

Собственное время и возрастная эволюция ЖИВЫХ СИСТЕМ

© А. З. Бегун, 1992

Институт проблем занятости, Москва, РАН.

В ряду фундаментальных свойств живых систем наибольший интерес с точки зрения проблемы времени представляют следующие три: иерархический принцип построения живых систем, закономерная смена этапов развития в период онтогенеза и тенденция к замедлению процессов жизнедеятельности организма с возрастом. Последним свойством обусловлена необходимость введения понятия собственного времени живой системы. В основе любого способа измерения времени (часов) лежит определенный периодический процесс, например, вращение Земли вокруг Солнца, качание маятника, колебания электромагнитного поля в контуре и т.д. Главное требование к часам - стабильность хода или однородность, подразумевающая равенство длин интервалов времени между однородными парами событий независимо от момента измерения. Замедление процессов жизнедеятельности в организме с возрастом наряду с требованием однородности приводят к необходимости использования в качестве часов периодических процессов самого организма, имеющих ту же тенденцию.

Закономерная смена этапов развития от момента зарождения до момента гибели позволяет ассоциировать возрастную эволюцию живой системы с процессом перемещения в некотором n -мерном евклидовом пространстве - пространстве состояний собственного возраста (ПССВ). Априори, учитывая сложность живых систем и большое число степеней свободы, можно предполагать большую величину размерности n . Для формального описания траектории возрастной эволюции можно использовать аналогию живой системы с материальной частицей, движущейся в ПССВ под действием центрально-симметрического поля $U(t, r)$, согласно уравнению Ньютона $m dv(t)/dt = -dU(t, r)/dr$, где $r(t)$ — длина радиус-вектора, характеризующего положение частицы в момент времени t , $v(t) = dr(t)/dt$ - скорость возрастной эволюции.

Чтобы сделать аналогию с механикой более понятной, сделаем ряд предположений:

- A1. Организм считается живым до тех пор, пока $v(t) > 0$;
- A2. В момент зарождения $t = 0$, $v(0) > 0$, $r_0 = r(0) > 0$;
- A3. В момент зарождения все организмы имеют одинаковую "массу" m и различаются только по начальной скорости $v(0)$, распределенной по закону Максвелла с n степенями свободы;
- A4. Момент достижения некоторого возрастного состояния $r_1 > r_0$ определяет момент рождения организма;
- A5. Потенциал $U(t, r)$ представим в виде суммы монотонно возрастающей непрерывной и ограниченной детерминированной составляющей $U_d(r)$, $U_d(r_0) = 0$, со случайной составляющей $U_s(t, r) = b(t)r$ при $r > r_1$ и $U_s(t, r) = 0$ при $r_0 \leq r \leq r_1$, где $b(t)$ — стационарный гауссовский процесс с нулевым средним и корреляционной функцией $B(t)$. Детерминированная составляющая определяет замедление средней скорости возрастной эволюции, в то время как случайная составляющая, действующая только после рождения (в

период внутриутробного развития организм плода защищен от случайных внешних воздействий организмом матери) на среднюю скорость никак не влияет.

Модель возрастной эволюции живой системы, основанная на предположениях А1-А5, может быть верифицирована на данных по возрастной смертности для человеческой популяции. Аналитически построенный показатель силы смертности, определяемый как относительная скорость убывания численности возрастной когорты (группы одновременно родившихся живых организмов), хорошо согласуется с эмпирическими данными по возрастной смертности. В частности, сила смертности обратно пропорциональна календарному возрасту, исчисляемому с момента рождения, в первые годы жизни и в очень больших возрастах, а в диапазоне возрастов 40-70 лет может быть аппроксимирована растущей экспонентой (кривая Гомперца). Достаточно высокой получается оценка нижней границы размерности n , порядка 166. Можно показать, что спектральная плотность стационарного процесса $b(t)$ имеет максимум на частоте приблизительно 8500 герц. Столь высокая частота свойственна только процессам на уровне клеток, в которых содержится информация о наследственности организма. Если учесть, что смертность в первые годы жизни обусловлена в основном случайной составляющей поля, станет понятным механизм отбора биологически приспособленных организмов посредством давления внешней среды.

Использование аналогии с механикой для описания возрастной эволюции живой системы может показаться недостаточно обоснованным приемом. Это не совсем так. В теоретической физике уравнение Ньютона является следствием принципа Мопертюи.

Волновой аналог принципа Мопертюи - принцип Ферма, констатирующий минимальность числа длин волн, укладываемых на протяжении луча, волнового аналога траектории движения материальной частицы. Сопоставим эволюционирующей в ПСОВ живой системе группу монохроматических волн (периодических процессов) $\alpha(\omega) \cos(\omega t - r/l)$ близкой частоты $\omega = e/h$, где e - "энергия" живой системы в момент зарождения, $l = h/p$, $p = mv$ - "импульс", зависящий от координаты r , h - аналог постоянной Планка, $\alpha(\omega)$ - амплитуда. С участком траектории живой системы, равным длине волны l , свяжем одно поколение подсистем живого организма. Всей траектории может быть сопоставлена цепочка поколений подсистем более низкого уровня, а материальной частице - объединение таких цепочек. Определим собственное время $T(x, y)$ между прохождением живой системой на траектории ее возрастной эволюции последовательных состояний x и y числом длин волн, укладываемых между x и y , или числом поколений подсистем более низкого уровня, сменившихся за соответствующий период календарного времени. Принцип Ферма в данной ситуации может быть переименован в принцип наименьшего собственного времени и переформулирован следующим образом: на траектории эволюции живой системы число сменившихся поколений подсистем более низкого уровня минимально. Уравнение движения Ньютона, использованное в модели возрастной эволюции живой системы, может быть получено как следствие принципа наименьшего собственного времени.

Для обоснования уравнения эволюции живой системы в ПСОВ фактически было использовано представление об иерархическом принципе построения живых систем. Зафиксируем некоторый уровень иерархии i , скажем, уровень организма человека. Тогда уровню $i+1$ будет соответствовать уровень популяции, а уровню $i-1$ - уровень клетки. Установить более глубокую связь между процессами возрастной эволюции на соседних иерархических уровнях позволят следующие предположения.

V1. (Принцип параллелизма). Существует монотонно возрастающее, непрерывно

дифференцируемое отображение $r(R)$ для модулей радиус-векторов ПСОВ уровня $i+1$ в ПСОВ уровня i , которое ставит в соответствие текущему уровню филогенетического развития R состояние зрелости $r(R)$ онтогенетического развития;

В2. Календарная длительность филогенеза между последовательными состояниями X и Y на уровне $i+1$ пропорциональна собственному времени $T(r(X), r(Y))$, протекшему между прохождением живой системой уровня i со средней начальной "энергией" e_0 состояний $r(X)$ и $r(Y)$;

В3. (Принцип инвариантности). Законы возрастной эволюции инвариантны относительно уровня иерархии. Это, в частности, означает, что нормированная на среднюю начальную "энергию" детерминированная составляющая потенциала $ud(r) = Ud(r)/e_0$ при согласованном выборе единиц размерности "массы" и "длины" на соседних иерархических уровнях одна и та же.

Предположения В1-В3 позволяют однозначно определить параметрические классы функций $ud(r)$ и $r(R)$ как решения системы дифференциальных уравнений второго порядка. Можно показать, что $ud(r)$ бесконечно дифференцируема, монотонно возрастает, пропорциональна $-1/r^2$ при r стремящемся к нулю справа и сходится к некоторой величине между 0 и 1 при r стремящемся к бесконечности. Живая система как бы находится в поле притягивающего потенциала. Ограниченность потенциала сверху означает, что живой организм не запрограммирован на гибель. Предопределено погибнуть только живым системам, имеющим недостаточно высокую начальную скорость возрастной эволюции. Гибель любого живого организма с вероятностью 1 в конечном счете обусловлена действием случайной компоненты поля.

Маловероятно, что размерность n ПСОВ уровня i остается неизменной в период филогенеза. Вероятней всего, она растет в определенные периоды параллельно с усложнением организма. С помощью предположения В4 удастся связать размерность n ПСОВ уровня i с состоянием зрелости x , отражающим уровень филогенетического развития.

В4. Доля доживающих до состояния зрелости организмов на уровне i равна доле начальной "кинетической энергии", сохранившейся к моменту достижения системой уровня $i+1$ состояния R такого, что $r(R) = x$.

Предположением В4 однозначно определяется функция $n(r)$ при $r \geq r_0$. Эта функция ограничена и всегда равна 2 в точке r_0 . Принцип инвариантности позволяет распространить эти свойства на все уровни иерархии. Наиболее вероятным вариантом изменения размерности n при филогенезе представляется сценарий, согласно которому n сначала растет до некоторого максимума, а затем начинает уменьшаться (деградация биологического вида).