу системы. В таком понимании понятие экологической ниши имеет смысл не только для живых систем, но и для любых.

Экологическую нишу можно характеризовать, с одной стороны, числом факторов среды, к которым система чувствительна,—мерность ниши, с другой стороны, величиной диапазона существования системы по данному фактору—ширина ниши. Экологические ниши живых систем отличаются от экологических ниш неживых, физико-химических, прежде всего своей многомерностью и, как правило, сравнительно малой шириной диапазонов по факторам среды. Иными словами, живые системы по сравнению с неживыми более чувствительны и требовательны к условиям среды. Но принципиальная разница между ними во взаимоотношениях со средой не в этом, а в том, что живая система, в отличие от неживой, взаимодействуя со средой, может

изменить положение «приемлемого» диапазона в поле фактора среды, т. е. адаптироваться (в широком смысле этого слова)—изменить свою экологическую нишу при изменениях среды—эволюционировать.

4. Идея эволюции подразумевает два главных, и в известном смысле альтернативных, аспекта: сохранения и изменения. Для лучшей реализации только первого аспекта—сохранения—системе выгоднее быть устойчивой, стабильной, неизменяемой (косной), т. е. быть по возможности «дальше» (не в геометрическом смысле, а в информационном) от разрушающих факторов среды. Но эти же разрушающие факторы среды одновременно несут информацию об изменениях среды. И если системе необходимо приспособиться к ним, измениться адекватно изменениям среды (второй аспект), то она должна быть чувствительной, лабильной и изменчивой, т. е. быть по возможности «ближе» (опять в информационном смысле) к вредным факторам среды.

Следовательно, имеет место конфликтная ситуация, когда системе, с одной стороны, надо быть «подальше» от среды, а с другой—«поближе».

Одно возможное решение: системе целиком быть на некотором оптимальном «расстоянии» от среды (не очень «далеко» и не очень «близко»).

Второе решение: системе дифференцироваться на две сопряженные подсистемы; одну убрать «подальше» от среды, а вторую выдвинуть «поближе» к среде.

Очевидно, что второе решение в какой-то мере снимает конфликт и повышает устойчивость системы в целом. Поэтому можно ожидать, что среди эволюционирующих, адаптивных, следящих систем такие структуры, состоящие из двух сопряженных подсистем, должны встречаться довольно часто.

5. Самым фундаментальным признаком живых систем является их способность к самовоспроизведению. Поэтому самовоспроизводящиеся системы занимают центральное место среди биологических систем.

Рассмотрение структур основных самовоспроизводящихся систем: нуклеопротеида, клеточного ядра, клетки, организма и популяции показывает, что внутри каждой из этих систем можно увидеть четкую дифференциацию на две сопряженные подсистемы. В популяции это два пола, в организме—два вида клеток: половые и соматические, в клетке—ядро и цитоплазма, в ядре—хромосомы двух сортов: аутосомы и половые хромосомы, в нуклеопротеиде (хромосома, ген, вирус)—два типа молекул: нуклеиновая кислота и белок.

Случайно ли это? Или в основе этой дифференциации действительно лежит принцип, о котором идет речь? Ведь существуют аналогичные системы без указанной дифференциации: популяции без половой дифференциации (бесполое, партеногенетические или гермафродитные), организмы без дифференциации на сомату и гаметы, клетки без дифференциации ядра и цитоплазмы, ядра без половых хромосом и т. д. Однако почему-то во всех прогрессивных, в эволюционном смысле, системах наблюдается дифференциация.

6. Поскольку живые системы исторически произошли из неживых, то понятны многочисленные попытки посмотреть на них с позиций, с которых поведение неживых выглядит просто. В этом смысле много надежд связывали и продолжают связывать с термодинамикой.

С точки зрения термодинамики живые системы являются открытыми рабочими системами. Они обмениваются со средой веществом, энергией, информацией. Можно считать, что их контакт со средой имеет информационную (в широком смысле этого слова) природу. Они производят работу против деградирующих (энтропийных) сил внешней среды.

Поэтому представляется интересным сопоставить формы их контакта со средой с формами контакта других рабочих систем, неживых, физико-химических, с целью выявления общих черт и различий между ними.

7. Для количественного описания состояния системы и процессов, идущих в ней, в термодинамике применяются специальные физические параметры, называемые обобщенными

зарядами, или параметрами экстенсивности (E). К ним относятся: масса, объем, энтропия, электрический заряд и др. Это факторы емкости, объемные, или, по терминологии Онзагера, «обобщенные термодинамические потоки»—количественные параметры системы [1, 13].

Внутренняя энергия системы, как известно, определяется совокупностью этих параметров экстенсивности:

$$U = f(E_1, E_2, E_3, \dots E_n)$$

Изменение внутренней энергии как функции состояния системы можно представить в виде соответствующего полного дифференциала:

$$dU = P_1 dE_1 + P_2 dE_2 + \dots P_n dE_n$$

где

$$P_1 = \left(\frac{\partial U}{\partial E_1} \right)_{[E_1]} ; P_2 = \left(\frac{\partial U}{\partial E_2} \right)_{[E_2]} ; \dots P_n = \left(\frac{\partial U}{\partial E_n} \right)_{[E_n]}$$

Коэффициенты P именуется обобщенными потенциалами или параметрами интенсивности. Это те силы, которые вызывают перенос соответствующих зарядов, т. е. реализуют тот или другой процесс.

Каждому виду заряда соответствует свой сопряженный с ним потенциал. А произведение обобщенного потенциала на изменение сопряженного с ним заряда имеет размерность работы и называется обобщенной работой (A):

$$P * dE = dA$$

Полностью изолированная от среды система не может совершить никакой работы. Для того чтобы произвести работу, необходимо наличие контакта со средой в виде соответствующего канала связи со средой. Каждой форме контакта со средой соответствует определенная пара сопряженных параметров интенсивности и экстенсивности и определенный вид работы [1]:

Рабочая система (природа канала связи)	Параметры	
	экстенсивности	интенсивности
механическая	объем	давление
тепловая	энтропия	температура
электрическая	электрический заряд	электрический потенциал
химическая	масса	химический потенциал

В отличие от параметров экстенсивности, величина которых зависит от массы (размеров) системы, величина параметров интенсивности от массы системы не зависит. При соединении двух систем соответствующим каналом связи поведение факторов экстенсивности и интенсивности существенно различное. Первые ведут себя аддитивно, складываются, а вторые—выравниваются, усредняются.

8. Поведение каждой системы необходимо рассматривать и описывать в поле соответствующего фактора среды, к которому система чувствительна. Для описания физико-химических фазовых переходов таким полем является температурное, для описания поведения ионов—электрическое и т. д. Только в соответствующем «пространстве» (в соответствующих координатах) у них «выразительное» поведение. Для живых систем такими координатами являются время и обобщенный фактор среды. Поэтому работу самовоспроизводящихся систем

наглядно можно представить как «движение» в двумерном пространстве: время—обобщенный фактор среды. Одна составляющая движения, направленная вдоль координаты времени, представляет собой вектор передачи генетической информации от поколения к поколению. Она реализует связи между поколениями и, внутренние взаимодействия системы, или тенденцию наследственности. Вторая составляющая движения, направленная вдоль обобщенной координаты факторов среды, представляет собой вектор экологических сдвигов. Она осуществляет связи со средой, внешние взаимодействия системы или тенденцию изменчивости.

9. Предлагается точка зрения, согласно которой в основе дифференциации самовоспроизводящихся генетических систем на две сопряженные подсистемы лежит специализация этих подсистем по внутренним и внешним взаимодействиям. Во всех парах можно выделить одну подсистему—внутреннюю, специализированную по эволюционной задаче сохранения, а также вторую подсистему—внешнюю, специализированную по другой главной эволюционной задаче—изменения.

Система	Подсистема	
	внутренняя	внешняя
Популяция	Женский пол	Мужской пол
Организм	Гаметы	Сома
Клетка	Ядро	Цитоплазма
Клеточное ядро	Аутосомы	Половые хромосомы
Нуклеопротеид	ДНК (РНК)	Белок

Так как в основе нашего рассмотрения лежит идея взаимодействия системы со средой, то выделение внутренних и внешних подсистем необходимо понимать не в геометрическом (морфологическом) смысле, а в информационном, т. е. потоки информации от среды о происшедших изменениях в ней попадают сначала во внешние подсистемы, а потом уже во внутренние.

10. Существует определенная аналогия между параметрами экстенсивности физико-химических рабочих систем и внутренними подсистемами самовоспроизводящихся генетических структур, с одной стороны, и между параметрами интенсивности и внешними подсистемами—с другой.

Так же как каждой форме контакта физико-химических рабочих систем со средой соответствует пара сопряженных параметров, в самовоспроизводящихся рабочих системах на каждом уровне структурной организации мы находим аналогичным образом сопряженную друг с другом пару подсистем, т. е. на каждом уровне организации отношения между внутренними и внешними подсистемами аналогичны отношениям между параметром экстенсивности и интенсивности при совершении определенного вида работы физико-химической системой.

Внешние подсистемы, реализуя непосредственную связь со средой, играют роль информационных потенциалов, движущих сил, инициирующих процессы. Внутренние подсистемы, отделенные от среды внешними, представляют собой информационные емкости, инерцию, как бы «массу» системы. Заметим, что отмеченную аналогию можно проследить и дальше, сопоставляя характерное поведение сопряженных параметров и сопряженных подсистем при объединении двух систем в одну. Например, в свободно скрещивающейся популяции число самок определяет количество потомства (фактор экстенсивности), а число самцов—величину или скорость изменения среднего генотипа (качественный фактор, фактор интенсивности). Так же как при соединении двух объемов (V_1 и V_2) газа, имеющих разные давления (P_1 и P_2), или двух тел с

разной температурой (T_1 и T_2), и энтропией (S_1 и S_2), конечные объем и энтропия будут равны сумме исходных (свойство аддитивности, присущее факторам экстенсивности): $V = V_1 + V_2$; $S = S_1 + S_2$ тогда как конечные давления и температуры усреднятся: $P = (P_1 * V_1 + P_2 * V_2) / V$, $T = (T_1 * S_1 + T_2 * S_2) / S$, при соединении двух популяций в одну количество потомства (пропорциональное числу самок) складывается аддитивно, в то время как «качество» потомства (определяемое числом самцов) усредняется.

11. В понятиях термодинамики необратимых процессов внутренние подсистемы олицетворяют «обобщенные термодинамические потоки», количественные характеристики рабочих систем, в то время как внешние—«обобщенные термодинамические силы», качественные характеристики.

В биологических категориях внутренние подсистемы самовоспроизводящихся систем осуществляют тенденции наследственности и сохранения, а внешние—изменчивости и адаптации к условиям среды. Если рассматривать альтернативные тенденции универсальности и специализации, то внутренние подсистемы (их элементы) представляют тенденцию универсальности (менее специализированы), а внешние—тенденцию специализации.

В терминах кибернетики одна подсистема это «постоянная память» системы (женский пол, гаметы, ядро, аутосомы, ДНК), в то время как другая—«оперативная память» (мужской пол, соматические клетки, цитоплазма, половые хромосомы, белки).

12. Такая дифференциация системы на постоянную и оперативную память создает структуру «стабильного я д р а» и «л а б и л ь н о й оболочки» в информационных взаимоотношениях системы со средой. Если рассматривать потоки, передающие генетическую информацию от поколения к поколению, то емкости постоянной памяти образуют осевую (генетическую) линию, тогда как емкости оперативной памяти составляют боковую (экологическую) линию, «вынос» части информации навстречу факторам среды.

Учитывая многомерность экологической ниши, условно можно представить взаиморасположение подсистем в ней для данного момента времени в виде двух вписанных один в другой замкнутых контуров. Внутренний контур отделяет постоянную память от оперативной, а внешний—оперативную память от среды (граница ниши). Чтобы представить картину во времени, направим вектор времени перпендикулярно плоскости контуров. Получится бесконечное тело неправильного и переменного сечения. Движение в этом трехмерном пространстве можно описать двумя составляющими: осевой (генетической) и радиальной (экологической). Осевая составляющая—поток информации от поколения к поколению, поддерживается постоянной памятью системы. Радиальная составляющая—«боковой вынос» информации навстречу факторам среды—осуществляется оперативной памятью системы. В радиальной составляющей в свою очередь можно выделить центробежный поток информации—от системы к среде и ц е н т р о с т р е м и т е л ь н ы й поток—от среды к системе.

Центростремительные потоки информации, поступающие от среды, попадают сначала в оперативную память системы, преобразуются там, подвергаются отбору, и только после этого часть информации попадает в постоянную память системы.



Такая структура систем предполагает существование каких-то барьеров между подсистемами, препятствующих смешению всей информации. Описанный способ хранения генетической информации, в двух объемах, сообщающихся между собой каналом связи контролируемого сечения, придает системе особые свойства, повышающие ее устойчивость.

13. Для того чтобы обеспечить информационный контакт системы со средой в основном через оперативную память, необходимо, чтобы элементы оперативной памяти обладали большей дисперсией признаков по сравнению с элементами постоянной памяти, т. е. первые должны быть

разнообразнее вторых.

Осуществление преимущественного контакта среды с оперативной памятью за счет сдвига средних значений признаков, а не за счет разной дисперсии признаков не решает задачу, так как в этом случае возникают затруднения с альтернативными признаками, например одна и та же особь может быть одновременно и жаростойкой и морозостойкой (неальтернативный признак), но не может быть одновременно и крупной и мелкой (альтернативный признак).

14. Необходимость переработки новой информации в оперативной памяти, до того как она сможет попасть в постоянную, делает постоянную память системы инерционной. Инерционность постоянной памяти, ее отставание от оперативной в получении новой информации от среды придает ей (или ее элементам) черты совершенства, и напротив, элементы оперативной памяти приобретают черты прогрессивности.

Такое разделение и специализация подсистем по альтернативным задачам сохранения и изменения обеспечивает оптимальные условия для реализации основного метода эволюции живых систем—метода отбора, т. е. в известном смысле—метода проб и ошибок. С сосредоточением проб в оперативной памяти там же локализуются и ошибки и находки. Это дает возможность системе пробовать различные варианты решения эволюционных задач с минимальным риском закрепления неудачных решений.

15. Предлагаемые представления менее всего очевидны для популяции. Этому вопросу нами было посвящено специальное исследование [2], основные положения которого заключаются в следующем.

Если рассматривать каналы информации, связывающие мужской и женский пол в свободно скрещивающейся популяции с потомством, то можно видеть, что сечение канала связи самца с потомством во много раз превосходит сечение канала связи самки, т. е. самец в принципе имеет возможность передавать свою генетическую информацию значительно большему числу потомков, чем самка. Это приводит, с одной стороны, к тому, что количество потомства зависит от количества самок в популяции (фактор экстенсивности) и почти не зависит от количества самцов (фактор интенсивности). С другой стороны, широкий канал связи самцов с потомством в сочетании с большей дисперсией признаков у них делает информационную ценность редких вариантов самцов несравненно больше, чем самок. Это обстоятельство создает условия, при которых направление и скорость качественных сдвигов генетической информации популяции определяют в основном самцы (потенциал). Такая «асимметрия» и придает дифференциации полов характер специализации на постоянную и оперативную память вида.

Такой подход позволяет объяснить с единых позиций многие непонятные явления, связанные с дифференциацией полов: раздельнополость эволюционно прогрессивных форм, избыточное зарождение и повышенную смертность мужского пола у большинства видов, большее разнообразие особей мужского пола, многие адаптивные изменения соотношения полов в популяции и др.

Основные характеристики раздельнополой популяции это соотношение полов на разных стадиях онтогенеза (количественные характеристики) и половой диморфизм по тому или иному признаку (качественные характеристики).

Согласно новому взгляду соотношение полов тесно связано с эволюционной пластичностью вида. Чем больше в популяции самцов, тем пластичнее популяция, и наоборот. Необходимость в повышенной пластичности у популяции возникает во всех неблагоприятных условиях среды, когда требуется быстрое приспособление. Большая дисперсия мужского пола по всем признакам приводит к тому, что первыми жертвами всех неблагоприятных факторов среды оказываются самцы. Это обеспечивает попадание новой информации от среды о происшедших в ней изменениях преимущественно в оперативную память вида и проявляется в виде повышенной смертности мужского пола от всех вредных условий среды. Высокая смертность мужского пола понижает соотношение полов в популяции, поэтому, если неблагоприятные природные условия продолжают, то популяции необходимо компенсировать повышенную потерю самцов

повышением их рождаемости. Следовательно, во всех неблагоприятных условиях среды повышается одновременно и смертность и рождаемость мужского пола, т. е. повышается их оборачиваемость.

Повышение рождаемости самцов может быть связано непосредственно с ухудшением условий среды. Но учитывая эволюционную тенденцию к автономизации регуляторных механизмов, можно ожидать, что в филогенезе образовалась «внутрипопуляционная» отрицательная обратная связь между третичным соотношением полов (взрослых особей) и вторичным {при рождении} [3]. Следовательно, вместо представления о вторичном соотношении полов как о некоторой константе, характерной для данного вида (вспомним таблицы рождаемости полов у разных видов), предлагается представление о нем как переменной величине, тесно связанной с условиями среды и поддерживаемой регуляторными механизмами на оптимальном уровне. При этом должны существовать два регуляторных механизма с разными постоянными времени: «вековой» — устанавливающий оптимум для данной вековой обстановки, и механизм обратной связи — поддерживающий этот оптимум.

Что касается второй основной характеристики раздельнополой популяции — полового диморфизма, т. е. разности между средними значениями признаков у мужского и женского пола, то новый подход позволяет установить связь между половым диморфизмом по данному признаку и эволюционной тенденцией изменения этого признака.

Поскольку эволюционные изменения прежде затрагивают самцов, а затем передаются самкам, то появляется возможность использовать половой диморфизм по признаку как «компас», показывающий направление изменения этого признака в филогенезе.

Анализ большой группы низших ракообразных (173 вида) по морфо-физиологическим признакам дал возможность выделить и сопоставить сравнительно примитивные и прогрессивные, в эволюционном смысле, формы и проверить гипотезу о существовании связи между половым диморфизмом и направлением изменения признака. После проверки гипотеза была использована для исследования некоторых вопросов эволюции низших ракообразных [5].

Эта же идея позволила объяснить непонятную картину распределения разных врожденных пороков сердца у мужского и женского пола и показать, что типично «женские» пороки действительно имеют «атавистический» характер («недолет», остановки в развитии, возвраты), а типично «мужские» — «футуристический» («перелет», неудачные пробы, «забегания вперед») [6].

Из такого понимания половой дифференциации, как специализации по альтернативным, в известной мере, тенденциям совершенства (женский пол) и прогрессивности (мужской) можно предположить, что наиболее четкий половой диморфизм должен существовать по сравнительно молодым, в филогенетическом аспекте, признакам. По сравнению с морфо-физиологическими признаками более молодыми можно считать этологические или психологические признаки, по которым, видимо, действительно наблюдаются максимальные различия между мужским и женским полом. Появляется возможность подойти с единых позиций к объяснению таких психологических различий полов как время реакции, скорость речи, способность к юмору, творческому или абстрактному мышлению и других различий, определяющих также и наблюдаемый профессиональный преферендум. Задачи, которые приходится решать впервые, лучше решают мужчины, задачи же, которые решаются не впервые, но надо решить их в совершенстве, лучше решают женщины. Получают простой и естественный ответ некоторые вопросы, например, почему и среди выдающихся людей и среди слабоумных больше мужчин? Почему мужчины плохо справляются с работой по прецизионной сборке часов или транзисторов, а женщины не бывают изобретателями? Почему в одной и той же области — музыке, такая разница в доле преуспевающих женщин среди композиторов и среди исполнителей и т. д. и т. п.

16. На организменном уровне элементами являются клетки. Все клетки организма делятся на гаплоидные (гаметы) и диплоидные (соматические).

Прежде всего обращает на себя внимание большое разнообразие (морфологическое и физиологическое) соматических клеток по сравнению с однообразием гамет. Очевидна также

специализация этих подсистем в осуществлении задач наследственности и изменчивости. Гаметы представляют консервативную тенденцию, а соматические клетки: наоборот, тенденцию изменчивости. Потоки информации от среды в течение всей жизни воспринимают соматические клетки (онтогенез, организмы растут, развиваются, стареют и пр.), и только после переработки в оперативной памяти суммарная за жизнь итоговая информация может попасть в постоянную память, в гаметы в форме элиминации, дискриминации или привилегии данной особи, в форме передачи каких-либо мутагенных влияний или селекции на стадии гамет и т. д. Кстати, явление селекции гамет, долгое время отрицавшееся, сейчас видимо, необходимо признать как факт [12].

Интересным примером влияния соматических клеток (физиологии) на гаметы может служить вскрытая нами отрицательная обратная связь, регулирующая соотношение полов потомства [4]. Если самка гуппи находится в аквариуме в окружении большого числа самцов, то среди ее мальков преобладают самки. И, наоборот, при нехватке самцов в аквариуме в потомстве появляется избыток самцов, т. е. существует механизм компенсации соотношения полов.

17. На клеточном уровне организации бросается в глаза прежде всего дифференциация на ядро и цитоплазму. Морфология большинства клеток делает довольно очевидным соотношение между ядром, цитоплазмой и средой как в смысле последовательности попадания информации (среда → цитоплазма → ядро), представления о «стабильном ядре» и «лабильной оболочке» барьеров (ядерная оболочка), так и в смысле большого разнообразия цитоплазм (клетки разных тканей) и однообразия ядер и т. д. Еще Эрнст Геккель писал, что ядро—это преимущественно орган наследственности, а цитоплазма—орган приспособления к среде. Гуго Де Фриз и Гертвиг также считали, что передача свойств—функция ядра, а развитие свойств—функция цитоплазмы. Известны исследования, в которых было показано, что ядра в любой клетке организма (по крайней мере у определенных видов) содержат всю генетическую информацию (постоянная память), в то время как цитоплазма клетки определяет специализацию данного сорта клеток (оперативная память), определяет, какую часть генетической информации необходимо извлечь из ядра в каждом отдельном случае. Известны опыты по пересадке ядер из относительно специализированных клеток зачатков мышц, глаза или эпителия кишечника лягушки в лишённую ядра цитоплазму яйцеклетки. Из таких клеток развивались нормальные взрослые лягушки.

18. Менее четкая картина дифференциации наблюдается в самом ядре, в хромосомном наборе, между аутосомами и половыми хромосомами. Прежде всего не у всех видов существует (или открыта) такая дифференциация. Далее морфология клеточного ядра не дает основания считать аутосомы «ядром», а половые хромосомы—«оболочкой», нет никаких видимых барьеров между подсистемами и т. д.

Однако в пользу взгляда на аутосомы и половые хромосомы как на постоянную и оперативную память клеточного ядра можно привести большую лабильность и изменчивость половых хромосом по сравнению с аутосомами. Например, среди ядер с ненормальным числом хромосом подавляющее большинство составляют отклонения, связанные с половыми хромосомами (у человека известен даже набор XXXXY) [10].

При действии ультразвука прежде всего разрушаются половые хромосомы. А радиоактивные вещества метят половые хромосомы интенсивнее, чем аутосомы (в особенности У-хромосому). Далее, по дисперсии размеров половые хромосомы (прежде всего У-хромосома) также превосходят аутосомы. Есть указания на преимущественно периферическое расположение половых хромосом в ядрах клеток человека [11] и т. д.

19. Наконец, рассматривая как систему нуклеопротеид, с подсистемами ДНК (нуклеиновая кислота) и белок, мы видим во многом аналогичную картину. О большей лабильности белков по сравнению с ДНК говорят температуры их денатурации, которые у белков значительно ниже, чем у ДНК. Класс белков отличается от класса нуклеиновых кислот также большим разнообразием (дисперсией свойств).

Морфологическое строение известных нуклеопротеидов, вирусов и фагов также говорит о том, что ДНК (или РНК у некоторых вирусов) в них представляет «ядро», а белки—«оболочку». Поэтому со средой прежде всего взаимодействуют белки, т. е. опять мы имеем схему передачи

информации: среда ↔ белок ↔ ДНК.

Центробежный поток информации ДНК → белок хорошо изучен и о нем известно очень много. Это поток информации, осуществляющий синтез белков и определяющий поведение системы.

Большой интерес представляет обратный, центростремительный поток информации среда → белок → ДНК, в особенности звено белок → ДНК. Многие исследователи вообще отрицают существование такого потока. Конечно, можно представить, что в процессе эволюции, когда образовывались более высокие уровни организации (клетки, организмы) и появлялись соответствующие обратные связи, то обратные связи на нижележащих уровнях (на молекулярном в данном случае) утратили свое значение и исчезли. Однако существуют факты, которые очень трудно объяснить, не допустив наличия центростремительных потоков белок → ДНК. К ним можно отнести прежде всего явления, связанные с образованием адаптивных ферментов, антител, и др.

20. Сопряженные пары подсистем не исчерпываются только приведенными структурами. Уже сейчас можно привести (или возможно, что будут открыты в будущем) и другие самовоспроизводящиеся системы, построенные аналогичным образом. Например, в последнее время ведутся исследования, результаты которых заставляют думать о существовании пола у митохондрий. Между парами бактерия—фаг, ген—признак и другими существуют, видимо, во многих отношениях такие же взаимоотношения.

Можно думать также, что дифференциация систем на сопряженные подсистемы имеет место не только в самовоспроизводящихся структурах, но также во многих биологических рабочих системах и вообще во всех эволюционирующих, следящих системах.

Например, такие биологические системы, как кофермент—апофермент, антиген—антитело, подкорка—кора головного мозга, симпатическая—парасимпатическая вегетативная нервная система и другие обладают чертами, характерными для постоянной и оперативной памяти.

Описанный принцип сопряженных подсистем лежит также в основе дифференциации некоторых социальных институтов: государственный аппарат—правительство, производство—наука, больница—поликлиника, школа—вуз и т. д. Отмечались, например, аналогичные соотношения между наукой и производством, с одной стороны, и вскрытыми нами взаимоотношениями подсистем в популяции—с другой [7]. Действительно, такие черты науки, как большее разнообразие направлений, относительная лабильность, право на поиск, с вытекающими отсюда надеждой находок и риском ошибок, придают науке свойства движущего потенциала, прогрессивности (оперативная память), в то время как меньшая дисперсия направлений, относительная стабильность и инерционность, требование рентабельности и пр. придают производству черты объемных факторов, совершенства (консервативная память). Можно думать, что для всех эволюционирующих систем, тесно связанных со средой, такая дифференциация повышает устойчивость и способствует их дальнейшей эволюции.

ЛИТЕРАТУРА

1. де Бур Я., Введение в молекулярную физику и термодинамику, М., ИЛ, 1962.
2. Геодакян В. А., Роль полов в передаче и преобразовании генетической информации, Пробл. передачи информ. **I**, 1, 1965, 105.
3. Геодакян В. А., О существовании обратной связи, регулирующей соотношение полов, Сб. «Проблемы кибернетики», вып. 13, М., «Наука», 1965, 187—194.
4. Геодакян В. А., Кособутский В. И., Билева Д. С., Регуляция соотношения полов отрицательной обратной связью, Генетика, № 9, 1967, 153.
5. Геодакян В. А., Смирнов Н. Н., Половой диморфизм и эволюция низших ракообразных, «Проблемы эволюции», № 1, Новосибирск, «Наука», 1968. в.
6. Геодакян В. А., Шерман А. Л., Врожденные пороки сердца и пол, Эксп. хирургия и анестезиология, № 2, 1970, 18; Врожденные аномалии развития, Ж. общ. биол. **XXXII**, 4, 1971

7. Гуревич Г. А., Доклад на секции организации Совета по кибернетике, 1966.
8. Малиновский А. А., Пути теоретической биологии, М., «Знание», 1969.
9. На пути к теоретической биологии, М., «Мир», 1970.
10. Штерн К., Основы генетики человека, М., «Медицина», 1965.
11. Barton D. E., David F. N., Merrington M., The positions of the sex chromosomes in the human cell in mitosis, *Ann. Hum. Genet., Lond.* 28, 1964, 123.
12. Beatty R. A., The genetics of the mammalian gamete, *Biol. Rev.* 45, 1970, 73—119
13. Miller O., Thermodynamic theory of irreversible processes, *Amer. J. Phys.* 24, 6, 1956.
14. Onsager L., Reciprocal relations in irreversible processes, *Phys. Rev.* 37, 405; 38, 2265, 1931.

Поступило в редакцию 12 II 1971