

## БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ТЕПЛОВЫЕ БАРЬЕРЫ

В процессе прогрессивной эволюции происходит непрерывное увеличение стандартного обмена животных от простейших до млекопитающих и птиц (табл.41; рис.28). Встает, однако, вопрос, возможно ли дальнейшее усиление энергетического обмена животных или прогрессивная эволюция достигла своего предела в классе птиц и прекратилось? Это вопрос не такой уж праздный, так как температура тела млекопитающих равна 36-38°C, а птиц 40-41°C, и дальнейшее увеличение температуры тела чревато тяжелыми последствиями для животных.

Очевидно, что повышение температуры тела гомойотермных животных связано с усилением энергетического обмена. Для того, чтобы доказать это, в табл.59 сопоставлены стандартный обмен (коэффициент  $a$ ) и температура тела у представителей разных отрядов млекопитающих. Как видно из этой таблицы увеличение стандартного обмена коррелирует с возрастанием средней температуры тела: коэффициент корреляции между логарифмом коэффициента  $a$  и температурой тела равен  $0.783 \pm 0.087$  ( $n=18$ ) и значимо отличается от нуля (Zotin et al., 2000).

Если показать зависимость температуры тела млекопитающих от сопоставимого стандартного обмена в полулогарифмической шкале координат, то можно видеть, что она может быть выражена экспонентой (рис.51). Расчет методом наименьших квадратов по данным, приводимым в табл.51, показывает, что эта зависимость может быть записана в следующем виде:

$$t^0 = 33.3 \cdot \exp(0.0037 \cdot a). \quad (183)$$

Найдено, что помпейская полихета *Alvinella pompejana* выдерживает температуру до 80°C, а некоторые прокариоты могут расти даже при 113°C (Cary et al., 1998). Однако эти случаи просто показывают, что живые организмы способны приспосабливаться к самым экстремальным температурным условиям существования. Обычно же животные плохо переносят температуру выше 50°C.

Т а б л и ц а 59

Коэффициент  $a$  (мВт) и средняя температура тела  $t^{\circ}\text{C}$  у различных отрядов млекопитающих (Zotin et al., 2000).  $N$  - число изученных видов,  $n$  - число измерений.

Отряды	$a$	$t^{\circ}\text{C}$	$N$	$n$
Monotremata	8.68	32.1	3	12
Insectivora:				
Сем. Tenrecidae	7.79	32.2	3	4
Сем. Erinaceidae	12.75	34.8	5	11
Сем. Talpidae	30.26	35.6	3	4
Сем. Soricidae	47.28	37.7	30	65
Edentata	10.11	33.5	14	22
Chiroptera	19.09	34.6	48	73
Marsupialia	13.46	35.4	48	78
Primates	20.44	36.8	36	86
Rodentia	24.76	37.1	225	718
Hyracoidea	14.63	37.3	5	11
Cetacea	34.54	37.3	5	14
Perissodactyla	32.28	37.4	3	17
Pinnipedia	31.91	37.5	9	23
Carnivora	23.98	38.1	35	89
Tylopoda	19.08	38.4	2	4
Artiodactyla	27.33	38.4	26	82
Lagomorpha	23.25	38.6	12	30

Например, температура тела, смертельная для млекопитающих равна 43-44<sup>0</sup>С (Иванов, 1984). Как следует из формулы (183) усиление энергетического обмена в процессе эволюции не может, поэтому, превысить величину коэффициента  $a=73$  мВт, так как температура тела при этом поднимется до величин порядка 43.6<sup>0</sup>С, т.е. до величин, приводящей к гибели млекопитающих.

Близкие результаты получены экспериментальным путем для птиц. Так для ворона *Carves cortex ruficollis* показано, что при температуре среды равной 32<sup>0</sup>С  $a=27.73$ ,  $t_r=39.38^0$ С; при 38<sup>0</sup>С  $a=28.08$ ,  $t_r=40.03^0$ С; при 40<sup>0</sup>С  $a=31.81$ ,  $t_r=40.33^0$ С; при 42<sup>0</sup>С  $a=32.35$ ,  $t_r=41.06^0$ С; при 45<sup>0</sup>С  $a=47.66$ ,  $t_r=42.10^0$ С; при 50<sup>0</sup>С  $a=61.62$ ,  $t_r=44.73^0$ С (Marder, 1973). Летальная температура тела для птиц несколько выше, чем у млекопитающих, но и в этом случае согласно приведенным данным зависимость температуры тела от величины коэффициента  $a$  имеет вид:

$$t^0 = 36.4 \cdot \exp(0.0033 \cdot a), \quad (184)$$

т.е. при величине коэффициента  $a=80$  мВт температура тела достигнет величин порядка 47<sup>0</sup>С - величины предельной для жизни птиц. Другими словами существует некий "тепловой барьер" для биоэнергетического прогресса, перешагнуть который с помощью увеличения уровня стандартного обмена невозможно.

Следует отметить, что существует не один тепловой барьер, а, по крайней мере, три (Зотин и др.1998б). Два первых из них связаны с энергетикой животных, последний - с энергопроизводством всего человечества.

*Первый тепловой барьер* возникает на ранних стадиях биоэнергетического прогресса задолго до появления млекопитающих или птиц (рис.53). Дело в том, что на рис.28 речь шла о стандартном обмене, т.е. об энергетическом метаболизме в состоянии покоя. Но большинство животных редко находятся в таком состоянии, так как им приходится двигаться в поисках пищи, для размножения, в попытках спасти свою жизнь. Другими словами, большую часть

жизни животные находятся в состоянии активного, а иногда и максимального обмена, при котором температура тела может сильно возрастать и превысить допустимые пределы в 45-50<sup>0</sup>С. Первый тепловой барьер связан, поэтому, с активным обменом и преодолевается путем возникновения терморегуляции, которая позволяет производить работу без значительного повышения температуры тела (Зотин и др., 1998б).

*Второй тепловой барьер* возникает, как уже отмечалось, у гомойотермных животных, находящихся в состоянии покоя. Этот второй тепловой барьер преодолевается путем появления такого социального явления, как цивилизация, при которой биоэнергетический прогресс достигается использованием источников энергии, лежащих вне организмов, так что температура тела не возрастает или возрастает в допустимых пределах (Zotin, Lamprecht, 1996; Зотин и др., 1998б).

Очевидно, что в процессе увеличения энергопотребления цивилизация, человечество в целом подходит к *третьему тепловому барьеру*, связанному с повышением средней температуры среды и приводящему к катастрофическим экологическим последствиям. Дальнейший энергетический прогресс человечества не возможен и он может продолжаться только в том случае, если энергоемкие производства будут выведены за пределы Земли (Зотин и др., 1998б; Зотин, Зотина, 1998).

Для последовательности изложения мы начнем с рассмотрения первого теплового барьера и связанного с этим возникновением в процессе эволюции гомойотермии.

## Глава 1. **Первый тепловой барьер и возникновение терморегуляции**

Данная глава посвящена причинам и условиям возникновения терморегуляции в процессе биологической эволюции. Но речь идет не о поведенческой терморегуляции или пассивной терморегуляции, связанной с увеличением размеров тела, изменением покровов тела и т.д. (так называемой, эктотермии), а о химической и физической терморегуляции, свойственной гомойотермным

животным (эндотермия). Под термином терморегуляция мы будем понимать только эндотермию.

Чтобы разобраться с вопросом, как терморегуляция связана с биоэнергетическим прогрессом, напомним кратко о проблеме эволюционного прогресса вообще. Согласно Северцову (1934.1939), в основе морфо-физиологического прогресса лежит повышение общей энергии жизнедеятельности организмов. т.е. как, показал Дольник (1968) и мы (часть 2 и 4), с усилением стандартного обмена животных, измеряемого по скорости потребления кислорода в состоянии покоя при 20°C у пойкилотермных и в термонейтральной зоне у гомойотермных животных. Стандартный обмен организмов связан с размерами тела животных аллометрическими соотношениями (46) и (47), поэтому, при сравнении энергетического уровня животных разных видов, имеющих разную массу, используют коэффициент  $a$ , который соответствует величине потребления кислорода животными, если бы они имели одинаковую массу равную 1 г.

В.Р.Дольник (1968) один из первых сопоставил коэффициент  $a$  у животных разных классов и типов и показал, что по мере усложнения строения и организации животных их стандартный обмен значительно возрастает (табл.1). Нами была продолжена работа по сбору данных о стандартном обмене животных, которая отражена на рис.13-27 и табл.41. На рис.28 было показано, что в процессе прогрессивной эволюции стандартный обмен (коэффициент  $a$ ) возрастает от простейших до млекопитающих и птиц в сотни раз. Это показывает, в соответствии с утверждением В.Р.Дольника, что имеет место биоэнергетическая направленность эволюционного прогресса организмов.

Как следует из термодинамики неравновесных процессов, в общем случае, система любой степени сложности в процессе изменений движется к состоянию равновесия. В то же время, в термодинамике неравновесных процессов существует, как указывалось, принцип наискорейшего спуска, согласно которому движение открытой системы к равновесию происходит самым быстрым путем. Отсюда вытекает, что движение сложной системы к равновесию или стационарному состоянию должно сопровождаться появлением подсистем,

которые двигаются в противоположном направлении и это движение сопровождается увеличением диссипативных функций подсистемы. В случае биосферы это сопровождается появлением групп организмов с повышенным энергетическим обменом. Появление таких подсистем (таких организмов) ускоряет движение системы в целом (биосферы) к состоянию равновесия.

Эта термодинамическая закономерность (принцип наискорейшего спуска) заставляет некоторые группы организмов двигаться все дальше по пути биоэнергетического прогресса, несмотря на все препятствия, которые встречаются на этом пути. Появление терморегуляции у животных в этом случае является необходимым следствием этой закономерности, так как только таким путем, после преодоления тепловых барьеров, возможно дальнейшее движение в сторону ускоренного усиления потребляемой энергии живыми системами.

Как отмечалось выше, стандартный обмен недостаточен для характеристики энергетического обмена животных, так как он характеризует энергетику в состоянии покоя, а животные значительную часть своей жизни проводят в активном состоянии. Для примера на рис.52 приведены данные об усилении интенсивности потребления кислорода при изменении скорости плавания солнечной рыбы *Lepomis gibbosus* в гидродинамической трубе (Brett, Sutherland, 1965). Как видно из этого рисунка величина активного обмена может в 5-6 раз превышать стандартный обмен. Однако сравнивать между собой активный обмен разных животных довольно трудно, так как он сильно зависит от способов перемещения или совершения работы. Лучше в этом отношении обстоит дело с *максимальным обменом*, который соответствует интенсивности потребления кислорода животными и человеком в условиях максимальной физической нагрузки. Было показано, что максимальный обмен животных прямо пропорционален величине стандартного обмена (Шмидт-Ниельсен, 1987) и превышает последний у всех животных (рис.12) в 9.6 раза (Донцова, Зотин, 1980; Зотин, 1988).

Нас здесь интересует не вопрос о том, насколько точна эта цифра, а сам факт значительного увеличения энергетического метаболизма при активном и, тем более, максимальном обмене. То и другое является чрезвычайно важным

обстоятельством в жизни многих животных, без которых им трудно выжить в борьбе за существование. Но увеличение энергетического обмена при активном поведении животного неизбежно приводит к увеличению температуры тела. Например, температура тела во время свободного полета бражника или шмеля достигает  $40^{\circ}\text{C}$  при  $16\text{-}33^{\circ}\text{C}$  среды (Heinrich, 1971, 1975), а матки шмеля - до  $45^{\circ}\text{C}$  (Heinrich, 1975). Учитывая, что сопоставимый стандартный обмен пчел равен  $a=4.74$  мВт/г (Алексеева, Зотин, 1996), мы можем определить эту цифру в качестве нижней границы энергетического обмена, для перехода которой необходимо появление способности к терморегуляции иначе при активном обмене образуется слишком много тепла внутри организма.

Верхнюю границу стандартного обмена, выше которой существование животных без возникновения терморегуляции затруднительно, мы можем определить исходя из данных о стандартном обмене однопроходных. Ехидны имеют слабую систему терморегуляции одну из самых несовершенных среди млекопитающих (Владимирова, Зотин, 1989), при этом сопоставимый стандартный обмен семейства *Tachyglossidae* равен  $a = 8.3$  мВт (Зотин и др., 1990). Отсюда следует, что выше этой величины сопоставимого стандартного обмена температура тела животного, не способного к терморегуляции, при активном и тем более максимальном обмене может достигнуть такой величины, что оно погибнет или будет повреждено. Исходя из сказанного, мы и назвали сопоставимый стандартный обмен от 5 до 8 мВт/г *первым тепловым барьером* (Зотин и др., 1998б).

Другой способ приблизительного определения нижней границы первого теплового барьера заключается в использовании данных о, так называемом, *метаболическом диапазоне* (D) (Шмидт-Ниельсен, 1987), который соответствует превышению максимального обмена над стандартным. Как говорилось, для всех животных он приблизительно одинаков и равен  $D=9.6$  (Зотин, 1988). Границу первого теплового барьера можно определить, деля наивысшую величину стандартного обмена в отряде воробьиных птиц на величину метаболического диапазона, считая, что воробьиные достигли максимально возможной температуры тела и дальнейшее увеличение

стандартного обмена у гомойотермных животных нежелательно, как и максимального обмена пойкилотермных животных. Мы, сравнив кривую биоэнергетического прогресса и кривую максимального обмена (рис.53) пришли к выводу, сходному с приведенным выше: примерно с величины коэффициента  $a$  равной 5 - 6 мВт/г величина максимального обмена становится больше 75 мВт/г, т.е. достигает уровня второго теплового барьера, когда температура тела поднимается до летальных значений (рис.51).

Данные о сопоставимом стандартном обмене [коэффициент  $a$  из аллометрического соотношения (46), (47)] для некоторых семейств воробьинообразных птиц, взятые из статьи Зотина (1979), приведены в табл.40. Если рассчитать по этим данным величину  $a/D$ , то оказывается, что граница первого теплового барьера лежит в районе 4-5 мВт/г, т.е. в той же области, что и полученная по данным о стандартном обмене пчел. Больше того, если учитывать верхнюю границу, полученную по данным о стандартном обмене низших млекопитающих, равную 8 мВт/г, можно думать, что у птиц еще есть некоторая возможность наращивать величину стандартного обмена в процессе эволюции.

Таким образом, для пойкилотермных животных существует некая зона стандартного обмена, равная приблизительно 5-8 мВт/г, выше которой животные нормально существовать не могут. Этот барьер пойкилотермные должны преодолеть в процессе биоэнергетического прогресса. Преодолеть его можно только в результате появления способности к терморегуляции, т.е. превращения пойкилотермных животных в гомойотермных.

На первый взгляд это несколько не совпадает с существующими представлениями об эволюции процесса терморегуляции (Слоним, 1986), но на самом деле принципиальных различий между этими двумя подходами нет, так как прогрессивная эволюция всегда поддерживается естественным отбором.

### **Способны ли крокодилы и динозавры к терморегуляции?**

Представленная гипотеза возникновения терморегуляции открывает новые возможности для установления времени появления гомойотермии в процессе эволюции позвоночных животных, определения уровня



терморегуляции у вымерших млекопитающих и птиц, позволяет определить, способны ли крупные рептилии, например, крокодилы к терморегуляции и следует ли относить некоторых динозавров к гомойотермным животным. Мы здесь остановимся подробнее только на последнем вопросе.

Начнем с того, можем ли мы определить коэффициент  $a$  из аллометрического соотношения (46) для крокодилов и динозавров, так как только зная величину этого коэффициента, можно определить преодолели ли первый тепловой барьер крокодилы и динозавры или хотя бы некоторые из динозавров? Очевидно, что величину коэффициента  $a$  для крокодилов можно вычислить из аллометрического соотношения (46):

$$a = \frac{\bar{\dot{Q}}_{O_2}}{M^{0.75}} \quad (185)$$

Зная величину скорости потребления кислорода  $\bar{\dot{Q}}_{O_2}$  крокодилов массой  $M$ , можно определить величину  $a$ , так как коэффициент  $k$  известен - он равен 0.75. Как видно из табл.36, для крокодилов  $a = 0.947$ , что значительно ниже нижней границы первого теплового барьера в 5 мВт/г.

Сложнее определить коэффициент  $a$  для динозавров, так как для этого необходимо знать их скорость потребления кислорода  $\bar{\dot{Q}}_{O_2}$  (массу тела динозавров можно приблизительно определить по размерам скелета). Поэтому займемся вопросом об определении скорости дыхания динозавров.

Как видно из соотношения (171) и табл.50 размеры мозга рептилий связаны с размерами тела аллометрическим соотношением

$$M_{br} = 0.015 \cdot M^{0.56}. \quad (186)$$

С другой стороны, зависимость интенсивности потребления кислорода от массы тела рептилий определяется аллометрическим соотношением

$$\bar{Q}_{O_2} = 1.05 \cdot M^{0.75}, \quad (187)$$

Отсюда следует, что соотношение между дыханием и размерами мозга у рептилий равно

$$\bar{Q}_{O_2} = 1.05 \left( \frac{M_{br}}{0.015} \right)^{\frac{0.75}{0.56}} = 291.9 M_{br}^{1.34} \quad (188)$$

Таким образом, зная размеры мозга  $M_{br}$  можно приблизительно определить скорость дыхания рептилий и, предполагая, что аллометрические соотношения (186) и (187) справедливы не только для современных, но и вымерших рептилий, можно определить дыхание этих вымерших животных, в том числе и динозавров.

Динозавры имели довольно разные размеры мозга, в основном, небольшие. Однако среди них имелись особи, принадлежащие к инфраотряду *Coelurosauria*, имеющие необычно большие для рептилий размеры мозга (Кэрролл, 1993а). Мы будем рассматривать представителей только этого инфраотряда, так как в данной работе нас интересует только один вопрос: были ли среди динозавров такие, которые способны к терморегуляции.

Судя по материалам, приводимым в книге Кэрролл (1993а), у динозавров из инфраотряда *Coelurosauria* размеры мозга были в 5.8 раз больше, чем у современных крокодилов. Если принять, что размер мозга крокодилов весом порядка 130 кг равен 11.54 г (Стрельников, 1970), то у представителей *Coelurosauria*, таких же размеров (масса тела представителей этого инфраотряда лежала в пределах 100-200 кг) масса мозга была порядка 67 г. Подставляя эту величину в формулу (188), получим, что дыхание целурозавров равнялось  $\bar{Q}_{O_2} = 81691$  мВт/особь. Теперь, используя формулу (185), получим, что у этой группы динозавров коэффициент  $a = 10.7$ , что заметно выше верхней границы первого теплового барьера, равного 8 мВт/г. Таким образом, не исключено, что динозавры из инфраотряда целурозавров были способны к терморегуляции, т.е. относились к категории гомойотермных животных.

## Глава 2. **Второй тепловой барьер и возникновение цивилизаций.**

Как отмечалось, в результате биоэнергетического прогресса и увеличения стандартного обмена температура тела гомойотермных животных достигает такой величины, что дальнейшее увеличение стандартного обмена становится невозможным. Биоэнергетический прогресс достигает нового, *второго теплового барьера* и должен был бы остановиться.

То, что увеличение сопоставимого стандартного обмена [коэффициента  $a$  из формулы (46)] коррелирует с увеличением температуры тела (коэффициент корреляции, как говорилось, равен 0.78) следует из данных, приводимых в табл.59 и на рис.51. Поэтому дальнейшее увеличение стандартного обмена, которое является неизбежным следствием принципа наискорейшего спуска термодинамики неравновесных процессов, выше определенной величины становится невозможным.

Природа, однако, нашла такой путь эволюции животных, который позволяет преодолеть и второй тепловой барьер - это путь возникновения цивилизаций. Речь идет о совершенствовании в процессе прогрессивной эволюции системы регуляции и управления в живых организмах, которая завершилась в человеке появлением сознания. Это совершенствование связано и даже базируется на биоэнергетическом прогрессе, так как согласно термодинамике информационных процессов в одинаковых по строению устройствах более совершенная система получения, хранения и использования информации, более точная работа регулирующих и управляющих систем требует больших затрат энергии (Поплавский, 1981). Отсюда следует, что возможность совершенствования информационных систем животных зависит от возможностей их энергетики: только у организмов, достигших высокого уровня энергетического обмена возможно появление совершенной системы регуляции и управления и, тем более, сознания.

Чем же сознание может помочь преодолению второго теплового барьера и осуществлению дальнейшего движения по пути биоэнергетического прогресса? Прежде всего тем, что используются источники энергии не только внутри организма, но и вне его. Это смог осуществить в больших масштабах пока только человек, который научился употреблять для своих нужд не только энергию, заключенную в пище, но и в различных горючих материалах, энергию рек, ветра и солнца, а в последние десятилетия и атомную энергию. Человечество на протяжении тысячелетий своей истории постепенно увеличивало количество используемой энергии, приходящейся на каждого индивидуума (табл.60).

Т а б л и ц а 60

Потребление и производство энергии в процессе эволюции человечества (Zotin, Lamprecht, 1996)\*

Уровень цивилизации	Историческое время	Потребление энергии на одного человека	
	годы	Ккал/день	<i>a</i> (мВт)
Примитивный человек	-2000000	2000	22.5
Использование огня	-750000	5000	56.2
Доместификация животных	-6000	12000	134.8
Индустриальная революция	+1800	77000	866
США (настоящее время)	+1990	230000	2587
Весь мир (наст. время)	+1993	44000	495

\* По данным: Adams, 1975; Кнорре, 1978; Eppler, 1989

Вначале этот процесс происходил относительно медленно, а затем со все большим ускорением. Так, расчеты показывают (табл.60), что первобытный человек получал с пищей не более 2000 Кал/сутки, при использовании огня костров потребление энергии увеличилось до 5000 Кал/сутки, 6-7 тыс. лет тому назад - до 12000, в XVII-XIX веках (Англия) - до 77000 и в современное время

(США) - 230000 Кал/сутки. Особенно ускорился рост мирового производства энергии в XVIII-XX веках. По данным Роуза и Кларка (1963) мировое потребление энергии в 1860 году составляло примерно  $0.017 \cdot 10^{21}$ , в 1946 году -  $0.093 \cdot 10^{21}$ , а в 1975 должно было составлять  $0.34 \cdot 10^{21}$  дж.

Чтобы более наглядно показать преемственность энергетического прогресса животных, протекающего на протяжении миллионов лет, и человеческой цивилизации, происходящего в последние несколько тысяч лет, следует сравнить кривую биоэнергетического прогресса и кривую увеличения энергообеспеченности человечества. Напомним еще раз, что для сравнения энергетического обмена животных разных классов и типов животных используют коэффициент  $a$  из формулы (46). Поэтому, чтобы сравнить рост энергетических возможностей человечества с биоэнергетикой животных, приходится прибегать к сходной величине. Принимая, что в среднем масса человека равна 65000 г, а коэффициент  $k=0.75$ , формулу для расчета  $a$  в разные периоды развития человеческой цивилизации можно записать в виде:

$$a = \frac{\dot{Q}}{65000^{0.75}} = 0.00025 \cdot \dot{Q} \quad (189)$$

где  $\dot{Q}$  - потребление энергии в мВт/г. С помощью этой формулы и данных о энергопотреблении людей в разные периоды человеческой цивилизации (Табл.60) можно получить кривую энергетического прогресса человечества и сопоставить ее с кривой биоэнергетического прогресса животных. Как видно из рис.53(А), где приведено это сопоставление, кривая роста энергообеспечения людей как бы продолжает кривую увеличения энергетического обмена животных.

Это не может не вызвать удивления. Природа создала условия для постепенного усиления биоэнергетики отдельных групп животных и, когда возникло препятствие, связанное с возрастанием температуры тела, нашла путь обхода этого препятствия в виде появления разумной деятельности одного из видов приматов. Этот обходный путь начался задолго до приближения

животных в процессе эволюции ко второму тепловому барьеру и не только в отряде приматов.

Как уже отмечалось закономерность, которая заставляет организмы двигаться все дальше по пути биоэнергетического прогресса, несмотря на все препятствия, которые встречаются на этом пути, опирается на принцип наискорейшего спуска термодинамики неравновесных процессов. Следовательно, появление цивилизаций является необходимым следствием термодинамической закономерности, так как только таким путем, после преодоления второго теплового барьера, возможно дальнейшее движение в сторону увеличения потребления энергии живыми системами. Возникновение цивилизации на Земле является неизбежным результатом этой термодинамической закономерности и вытекающего из нее биоэнергетического прогресса. Отсюда следует также, что если бы не появился человек, на его месте мог оказаться некоторый другой вид животных, способный создать цивилизацию в указанном выше смысле. Что такое возможно следует из данных о возрастании массы мозга в процессе прогрессивной эволюции в разных классах и типах животных.

## **1. Увеличение относительных размеров мозга**

Многие авторы справедливо указывают, что прогрессивная эволюция характеризуется не только усилением энергетики организмов, усложнением их строения и функционирования, но и совершенствованием информационных процессов вплоть до появления разума. Трудность состоит в том, что нет четких количественных критериев, которые помогли бы описать указанный процесс и сопоставить его в разных группах животных. Единственный критерий, который можно в настоящее время использовать (хотя и не для всех видов животных, не говоря уж о растениях) это относительные размеры головного мозга. Это безусловно косвенный показатель способности животных хранить и использовать информацию, но он хорошо изучен у разных групп животных и может быть достаточно точно измерен. Больше того, его можно определить не только у ныне живущих животных, но и у многих ископаемых, что позволяет проследить изменение относительных размеров мозга в процессе реальной эволюции.

Трудно, однако, использовать для целей сравнения относительные размеры мозга, если понимать под этим понятием отношение массы или объема мозга к массе тела, так как размеры мозга, как и стандартный обмен, аллометрически зависят от массы тела (171). Поэтому в сравнительных исследованиях используют коэффициент  $C_{br}$ , который носит название *коэффициента энцефализации*. Он соответствует массе мозга, если бы животное имело массу тела равную 1 г. Из формулы (171) следует, что коэффициент энцефализации можно определить для любого животного по формуле

$$C_{br} = \frac{M_{br}}{M^{k_{br}}}, \quad (190)$$

где  $M_{br}$  - масса головного мозга (г);  $M$  - масса тела (г);  $C_{br}$  - коэффициент энцефализации;  $k_{br}$  - константа.

Для расчета коэффициента энцефализации, как видно из формулы (190), необходимо знать величину коэффициента  $k_{br}$  для изучаемого животного. К счастью коэффициент  $k_{br}$  приблизительно одинаков у разных видов животных одного класса. Расчет по данным, приводимым Стрельниковым (1970), показывает, что у млекопитающих  $k_{br}$  равен 0,57, у птиц - 0,53, у рептилий - 0,52. Мы рассчитали коэффициент энцефализации для всех известных нам позвоночных животных, и он оказался равным  $k_{br}=0.56$ . Зная этот коэффициент, можно определить коэффициент энцефализации у отдельных представителей указанных классов по формуле (190).

Палеонтологи (см. Кэррол, 1993а) иногда используют несколько иной показатель в качестве коэффициента энцефализации, принимая его равным  $EQ = E_i/E_u$ , где  $E_i$  - размер мозга данного животного,  $E_u$  - размер мозга, характерного для всей изучаемой группы животных. Этот показатель, безусловно, хуже, чем  $C_{br}$ , так как зависит от размеров животных и следует выбрать какой-то эталонный размер, что уже сделано в случае использования формулы (190).

В табл.51 приведены данные о коэффициенте энцефализации для разных отрядов ныне живущих млекопитающих и птиц. Чтобы уточнить эволюцию

относительных размеров мозга этих животных мы привели также данные о коэффициенте энцефализации в разных семействах класса млекопитающих и птиц (табл.51). Как видно из табл.51, в классе млекопитающих наименьший коэффициент энцефализации имеют представители отряда насекомоядных  $C_{br}=0.09$ , наибольший - представители отрядов приматов  $C_{br}=0.77$ , хоботных  $C_{br}=1.20$  и китообразных  $C_{br}=1.32$ . Если же рассмотреть вопрос о том как обстоит дело в отдельных семействах класса млекопитающих, то оказывается (табл.51), что наивысший коэффициент энцефализации среди позвоночных животных имеют люди  $C_{br}=2.76$  и дельфины  $C_{br}=1.68$ .

В классе птиц наименьший коэффициент энцефализации имеют пингвины  $C_{br}=0.04$  и страусы  $C_{br}=0.06$ , наибольший - совы  $C_{br}=0.27$  и попугаи  $C_{br}=0.33$ . Такого же порядка коэффициент энцефализации в семействе врановых (вороновых)  $C_{br}=0.30$  из отряда воробьиных. Для всего отряда воробьинообразных  $C_{br}=0.18$ .

Как видно из приведенных цифр особенно велик коэффициент энцефализации у человека: он в 30 раз больше, чем у насекомоядных, в 46 раз больше, чем у страусов, в 9 раз больше, чем у ворон, в 8 раз больше, чем у попугаев, в 2.6 раза больше, чем у приматов и 2.1 раза больше, чем у китообразных. Это показывает, что особенность человека, как мыслящего существа, связана с большими по сравнению с другими позвоночными относительными размерами мозга.

Если сопоставить коэффициент энцефализации со временем появления отдельных групп животных в палеонтологической летописи, то оказывается, что имеется явная тенденция увеличения относительных размеров мозга по мере эволюции (рис.40). Наряду с этим в отдельных отрядах и семействах произошло резкое увеличение коэффициента энцефализации (рис.54). Как видно из этого рисунка и табл.51, не только высшие приматы и китообразные сумели заметно превысить средний для класса коэффициент энцефализации, но и попугаи, врановые птицы и динозавры, хотя им всем, конечно, далеко до человека. Только *Homo sapiens* достиг такой величины относительных размеров мозга, которая позволила ему создать цивилизованное общество и, преодолев второй



тепловой барьер, продолжить кривую биоэнергетического прогресса. Из китообразных наивысший коэффициент энцефализации, по-видимому, достигнут у дельфинов: у некоторых видов афалин  $C_{br} = 1,68$ .

Среди птиц наибольший коэффициент энцефализации достигнут у сов, попугаев и врановых птиц (табл.51). Этому соответствует и высокий уровень рассудочной деятельности попугаев и ворон, сопоставимый с обезьянами (Крушинский, 1977; Стеттнер, Матиньяк, 1983)

Наконец, следует сказать, что не только среди позвоночных, но и беспозвоночных животных, когда для этого создаются морфологические возможности, наблюдается тенденция к увеличению размеров мозга. Речь идет о головоногих моллюсках. Как известно, у представителей этого класса моллюсков размеры мозга очень велики (Maddock, Young, 1987), а показатели высшей нервной деятельности сопоставимы со сходными показателями для млекопитающих и птиц (Акимушкин, 1968). Расчет коэффициента энцефализации по формуле (190), принимая  $k_{br}=0.56$  и используя данные об объеме мозга в  $\text{мм}^3$ , показал, что для кальмара *Illex illecebrosus* массой  $M=167$  г (табл.29) и объемом мозга  $M_{br}=13.4 \text{ мм}^3$  (Maddock, Young, 1987)  $C_{br}=0.763$ , а для осьминогов *Octopus dofleini* ( $M=9862$  г,  $M_{br}=926.2 \text{ мм}^3$ ) и *O. vulgaris* ( $M=1483$  г,  $M_{br}=92.6 \text{ мм}^3$ ) коэффициент энцефализации равен, соответственно,  $C_{br}=5.37$  и  $C_{br}=1.55$ . По величине это соответствует коэффициенту энцефализации человека (рис.54).

Конечно, эти цифры недостаточно надежны, так как, во-первых, не известно чему равен  $k_{br}$  для моллюсков (мы приняли для них ту же величину, что и для позвоночных), во-вторых, в работе Мэддока и Янга (Maddock, Young, 1987), откуда мы взяли цифры об объеме мозга кальмара и осьминогов, не приведены данные о массе тела исследованных ими головоногих. И все же расчетные данные впечатляют, показывая, что относительные размеры мозга головоногих очень велики и сопоставимы с размерами мозга людей. Следует все же учитывать, что большая относительная величина мозга у головоногих моллюсков еще не означает, что они по уровню высшей нервной деятельности достигли уровня человека, так как и структура и устройство мозга у них иное,

чем у млекопитающих. И все же этот показатель демонстрирует возможности головоногих, которые подтверждаются наблюдениями о выработке стойких условных рефлексов (Акимушкин, 1967) и ассоциативных способностях осьминогов (Wells, 1966).

Следовательно, не только млекопитающие и птицы двигались и двигаются в процессе прогрессивной эволюции по пути увеличения относительных размеров мозга - по пути, который ведет к возникновению разумной деятельности и появлению цивилизаций, но и рептилии и даже беспозвоночные животные (головоногие моллюски). Человек просто обогнал в этом процессе других животных и, практически, полностью перекрыл возможности появления новых цивилизаций на Земле, основанных на другом биологическом материале.

## **2. Виртуальные цивилизации.**

Следует отметить, что человеческая цивилизация могла и не возникнуть, так как, по всей видимости, первыми среди позвоночных животных встали на путь увеличения относительных размеров мозга представители класса рептилий - динозавры, по не совсем ясным причинам вымершие около 70 миллионов лет тому назад. Как видно из рис.54 коэффициент энцефализации группы сравнительно небольших по размеру хищных динозавров (массой порядка 70-80 кг), относящихся к инфраотряду целурозавров из надотряда Theropoda, близок современным млекопитающим и птицам (Norson, 1977; Кэррол, 1993а).

Представители этой группы динозавров показаны на рис.55. Коэффициент энцефализации этих вымерших рептилий в 5.8 раз больше чем у современных крокодилов и равен приблизительно 0.126. Не исключено, что целурозавры могли бы еще миллионы лет тому назад достигнуть относительных размеров мозга, сопоставимого с человеческим, и тогда в настоящее время на Земле существовала бы совсем иная по многим признакам, но не по уровню энергетики, цивилизация.

Интересно отметить, что наибольший коэффициент энцефализации внутри быстро прогрессирующей в этом отношении группы животных достигают виды, имеющие вполне определенную массу тела порядка 50-100 кг.

Например, среди человекообразных обезьян, занимающих одно из самых заметных мест по величине коэффициента энцефализации приматов - это человек, имеющий массу тела 50-80 кг, среди дельфинов - это афалины, имеющие массу тела порядка 100 кг, среди динозавров - это целурозавры с массой тела 70-80 кг. Это показывает, что важны не только относительные, но и абсолютные размеры мозга и птицы, которые достигли бы относительных размеров мозга сопоставимого с человеком, должны были бы, чтобы сравниться с ним по уровню высшей нервной деятельности, достичь и его общей массы тела.

Целурозавры, судя по размерам мозга, могли создать цивилизацию на Земле за много лет до появления человека. Но в очереди претендентов на создателей цивилизации стояли и стоят не только динозавры и приматы, но и некоторые другие представители позвоночных и беспозвоночных животных. Как следует из данных, приводимых выше (рис.54), увеличенные размеры мозга наблюдаются также у птиц, дельфинов и осминогов. Эти наиболее вероятные кандидаты на создании цивилизации на Земле в случае исчезновения человечества показаны на рис.56-58.

Еще раз отметим, что появление цивилизаций на Земле является неизбежным результатом биоэнергетического прогресса, который в свою очередь является следствием принципа наискорейшего спуска термодинамики неравновесных процессов. Другими словами, возникновение цивилизации на Земле связано с глубокими термодинамическими закономерностями и является неизбежным процессом, что и показывают данные о биоэнергетике и размерам мозга многих животных.

### **3. Социальная деятельность животных**

Выше говорилось о предпосылках возникновения цивилизаций на базе увеличения относительных размеров мозга и связанной с этим разумной деятельностью. Но возможно, что это не единственный биологический источник возникновения цивилизаций. Другим путем могла бы явиться социальная организация некоторых животных и особенно насекомых.

Следует отметить, что насекомые обладают наружным скелетом, и это в значительной степени ограничивает возможности увеличения их размеров: при увеличении размеров тела масса наружного скелета растет быстрее, чем масса внутренних тканей (включая мышечную) и это может привести к тому, что насекомые с увеличенными размерами тела потеряют способность к движению. Но при небольших размерах животных масса мозга, в соответствии с соотношением (171), также будет небольшой, а без некоторой критической массы мозга, по-видимому, невозможно появление разума. Для возникновения последнего необходимы значительные как абсолютные, так и относительные размеры мозга. Судя по данным о человеке, абсолютная масса мозга должна иметь порядок 1000-2000 г, а относительная -  $C_{br}=2 - 3$ . Эти цифры недостижимы для насекомых. Поэтому они пошли иным и, как показывают имеющиеся данные о времени существования насекомых, более медленным путем в направлении совершенствования процессов управления и регуляции, ведущих к возникновению разума и преодолению второго теплового барьера.

Речь идет о создании сообществ насекомых в виде термитников, муравейников, пчелиных гнезд и т.д. Эти сообщества обладают несколько иными свойствами, чем отдельные особи или даже сумма всех особей. Их называют иногда, поэтому, «сверхорганизмами» или «суперорганизмами». Например, отдельные муравьи не способны к терморегуляции, а муравейник в целом обладает этим свойством и в середине (в ядре) муравейника поддерживается иная температура, чем температура окружающей среды. Это достигается в результате целенаправленной деятельности муравьев. При перегреве муравейника они открывают входы, способствующие проветриванию муравейника и снижению температуры в ядре. При охлаждении муравейника муравьи "теплоносители" скапливаются на вершине муравейника, нагреваются на солнце и, мигрируя, переносят тепло внутрь, а затем возвращаются для захвата новых порции тепла. Делают они это до тех пор, пока в муравейнике не установится нужная температура.

Помимо этого муравьи заносят и поддерживают внутри муравейника культуры микроорганизмов, которые, благодаря интенсивной теплопродукции, создают источник тепла, необходимый для обогрева муравейника. Это

напоминает действия людей при обогреве своих жилищ, только источником тепла являются не дрова, газ или уголь, а живые микроорганизмы. Но в том и другом случае имеет место целесообразная деятельность, направленная на создание комфортных условий жизни. Надо сказать, что за счет только собственной теплопродукции, как это делают многие животные в норах, муравьи не смогли бы отапливать свое жилище, так как их масса составляет лишь 1,2% от массы муравейника (Бахем, Лампрехт, 1983).

Следовательно, указанные выше насекомые, как и человек, пошли по пути использования внешних источников энергии для продолжения биоэнергетического прогресса. Можно сказать, что мы имеем дело с зачатками цивилизации. На это указывают и многие другие действия муравьев. В частности, разведение и использование тлей для питания. Очевидно, что эволюция насекомых в направлении создания суперорганизмов - это хотя и более медленный, но путь создания цивилизации, способной кардинальным образом решить проблему второго теплового барьера. Не исключено (во всяком случае так предполагают некоторые писатели-фантасты, например, Станислав Лем в повести "Непобедимый"), что сообщества типа насекомых могут создать некий супермозг, способный к разумной деятельности.

Пример свержорганизмов показывает, что Природа, помимо увеличения относительного размера мозга, ищет и другие пути преодоления второго теплового барьера и создания цивилизации на Земле. Судя по тому, что эти процессы являются следствием самых общих термодинамических закономерностей, не исключено, что и на других планетах Солнечной системы, Галактики и Вселенной происходят сходные явления.

### **Глава 3. Третий тепловой барьер и выход человечества в космическое пространство**

Многие авторы, изучающие проблемы, связанные с эволюцией биосферы, рассматривают появление человеческой цивилизации как следствие биологической эволюции жизни на Земле (Вернадский, 1926, 1940, 1967;

Верзилин и др., 1976; Вассоевич, Иванов, 1977; Камшилов, 1979; Шипунов, 1980; Водопьянов, 1981; Соколов, 1986; Будыко, 1984; Сидоренко, 1984; Моисеев и др., 1985; Колчинский, 1990).

Как следует из работ Вассовича и Иванова (1983), Шиловой (1983) и Колчинского (1990) термином биосфера [введенным Зюссом (Süess, 1875)] обозначают совокупность живых организмов, обитающих на Земле, вместе с образуемыми этими организмами в прошлом и настоящем геологическими формациями.

В.И.Вернадский (1926, 1940, 1967) называл биосферой часть атмосферы, гидросферы и литосферы, строение и состав которой связаны с жизнедеятельностью организмов. Естественно, поэтому, что по мере органической эволюции происходило изменение химического состава этих слоев Земли. В свою очередь, изменение геохимической обстановки в целом и в отдельных регионах значительно влияло на процесс эволюции организмов. Несмотря на это, ведущими в процессе эволюции биосферы, по мнению большинства авторов, начиная с Ламарка, были процессы, связанные с изменениями живых систем: возникновение огромных захоронений углеродистых остатков, существенные изменения состава атмосферы и гидросферы, изменение соотношения химических элементов и формирование некоторых геологических образований в поверхности Земли, - все это результат деятельности и миграции различных видов организмов. Таким образом, органический мир детерминирует основные параметры биосферы и играет ведущую роль в ее эволюции (Колчинский, 1990).

Переломными этапами эволюции биосферы были возникновение жизни в гидросфере, переход от восстановительной атмосферы к окислительной и появление человечества. Все три этапа обусловлены эволюцией жизни на Земле. Важнейшими событиями для истории биосферы были такие события как возникновение основных способов питания (хемотрофного, автотрофного, гетеротрофного), появление организмов, обладающих скелетом, и способных к активным перемещениям, переход организмов от водного образа жизни к наземному, цефализация и связанный с этим разумный способ поведения животных и др. Последнее в конечном итоге привело к появлению человека и постепенному преобразованию биосферы в *ноосферу* [термин, предложенный

Леруа (Le Roy, 1927)], которая, согласно Вернадскому (1926) и другим, приводит к резкому изменению геохимической истории Земли в результате производственной деятельности человека.

## **1. Ноосфера как следствие принципа наискорейшего спуска**

Земная цивилизация является порождением человеческого разума и рук. Вопрос состоит в том, имела ли она биологические предпосылки? Не в смысле истории возникновения человека или отряда приматов, а в смысле определенной направленности биологической эволюции. Другими словами, могла ли возникнуть цивилизация на Земле на другой биологической основе, если бы по той или иной причине не произошло появление человека? И есть ли на Земле соперники, которых мы опередили, но которые потенциально способны в процессе дальнейшей эволюции занять место человека?

Мы уже рассмотрели эти вопросы в предыдущей главе и пришли к выводу, что то и другое возникло бы на Земле независимо от того, появился ли бы здесь отряд приматов и класс млекопитающих вообще, так как прогрессивная эволюция животных и возникновение цивилизации на Земле определяется фундаментальными физическими законами. Возникновение человеческой цивилизации, как и сама прогрессивная эволюция, является неизбежным следствием термодинамических закономерностей. Ее возникновение подготавливалось в живой природе задолго до появления человека, и этот процесс продолжается до настоящего времени. Исчезновение человечества (по своей глупости или по иной причине) не остановит процесса возникновения и развития цивилизаций, пока на Земле сохраняются живые организмы: биоэнергетический прогресс неизбежен, но он ограничен вторым тепловым барьером, преодоление которого возможно только в результате разумной деятельности и возникновения цивилизации.

Почему же происходит этот процесс - процесс непрерывного увеличения энергетики организмов, продолжающийся в человеческом обществе?

Биологический смысл биоэнергетической направленности эволюционного прогресса состоит в том, что более высокий уровень энергетики создает значительные преимущества в борьбе за существование, так как при этом

происходит возрастание мощности реакций животных, увеличение величины максимального обмена и скоростей биохимических реакций. Очевидно, что естественный отбор должен поддерживать это направление эволюции животных.

Менее очевиден физический смысл прогрессивной эволюции. Его можно понять, только опираясь на такую науку, как термодинамика. Чтобы это сделать следует снова вернуться к кривой увеличения энергетического обмена, показанной на рис.6, 28, и 54.

Согласно классической термодинамике наиболее вероятным состоянием системы является состояние равновесия. Если система уклоняется от равновесия, то вероятность ее состояния уменьшается, т.е. увеличивается степень упорядоченности. Чем дальше от равновесия находится термодинамическая система, тем более упорядоченной она является в устойчивом состоянии. В термодинамике неравновесных процессов приближение системы к равновесию сопровождается уменьшением удельной скорости продукции энтропии (диссипативной функции системы). Так как для живых организмов диссипативную функцию можно с известными оговорками приравнять интенсивности теплопродукции или дыхания, то увеличение интенсивности потребления кислорода при биоэнергетическом прогрессе (рис.6, 28, 54) означает не приближение, а отклонение живых систем от состояния равновесия.

Согласно Опарину (1957) жизнь на Земле возникла из первичного бульона, находящегося в состоянии, близком к равновесию. Следовательно, первые живые системы были близки к равновесию, и вероятность их состояния была большой, а степень упорядоченности малой. По мере эволюции организмы все дальше удалялись от начального, близкого к равновесию состояния, и степень их упорядоченности возрастала. В этом, по-видимому, состоит физический смысл прогрессивной эволюции организмов: все большее удаление от состояния равновесия, от состояния той первичной среды, в которой возникли живые системы. Как видно из формул (72), (73) вероятность состояния живой системы обратно пропорциональна коэффициенту  $a$  из формулы (75). Другими словами, чем больше величина стандартного обмена организма, тем дальше он отстоит от состояния равновесия. Данные, приводимые на рис. 6, 28,



54, показывают, что по мере прогрессивной эволюции животные с все большей скоростью удаляются от состояния равновесия.

Казалось бы, что биоэнергетический прогресс противоречит второму началу термодинамики, согласно которому всякая система, предоставленная самой себе, движется к состоянию равновесия: ее энтропия растет, а диссипативная функция уменьшается. Однако группы животных, двигающихся по пути биоэнергетического прогресса, не являются некой изолированной системой, а входят в состав более крупной системы, называемой биосферой. По своей массе прогрессивные виды животных составляют незначительную часть от всей массы животных и растений Земли. Поэтому, их движение в сторону от равновесия может происходить за счет сопряженных процессов, протекающих в других частях биосферы, так что удельная диссипативная функция всей биосферы в целом уменьшается. А так как биоэнергетический прогресс сопровождается усилением диссипации энергии, этот процесс ускоряет движение биосферы к состоянию равновесия.

Как отмечалось, в термодинамике неравновесных процессов предложен принцип наискорейшего спуска, согласно которому неравновесная система приближается к стационарному или равновесному состоянию наискорейшим путем (Зотин, Зотин, 1995; Zotin, Zotin, 1996). Можно считать, поэтому, что биоэнергетический прогресс является неизбежным следствием принципа наискорейшего спуска. Впечатляет диалектика этого явления: самый быстрый путь достижения состояния равновесия зависит от наличия в системе обратного процесса - уклонения части системы от состояния равновесия.

С позиции этих представлений можно объяснить и необходимость появления цивилизаций. Другими словами, возникновение цивилизации и формирование ноосферы на Земле или другой подходящей планете, где имеются условия для возникновения жизни, является неизбежным следствием принципа наискорейшего спуска термодинамики неравновесных процессов.

В связи с этим мы должны рассмотреть еще более общие явления, чем эволюция организмов или биосферы. Речь пойдет об эволюции Вселенной в целом.

## **2. Принцип наискорейшего спуска, как основа эволюции Вселенной**

Согласно теории тепловой смерти Клаузиуса, которая вытекает из второго начала термодинамики, Вселенная движется к состоянию равновесия. Логично было бы предположить, что это движение осуществляется в соответствии с принципом наискорейшего спуска. Но движение Вселенной к состоянию равновесия может быть ускорено только благодаря появлению разумной деятельности и быстрому развитию цивилизаций. В результате этой деятельности разрушение материи и диссипация энергии может происходить с все возрастающей скоростью, тем самым ускоряя переход Вселенной к состоянию равновесия. Конечно, в настоящее время деятельность человечества в этом направлении мизерна по сравнению с явлениями, происходящими даже на Земле или на Солнце, не говоря уж о Галактике или Вселенной в целом, но эта деятельность приводит к экспоненциальному возрастанию скорости диссипации энергии (рис.59), что может в отдаленном будущем привести к резкому увеличению роли человечества, как и других возможных цивилизаций, в ускорении движения Вселенной к тепловой смерти.

По сообщению Шкловского (1987) Н.С.Кардышев еще в 1964 году по уровню достигнутого технического развития выделил три возможных типа цивилизаций:

I. Технологический уровень близок к тому, который уже достигнут на Земле. Ежесекундное потребление энергии порядка  $10^{20}$  эрг.

II. Цивилизация овладела энергией, излучаемой звездой. Ежесекундное потребление энергии около  $10^{33}$  эрг.

III. Цивилизация овладела энергией в масштабах всей своей галактики. Потребление энергии порядка  $10^{44}$  эрг.

По мнению Шкловского для длительного обеспечения энергией человечества можно было бы использовать несколько процентов массы солнца порядка  $5 \cdot 10^{31}$  г. Энергетический эквивалент этой водородной массы равен  $5 \cdot 10^{50}$  эрг. Таким образом, высокоразвитая цивилизация по предположению этих ученых сможет производить энергию, заметно влияющую на энергетику галактик.

Принцип наискорейшего спуска предполагает существование множества обитаемых миров во Вселенной и все они должны сопровождаться возникновением и быстрым (по космическим масштабам времени) развитием

цивилизаций. Все цивилизации, как и человеческая, на пути своего развития столкнутся с необходимостью преодоления *третьего теплового барьера*, что ведет к необходимости освоения космического пространства, и их совместная деятельность может существенно сказаться на всей Вселенной.

Человечество вступило в эру ноогенеза и биоэнергетический прогресс (движущей силой которого является принцип наискорейшего спуска) в дальнейшем связан с развитием человеческой цивилизации, которая должна преодолеть третий тепловой барьер путем переноса энергопроизводящих и энергопотребляющих производств в околоземное пространство, а затем и в дальний космос, тем самым начав существенно влиять на приближение Вселенной к состоянию равновесия.

### **3. Третий тепловой барьер**

Как отмечалось, помимо первого теплового барьера, который возникает в процессе прогрессивной эволюции и приводит к появлению гомойотермных животных, и второго теплового барьера, преодоление которого приводит к возникновению цивилизации, существует третий тепловой барьер, который вынуждает человечество искать пути освоения ближайшего космического пространства. Но этот третий тепловой барьер возникает по иным причинам, чем первые два: он является следствием деятельности всего человечества в результате быстрого увеличения численности и стремления к улучшению условий существования. Стремление к улучшению жизненных условий все возрастающего числа людей приводит к необходимости быстрого увеличения производства энергии и энергоемких производств. Но этот процесс не может продолжаться бесконечно, так как он приводит к росту температуры нижних слоев атмосферы Земли, которая, в конце концов, может возрасти настолько, что жизнь людей, а также многих животных и растений станет невозможной. Это и есть третий тепловой барьер, но уже не для биоэнергетического прогресса животных, а для прогресса человеческой цивилизации.

Следствием перспективы возникновения третьего теплового барьера является необходимость выхода человечества в космическое пространство и организации энергоемких и энергопроизводящих производств вне Земли. Так, по расчетам Шкловского (1987) в его время производство энергии человечества

составляло около  $6 \cdot 10^{19}$  эрг/с, причем в течение последних 200 лет каждые последующие 20 лет эта величина удваивалась. При таких темпах через 200 лет производство энергии достигнет  $3 \cdot 10^{22}$  эрг/с, что составляет около 1% потока солнечной энергии, поступающей на Землю. Это приведет к увеличению средней температуры поверхности Земли на  $1-2^\circ\text{C}$  (Алексеев, Гирусов, 1981), что грозит климатическими изменениями многих районов Земли. Дальнейшее увеличение производства энергии приведет к такому изменению теплового режима Земли, что жизнь на ней для людей станет невозможной.

Конечно, значительное увеличение производства энергии сопровождается и другими последствиями, неблагоприятными для жизни людей (Моисеев и др., 1985; Моисеев, 1988; Горшков, 1990), но они вполне преодолимы путем создания замкнутых и экологически чистых производств. Это касается не только элементарного загрязнения окружающей среды, но и теплового эффекта, связанного с выбросом больших объемов  $\text{CO}_2$  в атмосферу или образования озоновых дыр, повышающих ультрафиолетовый поток излучения на поверхность Земли. Только изменение теплового баланса Земли за счет производства энергии человечеством невозможно преодолеть без выноса энергопроизводящих и энергопотребляющих производств за пределы Земли. Это, кстати, решит и многие другие проблемы, связанные с загрязнением среды, демографией и производством продуктов питания и потребления (Зотин и др., 1998б, Зотин, Зотина, 1998).

Расчет величины третьего теплового барьера можно произвести на основании данных, приводимых Горшковым (1990). В этом случае мы должны считать не коэффициент  $a$ , как в случае биоэнергетического прогресса, а общее производство энергии человеком на Земле, так как для разогрева нижних слоев атмосферы важен именно этот показатель. Тем более, что численный состав человеческой популяции (т.е. общая масса человечества) непрерывно возрастает и удельная величина производимой энергии зависит не только от величины производства, но и от числа людей.

На рис. 59 показана кривая возрастания производства энергии человечеством до 2300 года по прогнозам Шкловского (1987), если производство энергии продолжится теми же темпами, что и в предыдущие 200 лет. Как видно

из этого рисунка рост производства энергии идет по экспоненте, и замедления этого роста пока не предвидится. По данным Горшкова (1990) солнечное излучение, попадающее на Землю, приносит с собой энергию порядка  $10^{17}$  Вт. Мировое потребление энергии в 80х годах нашего столетия составляло порядка  $10^{13}$  Вт (рис.59). Допустимое увеличение изменение производства энергии, не наносящее существенного ущерба климату Земли, по расчетам Горшкова (1990), равно  $10^{15}$  Вт, т.е. как утверждает Шкловский (1987) не должно превышать 1% от энергии, приносимой Солнцем. Другими словами третий тепловой барьер возникает на уровне  $10^{15}$ - $10^{16}$  Вт, т.е. человечество уже через 200-300 лет может подойти к третьему тепловому барьеру.

Постепенно человечество может превратиться в реальную космическую силу, меняющую тепловой баланс не только Земли, но и солнечной системы в целом. До этого, конечно, очень далеко, но изменение теплового баланса Земли вполне видимая перспектива.

\* \* \*

Подводя итоги, следует сказать, что появление цивилизаций во Вселенной является неизбежным следствием второго начала термодинамики и принципа наискорейшего спуска. Появление цивилизаций является как бы механизмом ускорения процесса приближения Вселенной к равновесию, который без этого осуществлялся бы значительно медленнее.

Отсюда следует, что появление цивилизации на Земле или другой подходящей планете является неизбежным следствием биоэнергетического прогресса, вытекающего из принципа наискорейшего спуска. Механизм биоэнергетического прогресса связан с действием естественного отбора. Ограничения, которые накладывает на биоэнергетический прогресс второй тепловой барьер, преодолены в результате разумной деятельности людей, т.е. благодаря появлению цивилизации. При этом возникновение цивилизации не обязательно связано с появлением на Земле человека: она могла бы возникнуть на другой биологической основе, и возникнет, если человечество по той или иной причине исчезнет.

В свою очередь развитие цивилизации приводит к возникновению третьего теплового барьера, преодоление которого вынуждает человечество осваивать околоземное космическое пространство. Дальнейший прогресс

человечества, вынуждаемый потребностями людей (а в конечном счете, принципом наискорейшего спуска термодинамики неравновесных процессов) заставит осваивать и дальнейшее космическое пространство.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая монография завершает серию работ, в которых сделана попытка построить термодинамические основы теоретической биологии. Эта попытка длится более 30 лет и начиналась работой «Thermodynamic aspects of developmental biology», опубликованной в 1967 году в журнале J. Theoret. Biol. Затем последовали ряд статей и монографий в том числе четыре коллективных монографии, опубликованных на русском и английском языках (Зотин, 1976, 1980, 1984; Lamprecht, Zotin, 1978, 1983, 1985, 1988). Главное, что показали эти монографии, было то, что в такой субъективной и индивидуальной области деятельности, как наука, коллективная работа мало продуктивна. Это тем более удивительно, что сама наука является плодом коллективной деятельности многих поколений ученых. Но факт остается фактом, и на самом деле деятельность ученых так же субъективна, как и деятельность представителей культуры и искусства. Отличие науки от других видов культуры состоит в том, что она требует строгих логических доказательств своих выводов и подтверждения их экспериментами и человеческой практикой. Другой особенностью науки, отличающей ее от искусства, является то, что она опирается на *принцип дополненности*, согласно которому новые идеи и теории не должны отвергать предшествующие строго доказанные положения. Наоборот они должны сочетаться и не противоречить им. Мы надеемся, что данная монография удовлетворяет этим требованиям, так как идеи, развиваемые в ней, опираются на твердо установленные законы Природы, а выводы подтверждаются многочисленными экспериментальными данными.

Еще одной особенностью науки является то, что большей частью установленные в ней истины, вошедшие в основной фонд науки, имеют длительную историю. Бывает очень трудно установить приоритет того или

иного автора, так как конечная истина базируется на ряде неясных, а порой и неверных, разработок. Это относится и к теориям, высказанным в данной книге.

Так, термодинамический подход к проблемам биологии начат еще в работах Больцмана и продолжается до наших дней. Даже такой, казалось бы, новый подход к проблеме прогресса в живой и неживой Природе, как попытка объяснить его с точки зрения законов физики и химии возник очень давно, а в русской науке - в работах таких известных ученых, как Бер, Умов, Вернадский, Берг, Кольцов и Бауэр. Особенно близки идеям, развиваемым в данной монографии, были работы Эрвина Симоновича Бауэра, а также многих зарубежных авторов (Brooks, Lamprecht, Leuschner, Swensen, Wicken, Wiley, Ulanowicz), использовавших термодинамику для толкования различных проблем биологии, в том числе, проблемы прогрессивной эволюции. Большое значение для нас имели также работы Владимира Ивановича Вернадского и Никиты Николаевича Моисеева, касающиеся понятия биосферы и ноосферы.

Настоящая монография посвящена пониманию прогрессивной эволюции животных, существование которой не вызывало и не вызывает никаких сомнений. Теория естественного отбора, которой придерживаются и авторы данной монографии, хорошо объясняет механизм образования новых видов и различных целесообразных приспособлений организмов, но не затрагивает существенным образом проблем прогрессивной эволюции. К настоящему времени выяснилось, что их можно решить, только опираясь на такую науку, как термодинамика неравновесных процессов - науку, которая также занимается проблемами эволюции, но только в более широком плане, чем теория естественного отбора: в плане построения эволюции любых материальных систем, включая живые организмы. В отличие от теории естественного отбора, термодинамика является феноменологической наукой, т.е. она не рассматривает механизмы изучаемых явлений, но только направление изменений термодинамических систем и движущие силы изучаемых изменений. Движущая сила эволюционного прогресса в биосфере, как и в других физических системах, определяется принципом наименьшей диссипации энергии, т.е. изменением системы в целом в направлении наиболее вероятного состояния, состояния

равновесия. В системе Солнце-Земля, где градиент подводимой к Земле энергии приблизительно постоянен на протяжении миллиардов лет, сначала возникает гигантский переходной процесс в виде возникновения жизни и образования биосферы, затем биосфера достигает стационарного уровня и начинает эволюционировать в сторону равновесия. Одновременно на всех этапах эволюции жизни на Земле действует принцип наискорейшего спуска, согласно которому движение термодинамической системы к равновесию происходит наискорейшим образом. А это означает, что в системе (в нашем случае в биосфере) появляются подсистемы (группы организмов), которые эволюционируют в противоположном направлении, т.е. в направлении от равновесия, это и является, с нашей точки зрения, прогрессивной эволюцией. Движение термодинамической системы к состоянию равновесия сопровождается уменьшением функций внешней диссипации системы. Обратный процесс - ее увеличением.

Следовательно, в процессе прогрессивной эволюции должно происходить увеличение функции внешней диссипации. А так как ее с известным приближением можно приравнять интенсивности теплопродукции или интенсивности потребления кислорода организмов, то прогрессивную эволюцию можно подтвердить или опровергнуть экспериментальным путем. Приводимые в монографии многочисленные данные о стандартном обмене представителей различных групп животных не только подтверждают наличие прогрессивной эволюции в животном мире в целом, в отдельных типах и классах животных, но позволяют рассчитать скорость этого процесса, а также рассмотреть возможный феноменологический механизм прогрессивной эволюции.

Прогрессивная эволюция (все большее удаление живых систем от равновесного состояния) тесно связана с биоэнергетическим прогрессом (возрастанием в процессе эволюции энергетики, стандартного обмена организмов) и даже базируется на этом явлении. В свою очередь, усиление энергетики организмов в процессе прогрессивной эволюции, согласно термодинамике информационных процессов, позволяет совершенствовать процессы регуляции и управления в живых системах. Другими словами,



прогрессивная эволюция сопровождается возрастанием степени организованности живых систем, вплоть до появления сознания и возникновения человеческой цивилизации. По некоторым критериям (совершенство терморегуляции у гомойотермных животных, коэффициент энцефализации у позвоночных животных, максимальная продолжительность жизни), рассмотренным в монографии, можно рассчитать скорость возрастания организованности в процессе прогрессивной эволюции отдельных групп животных. Очевидно, что естественный отбор быстро подхватывает всякую возможность совершенствования процессов регуляции и управления и способствует возникновению сознания в животном мире.

Важный общий вывод, сделанный нами, состоит в том, что биоэнергетический прогресс животного мира перерастает в энергетический прогресс человеческой цивилизации, что приводит к необходимости освоения человечеством сначала близлежащего, а потом и все более удаленного от Земли космического пространства. Это не удивительно, так как такие фундаментальные законы природы, как Второе начало термодинамики или Принцип наискорейшего спуска не могут ограничиваться только процессами, происходящими на Земле или вблизи от Земли: они охватывают всю Вселенную. Согласно Второму началу термодинамики эволюция Вселенной происходит в направлении состояния равновесия, а Принцип наискорейшего спуска убыстряет этот процесс. Но, чтобы это осуществилось, необходимо возникновение разумных существ, создающих достаточно мощные цивилизации, способные оказать влияние на процессы, происходящие в такой грандиозной физической системе, как Вселенная. Таким образом, биоэнергетический прогресс и прогрессивная эволюция, протекающая в биосфере, является одним из механизмов еще более грандиозного процесса ускорения движения Вселенной к равновесию. Так ли это на самом деле покажет только дальнейшее развитие науки и особенно неравновесной термодинамики нелинейных необратимых процессов.