

Эволюционные принципы в моделировании устойчивого развития современной биосферы

Ю. А. Ростопшин

Институт системного анализа РАН, Москва

Введение

Исследования в проблематике устойчивого развития приобрели в настоящее время высокую актуальность. Это обстоятельство является следствием растущей озабоченности ростом негативных последствий мало контролируемого социально-экономического развития, осознания возможности возникновения существенных для человека изменений в состоянии биосферы — среде его обитания.

Возникновение и развитие на Земле биосферы и техносферы — фундаментальные проблемы физики, экологии, экономики, астрономии, геологии, биологии и т. д. И в каждом частном направлении научного знания получили развитие собственные методологические принципы исследования, внесшие существенный вклад в понимание закономерностей, определяющих динамику рассматриваемых объектов. Однако при переходе к междисциплинарному рассмотрению (а именно таковыми являются объекты рассмотрения в проблематике устойчивого развития) возникает проблема недостаточности частных методологий, необходимости синтеза единого системного подхода.

Историчность является общей особенностью всех доступных нашему вниманию объектов окружающего мира. Естественным представляется рассматривать объекты современной геосферы в качестве «продуктов» единого процесса эволюции материального мира.

В современной биофизике получила развитие базирующаяся на принципе эволюционной непрерывности методология моделирования эволюции органического мира геосферы [1–4]. Рассмотрение техносферы в

качестве продукта эволюции геосферы представляется обоснованным и перспективным для становления общесистемного подхода исследований устойчивого ее развития.

Существенным преимуществом развиваемой в рамках биофизики общесистемной методологии является возможность использования хорошо зарекомендовавшего себя в рамках физики аппарата математического моделирования. В свою очередь ряд биофизических постановок стимулировал развитие специальных математических методов, методов математического моделирования динамики неравновесных систем, к классу которых, несомненно, следует отнести системы, призванные описывать биосферные процессы.

1. Гипотезы и модели эволюции биосферы (основы биофизической методологии)

Необходимость комплексного подхода в исследованиях взаимодействия природной среды и общества стимулирует усилия по выработке единого методологического подхода, объединяющего достижения множества отраслей современной науки, реализации единого «системного подхода», представления (систематизации) имеющихся знаний об исследуемом объекте — определения объекта в качестве системы. Обычно полученные при этом описания (вербальные модели, гипотезы) исследуемых объектов имеют ограниченную познавательную ценность. В частности, их довольно трудно использовать для исследования динамических свойств изучаемых объектов. А ведь именно эти свойства и представляют наибольший интерес в исследованиях взаимодействия природы и общества. Для снятия указанного ограничения успешно используются формализованные представления вербальных моделей — математические модели.

Очевидно, что при определении системы, получения ее формализованного описания — математической модели всегда присутствует риск проявления той или иной степени субъективизма, вероятность утратить в описании некоторые важные свойства реального объекта. Это обусловлено, прежде всего, достаточно широким спектром методологических подходов, изучающих проблематику взаимодействия природы и общества, множественных отраслей современной науки. Существенный вклад в становление современного системного подхода — единой научной методологической основы исследований взаимодействия природы и общества вносит биофизика, ставящая целью получение ответов на вопросы о возникновении и эволюции жизни на Земле [2].

Основой методологии биофизического подхода является тезис о возможности физического истолкования (описания) фундаментальных свойств

биосферных процессов. Поскольку аппарат биофизики базируется на ограниченном количестве проверенных, объективных (по крайней мере, для достигнутого в наши дни уровня знаний) физических законах, можно считать, что и развиваемая биофизикой методология в определенной мере защищена от проявлений субъективизма частных научных дисциплин. В связи с этим ее результаты можно считать существенным вкладом как в решение конкретных задач исследования развития объектов живой природы, так и в общефилософскую постановку проблемы устойчивого развития.

Сложившаяся в настоящее время структура биосферы является результатом длительного процесса естественных преобразований на Земле. Процесс этот условно может рассматриваться как многостадийный, в котором каждая стадия возникновения и развития новообразований создает предпосылки для возникновения объектов, обладающих новыми свойствами. В биофизике такая постановка получила название принципа преемственности или эволюционной непрерывности.

Проблемы возникновения биополимеров в гомогенных смесях газов первичной атмосферы, дальнейшей их эволюции в направлении самоорганизации клеток и многоклеточных организмов — центральные проблемы биофизики.

1.1. Предбиологический этап эволюции

На предбиологическом этапе эволюции поверхностная часть Земли (будущая биосфера) состояла из твердых скальных образований, лишеного жизни океана и включающей пары воды, метан, аммиак и водород атмосферы (см. рис. 1).

Под воздействием энергии ультрафиолетового излучения Солнца, грозových разрядов в атмосфере и высоких температур в районах повышенной вулканической деятельности в атмосфере образовывались простейшие органические вещества — аминокислоты молекулы сахаров, азотистых оснований и другие простейшие углеродсодержащие молекулы. Но указанные источники энергии являлись так же и причиной быстрого разрушения этих новообразований. «Бурная» атмосфера не была благоприятной для них «средой обитания».

Для образования, сохранения и накопления первичных органических новообразований требуется соблюдение следующих условий:

1. Наличие достаточного количества относительно простых компонентов — газов примитивной атмосферы, способных взаимодействовать друг с другом, образуя более сложные соединения.
2. Наличие источников свободной энергии, необходимой для осуществления синтезов новообразований.

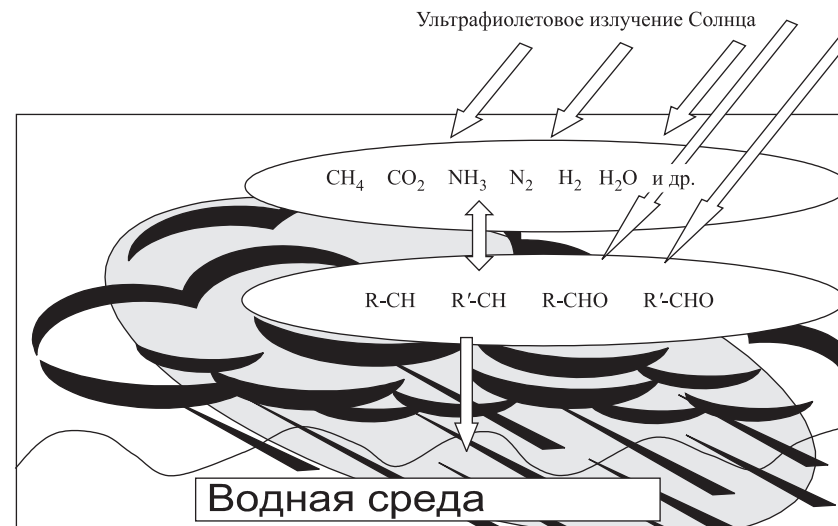


Рис. 1

3. Наличие среды, предохраняющей новообразования от быстрого распада на исходные компоненты.

Первичная атмосфера Земли удовлетворяла первые два условия. А проникновение этих веществ в воду, обладающую уникальными термодинамическими свойствами [5] (см. рис. 2), предохраняло их от распада на исходные ингредиенты, приводило (возможно, благодаря бародиффузии) к наращиванию концентраций этих новообразований в воде.

Таким образом, первоначальный абиотический круговорот (обмен минеральными веществами, химическими элементами и соединениями между атмосферой и водной средой) обогатился обменом вновь синтезируемыми простейшими органическими веществами. Наличие в водной среде простейших аминокислот стало предпосылкой образования макромолекул (протеиноидов). Водная среда стала фактически «колыбелью» сохранения и дальнейшего развития биоорганических образований.

Устойчивая полимеризация невозможна без наличия некоторого механизма молекулярного отбора, обеспечивающего более или менее продолжительное существование, как мономеров, так и протеиноидов. Одним из таких химических механизмов мог быть автокатализ [1–3]. Не исключена возможность того, что уже на этой стадии мог осуществляться отбор макромолекул с определенными, «ценными» для предшественников биообъектов информационными свойствами. Допустимость такой стадии

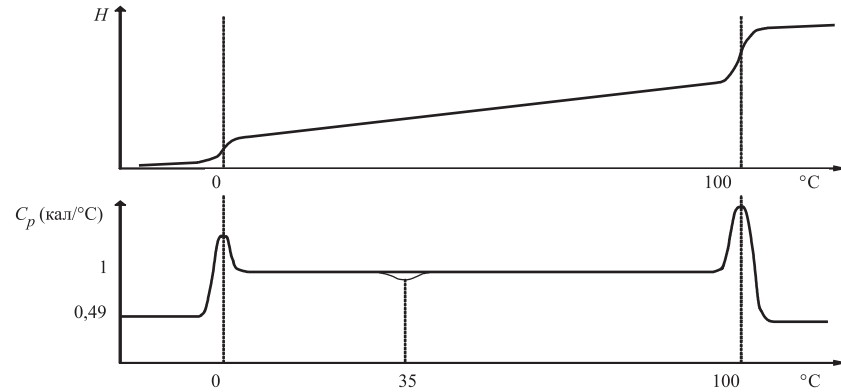


Рис. 2

означает допустимость предположения реализуемости химической эволюции информационных и каталитических свойств протеиноидов.

В модельной теории самоорганизации и эволюции биологических макромолекул [1, 2] показана принципиальная возможность возникновения макромолекул упорядоченных в пространстве и времени биополимеров в гомогенной среде мономеров. Необходимым условием реализуемости процессов самоорганизации является наличие у некоторых биополимеров автокаталитических свойств. Принятие гипотезы мутабельности, наличия свойства селективной ценности позволило показать принципиальную реализуемость устойчивого воспроизведения и отбора полимеров с максимальной селективной ценностью. Основное содержание этой теории имеет смысл рассмотреть подробнее.

Объектом рассмотрения [1, 2] является некий условно выделенный объем V , границы которого проницаемы для мономеров и непроницаемы для образующихся из мономеров полимеров. В объекте образуются и распадаются информационные макромолекулярные цепи различной структуры. В единице объема количество цепей, содержащих ν звеньев при λ числе сортов с k -й последовательностью звеньев — $x_{\nu k}$, а общее число цепей длины ν равно:

$$n_{\nu} = \sum_{k=1}^{N_{\nu}} x_{\nu k}, \quad (1)$$

где $N_{\nu} = \lambda_{\nu}$. Для большинства возможных информационных цепей концентрации $x_{\nu k} = 0$. Концентрации высокоэнергетических мономеров в выделенном объеме — $m_1, m_2, \dots, m_{\lambda}$, а их потоки в объем — $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_{\lambda}$.

Общее число (свободных и включенных в полимеры) мономеров — равно:

$$M_0 = \sum_{l=1}^{\lambda} m_l + \sum_{\nu} \nu n_{\nu}. \quad (2)$$

Самоорганизация в таких объектах возможна лишь в случае наличия у возникающих цепей автокаталитических свойств, а превышение скорости полимеризации над скоростью распада является необходимым ее условием.

Кинетическое уравнение для каждой из информационных цепей, обладающих автокаталитическими свойствами, можно записать в следующем виде:

$$\dot{x}_i = F_i x_i - R_i x_i + \sum_{i \neq l} \varphi_{il} x_l, \quad (3)$$

где первый член описывает скорость синтеза цепи биополимера, второй — ее распада, а третий скорость возникновения i -й цепи в результате неточности копирования l -х близких по структуре цепей.

Полагая далее, что

$$F_i = k_0 A_i Q_i, \quad R_i = k_0 D_i + \varphi_{0i}, \quad (4)$$

где произведение $A_i Q_i$ — скорость синтеза i -й цепи, Q_i — доля точного копирования i -го носителя информации; D_i — скорость распада цепи, φ_{0i} — уменьшение концентрации разбавлением; k_0 — константа размерности c^{-1} получим следующий вид кинетического уравнения (3):

$$\dot{x}_i = k_0 (A_i Q_i - D_i) x_i + \sum_{l \neq i} \varphi_{il} - \varphi_{0i} x_i. \quad (5)$$

Уравнение (5) описывает реализуемый в объекте метаболизм. Количество цепей, для которых $A_i Q_i > D_i$ растет, а цепи с $A_i Q_i < D_i$ иллюминируют. Отметим, что в (5) пока нет описания возможности отбора. Для его реализации необходимо ввести селекционные ограничения.

После введения определений:

$$E_i = A_i - D_i \quad \text{— продуктивность,} \quad (6)$$

$$\bar{E} = \frac{\sum_{k=1}^N E_k x_k}{\sum_{k=1}^N x_k} \quad \text{— средняя продуктивность,} \quad (7)$$

$$W_i = A_i Q_i - D_i \quad \text{— селективная ценность} \quad (8)$$

с учетом того, что в стационарном состоянии

$$\varphi_{0i} = \varphi_0 = \frac{\Phi_0}{\sum_{k=1}^N x_k} \quad (9)$$

и

$$\Phi_0 = k_0 \sum_{k=1}^N (A_k - D_k)x_k, \quad (10)$$

уравнение (5) можно представить в виде:

$$\dot{x}_i = k_0(W_i - \bar{E})x_i + \sum_{l \neq i} \varphi_{il}x_l. \quad (11)$$

Входящий в уравнение (11) член \bar{E} является скользящим и саморегулируемым порогом самоорганизации. Увеличение численности присущих лишь цепям с селективной ценностью превышающей порог самоорганизации. В свою очередь рост численности цепей приводит к росту значений порога самоорганизации до тех пор, пока не будет достигнут оптимум равный максимуму селективной ценности.

Рассмотрим кинетику отбора для простого случая: A_i , D_i и Q — постоянны, и значение Q близко к единице, что позволяет пренебречь членами φ_{il} в уравнении (11), т. е. исследовать его следующую форму:

$$\dot{x}_i = k_0(W_i - \bar{E})x_i. \quad (12)$$

Интегралом (12) является

$$x_i(t) = \frac{e^{k_0 W_i t}}{\exp \left\{ k_0 \int_0^t \bar{E}(\tau) d\tau \right\}}. \quad (13)$$

Подстановка

$$\bar{E} = \frac{x_i}{n} \sum_{k=1}^N \frac{x_k}{x_i} E_k$$

позволяет сократить интегральный член и представить уравнение (12) в виде нелинейного уравнения Бернулли типа $\dot{x} + g(t)x + f(t)x^2 = 0$:

$$\dot{x}_i = k_0 W_i x_i - k_0 \frac{\sum_{k=1}^N x_k(0) \exp \{k_0(W_k - W_i)t\}}{n x_i(0)} x_i^2. \quad (14)$$

Решением (14) является:

$$x_i(t) = \frac{x_i(0) n \exp \{k_0 W_i t\}}{\sum_{k=1}^N \frac{x_k(0) E_k}{W_k} \exp \{k_0 W_k t\}}. \quad (15)$$

При $t \rightarrow \infty$ сумму экспонент в (15) можно заменить членом, отвечающим виду с наибольшей селективной ценностью W_m . Именно этот вид отбирается, и его концентрация стремится к стационарному значению

$$\bar{x}_m = \frac{W_m}{E_m} n, \quad (16)$$

равному n при $Q_m = 1$. Судьба остальных видов определяется уравнением:

$$x_i = n \frac{x_i(0) W_m}{x_m(0) E_m} \exp \{(W_i - W_m)k_0 t\}. \quad (17)$$

Рассмотренная выше модельная теория показывает, что даже в этой простейшей постановке выживание присущих наиболее приспособленным к постоянству организации объектам. Отбор в них реализуется как процесс оптимизации. Наибольшая приспособленность означает достижение максимальной селективной ценности. Экспоненциальный характер решений указывает на высокую скорость отбора.

В [2] справедливо отмечено, что: «Введение селективной ценности должно означать введение ценности информации, выражаемой через реальные физические величины и характеризующей скорость размножения цепей». К сожалению такой физической интерпретации основного показателя эволюции биообъектов до сих пор нет. Исключением можно считать предложенная в [6] интерпретация, в соответствии с которой кинетическое совершенство биологической эволюционирующей системы определяется как мера эффективности использования свободной энергии при синтезе эволюционирующих объектов. Там же вводится в рассмотрение понятие предельно совершенной системы. На предбиологическом этапе эволюции предельное совершенство может означать максимальную скорость образования цепей биополимеров из веществ окружающей среды.

Протеиноиды при определенных условиях среды способны образовывать замкнутые микрообъемы, отделенные от раствора мономеров мембранообразными оболочками. Возникновение компартментализации — образования замкнутых надмолекулярных структур также могло быть одним из этапов добиологической эволюции [2, 3].

Процессы жизнедеятельности в их современных формах определяются, прежде всего, комплексом взаимодействия белков и нуклеиновых

кислот. Основой процессов жизнедеятельности, индивидуального развития и эволюции организмов является генетический код. Возможно, что появление кодового механизма обусловлено наличием у протеиноидов способности катализировать поликонденсацию нуклеотидов, обладающих полимеразной функцией. Возникновение единого генетического кода принято считать переходным этапом от химической эволюции к эволюции биологической.

Биофизические теоретические представления о механизмах возникновения и развития биоорганических структур в направлении образования простейших первичных организмов получили экспериментальные и модельные подтверждения реализуемости.

Уместно упомянуть здесь такие физические модели как модель образования первичного белково-нуклеотидного комплекса и модель первичного механизма транскрипции [3].

В биофизических исследованиях разработаны также физические и математические модели первичного жизненного цикла и модели механизмов отбора [2–4]. Идеи аппарата моделирования предбиологической эволюции базируются на хорошо развитой теории химической кинетики.

Модели биохимической кинетики (модели конвергентной эволюции) совместно с моделями образования единого кода, и моделями отбора создали предпосылки перехода к построению **моделей дивергентной биологической эволюции** — моделей образования из единых предшественников различных организмов и множества белковых структур, выполняющих в организмах широкий спектр специфических функций.

1.2. Дивергентная эволюция биосферы

Теоретические построения и математические модели динамики процессов в организмах, а также взаимодействий организмов являются предметом биологической кинетики. Именно они используются в описании процессов дивергентной эволюции биосферы. Возникновение способности усваивать новые субстраты ведет к возникновению устойчивого сосуществованию различных организмов, имеющих единого предшественника [2].

Есть один важный момент в рассмотрении непрерывности процессов эволюции. Дело в том, что осуществление дивергентной эволюции вовсе не означает окончания эволюции конвергентной. В последовательности процессов эволюции следует допустить как чередование, так и совместность протекания этих условно выделенных фаз. Осуществимость таких совместно-последовательных фаз показана на математических моделях, учитывающих отсутствие или наличие антагонистических взаимодействий видов [2].

Важными для рассмотрения являются также реализуемые в биосфере процессы дифференциации тканей высших организмов, обеспечивающие запрограммированное наследование структуры и функций при воспроизводстве. В биофизике объяснение наследования структуры и функций реализуется на основе теоретических схем и математических моделей, получивших общее название моделей клеточного переключения [2–4].

Дополненные моделями роста популяций модели клеточных переключений позволяют получать формализованные описания и проводить исследования динамических свойств биологических объектов современной биосферы. Совокупность биофизических методов и моделей позволяет получить последовательное описание процессы возникновения и развития биологической структуры.

Наименьшей единицей «живых объектов» биоорганического происхождения принято считать клетку. Образования клеточных симбиозов — простейших многоклеточных организмов, открывающих за счет новых интегральных свойств собственные экологические ниши, явилось следующим направлением эволюции, расширяющим сферу экспансии «живой» органической материи. Дальнейшее развитие шло по пути образования специализированных структур многоклеточных организмов, представляющих собою комплексы взаимодействующих специализированных тканей и органов.

Анализ эволюции живой материи позволяет прийти к заключению, что ее развитие шло по пути приобретения признаков и свойств, обеспечивающих живой материи рост эффективности использования энергии, необходимой для биохимических сохранятельных работ [8–10]. Развитие этих признаков и свойств получило выражение в возникновении специализированных органов и тканей в составе организмов, специализации особей в составе популяций, специализации популяций в сообществах. Эволюционный процесс отбирал и закреплял признаки и свойства, способствующие обеспечению максимальной устойчивости живой материи в меняющейся среде обитания.

Сходство биохимических процессов в поражающих разнообразием форм клетках живых организмов приводит к мысли, что возможности эволюционного совершенствования на уровне механизмов внутриклеточных процессов практически исчерпаны. Представляется, что в общих чертах «оптимальная биохимическая кухня» сформировалась еще в период одноклеточной жизни, а возможно и еще раньше, в период зарождения жизни на уровне предбиологических процессов [10].

Развитие различных уровней структурной организации живой материи шло по пути снижения зависимости биологических объектов живого мира окружающего мира. На каждом уровне структурно-функциональ-

ной организации закреплялись механизмы, целенаправленно влияющие на материально-энергетический обмен между организмами, а точнее, между внутри организменной и окружающей средами; между популяциями (внутри популяционной средой) и окружающим миром; между сообществами (ареалами обитания) и их окружением. Специализация позволяла активно и целенаправленно реагировать на изменения в окружающей среде, снижая зависимость от нее состояния внутренней среды и расширяя тем самым возможности выживания.

Обращаясь к механизмам биологической специализации, следует особо отметить следующий момент. Реализация функций специализации живой материи требует определенных энерготрат и, естественно, в ущерб воспроизводству живой материи. Эта обстоятельство указывает на наличие объективно существующего ограничения возможностей развития биоорганической специализации и количественно определяет пределы устойчивости живых объектов к «внешним» возмущениям.

Важным в приведенной схеме является то, что:

- ныне наблюдаемая «биохимическая кухня» сформировалась на клеточном (а возможно уже и ранее) уровне;
- специализированные клеточные объединения стали исходным материалом «конструирования» многоклеточных организмов;
- вся совокупность образований органической материи биосферы представляет собой результат естественного развития присущего биосфере свойства аккумуляции солнечной энергии, а сами эти образования являются элементами структуры общего механизма, реализующего это свойство.

2. Эволюция техносферы

Рассмотрение техносферы в качестве продукта эволюции материи на планете Земля представляется обоснованным и важным для становления общесистемного подхода современных научных исследований.

До сравнительно недавних в эволюционных масштабах времени пор взаимоотношение человека с окружающим миром принципиально не отличалось от взаимоотношений с окружающей средой других организмов (см. рис. 3).

Человек в не меньшей чем другие организмы степени зависел от прерывностей природы, боролся с ними в меру отпущенных ему природой сил, и борьба эта не всегда была для него успешной. В последующем ситуация приобрела, однако, принципиально новые черты.

С некоторого времени человек приобрел способность снятия объективно обусловленного природой ограничения активного воздействия на

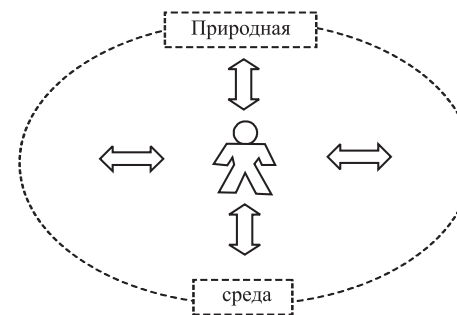


Рис. 3

окружающий мир с привлечением недоступных более ни одному живому существу источников вещества и энергии. Он создал коллективным трудом особый предметно-научный мир производительных сил — (техносферу), позволивший в огромной мере расширить возможности удовлетворения собственных (в том числе и естественно-биологических) потребностей (см. рис. 4).

Ставшие неорганическими дополнениями организма человека элементы техносферы, организованные в общественное производство, использующие для обеспечения функционирования недоступные ранее источники вещества и энергии позволили в огромной мере (но не полностью) снизить зависимость человека от состояния природной среды, расширения возможностей удовлетворения потребностей собственного существования.

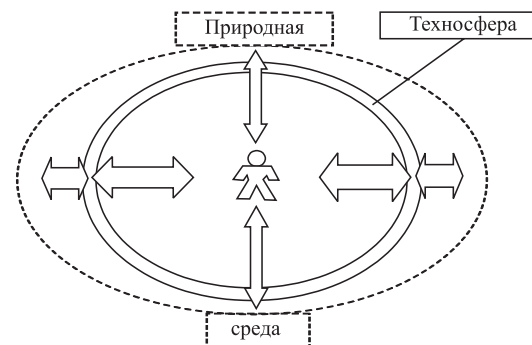


Рис. 4

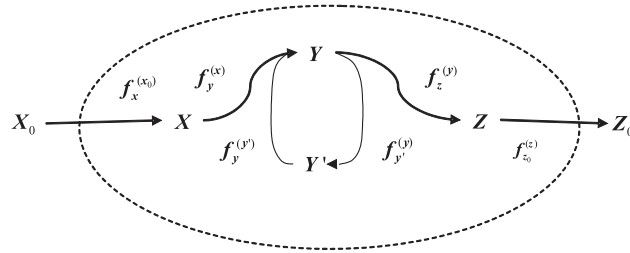


Рис. 5. X_0 — вектор содержания субстратов (ресурсов) во внешней по отношению к рассматриваемому объекту среде; X — вектор содержания субстратов (ресурсов) во внутренней среде рассматриваемого объекта; Y, Y' — векторы переменных структуры рассматриваемого объекта; Z — вектор содержания продуктов функционирования объекта в его внутренней среде; Z_0 — вектор содержания продуктов функционирования объекта во внешней по отношению к нему среде; f — векторы вещественно-энергетических и информационных потоков между принятыми к рассмотрению компонентами структуры, внутренней и внешней средами.

Использование принципа историчности в описании эволюции биосферы, закономерности естественного возникновения и развития в ней техносферы, безусловная принадлежность техносферы к классу открытых термодинамических систем позволяют сформулировать единую методологическую основу модельных исследований ее динамических свойств [10].

В частности появляется возможность описания иерархической организации объектов современной биосферы с использованием единых (как для объектов биоорганического мира, так и для объектов техносферы) принципов «конструирования» их структуры и развития присущих им функций.

В связи с вышесказанным в качестве базовой модели для описания и исследования динамических свойств техносферы естественно использовать общую схему динамики открытой термодинамической системы (см. рис. 5), применяя биофизическую методологию для «конструирования» структуры техносферы.

Имеются тем не менее некоторые особенности, которые следует помнить при реализации такого подхода.

Использование биофизического подхода к моделированию объектов техносферы с формальных позиций не представляют ничего специфического, поскольку, как правило, процессы, протекающие в техносфере, понятны не в меньшей мере, чем процессы биоорганические. Более того, представляется, что биофизическая методология исследований может оказаться очень продуктивной применительно к более общей постановке — к объектам социально-экономическим. Необходимость развития такого подхода представляется актуальной. В частности в современных

экономических теориях неоднократно отмечалась необходимость обогащения классической экономики переходом к рассмотрению объектов и процессов в качестве открытых неравновесных систем, к классу которых они, несомненно, принадлежат объекты техносферы [11].

В соответствии с изложенной выше гипотетической схемой возникновения и развития органической материи на Земле в качестве фундаментального ее свойства принимается наличие и развитие функции получения, сохранения и накопления падающей на Землю энергии Солнца. Пожалуй, самым существенным отличием для описания объектов техносферы является установление их функции в составе биосферы.

Структура биоорганических объектов формировалась в процессе эволюционного развития. При этом естественный отбор позволял закреплять наиболее эффективные энергосберегающие структуры. Рост энергонакопления обеспечивался ростом богатой свободной энергией биомассы.

Что касается развития техносферы, то здесь ситуация несколько иная. На ранних этапах ее возникновения до тех пор, пока источником материи и энергии на обеспечение функционирования ее объектов был глобальный круговорот, а изъятие из него не приводило к существенным нарушениям динамического равновесия энергонакопление также реализовывалось в росте биомассы человеческой популяции, а эффективность этого процесса определялась сформировавшимся в процессе эволюции механизмом. Получив же в процессе развития техносферы доступ к новым источникам энергии, человек в существенной мере повысил возможности собственной экспансии.

Можно не сомневаться, что и в развитии техносферы должны действовать и действуют общие для материального мира законы эволюции. Это означает, что ее совершенствование предопределено. Но поскольку человек далеко не всегда (по отсутствию осознания или по ряду других причин) следует при конструировании техносферы законам эволюции, результаты его деятельности могут привести к негативным последствиям для сложившейся структуры биосферы и его собственных перспектив существования.

Возникает вопрос, может ли развиваемый биофизикой подход быть использован для исследований этой «рукотворной» части окружающего мира? Представляется, что ответ должен иметь позитивный смысл.

С формальных позиций ничего принципиально нового в эволюцию живой природы возникновение и развитие техносферы не привнесло. Более того, наши знания о структуре и функциях техносферы, составляющих ее компонентах, реализуемых управлениях — много богаче знаний об объектах чисто природного происхождения. Это обстоятельство может служить залогом успешности применения биофизических методов моделирования техносферы, создания общей модели окружающей человека среды, развития методов исследования ее динамики.

Вышеприведенные гипотезы требуют обратить особое внимание в развитии модельных исследований на описание энергетических аспектов эволюции. Представляется, что именно описание судьбы энергетических потоков, обеспечивающих далекое от равновесного стационарного состояния структуры современной биосферы может дать шанс на существенное продвижение в становлении общесистемного подхода исследований устойчивого ее развития. В работах [8–10] сделаны попытки получения такого рода формализаций биосферных процессов с акцентом на рассмотрение энергетической их постановки. Привлечение представленной выше теории возникновения и эволюции жизни, модельной теории эволюции [1, 2], определение селективной ценности как меры эффективности использования энергии для сохранительных работ позволило заложить основы модельного аппарата исследований. Далеко не все проблемы использования этого аппарата в исследованиях устойчивого развития получили решение. Но уже то, что такой общий подход сформулирован, внушает определенный (конечно же, субъективный) оптимизм.

Литература

1. *Эйген М.* Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973.
2. *Волькенштейн М. В.* Общая биофизика. М.: Наука, 1978. 590 с.
3. *Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Чернавский Д. С.* Математическое моделирование в биофизике. М.: Наука, 1975. 343 с.
4. *Рубин А. Б., Пытьева Н. Ф., Ризниченко Т. В.* Кинетика биологических процессов. М.: Изд. МГУ, 1977.
5. *Физическая энциклопедия.* М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 1. С. 294–297.
6. *Шноль С. Э.* Общая биология. **34**, 331. 1972.
7. *Ростопшин Ю. А., Климовицкий В. Я.* Возможные приложения биоэнергетики в моделировании физиологической терморегуляции. Биофизика. 1979. Т. XXIV. Вып. 5. С. 885–891.
8. *Ростопшин Ю. А.* Моделирование структурно-функционального состояния биологических систем // Моделирование процессов экологического развития. М.: ВНИИСИ, 1981. Вып. 2.
9. *Ростопшин Ю. А.* Методологические основы моделирования природной среды // Природа моделей и модели природы. М.: Мысль, 1996. С. 82–118.
10. *Ростопшин Ю. А.* Системно-методологические основы исследований устойчивого развития // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 2003–2005. М.: КомКнига URSS, 2006. С. 104–131.
11. *Stokes Kenneth M.* Man and Biosphere: toward a co evolutionary political economy. N. Y.: M. E. Sharpe, 1992. 325 pp.

Разработка инструментальной системы распределенного имитационного моделирования*

Ю. И. Бродский, Ю. Н. Павловский

Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН, Москва

Проектирование инструментальной системы распределенного имитационного моделирования неизбежно ставит перед разработчиком ряд вопросов, ответы на которые необходимо найти до начала практической реализации инструментальной системы. К таким вопросам относятся выбор класса моделей и их компонент, на которые будет ориентирована проектируемая инструментальная система моделирования; выбор архитектуры инструментальной системы; способы взаимодействия распределенных частей модели; концепция моделирования, предлагаемая исследователю инструментальной системой моделирования и, наконец, набор средств, предоставляемых проектируемой системой, для воплощения этой концепции. Наметьте ответы на большинство из подобных вопросов и призвана предлагаемая ниже статья.

1. Компонента — основная составляющая распределенной модели

Основными понятиями данной работы будут понятия комплекса и компоненты. Это связанные между собой понятия, способные переходить друг в друга. Так, комплекс, внутренняя структура которого сложна и образована множеством компонент, в то же время извне может восприниматься как единая компонента. В то же время, у любой из компонент подробное исследование может выявить внутреннюю составную структуру, образующую комплекс.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 07–07–00071–а.