

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ

*В.В. Алексеев*

В статье рассматриваются примеры нелинейных моделей, имитирующих динамику экологических и экономических процессов. Показано, что важнейшие принципы, положенные в основу в том и другом случае, имеют близкую природу, а решение многих трудных проблем экологии и экономики находится на пути использования нелинейной математики.

Нелинейные процессы, протекающие в экологических и экономических системах, часто оказываются близкими по своей природе и описываются одинаковыми нелинейными системами уравнений. Это неслучайно. Уже давно, еще в 19-ом столетии, было подмечено, что эволюционный отбор на рынке товаров и естественный отбор в живой природе подчиняются одним и тем же закономерностям. Так, Ч. Дарвин пишет в своей «Автобиографии»: «В октябре 1838 года, через пятнадцать месяцев после того, как я приступил к своему систематическому исследованию, прочел я, ради развлечения, книгу Мальтуса «О народонаселении». Будучи подготовлен продолжительными наблюдениями над образом жизни растений и животных, я оценил все значение повсеместно совершающейся борьбы за существование и сразу был поражен мыслью, что при таких условиях полезные изменения должны сохраняться, а бесполезные уничтожаться. Результат этого – образование новых видов. Наконец – то я обладал теорией, руководствуясь которой, мог продолжать свой труд».

Выдающийся экономгеограф Н.Н. Колосовский в своей работе, посвященной экономическому районированию СССР, обращает внимание на аналогию между биогеоценозами и производственно-территориальными комплексами [1].

Лауреат Нобелевской премии по экономике Ф.А. Хайек в своей замечательной книге «Пагубная самонадеянность» подчеркивает, что основной задачей любой науки, изучающей рыночный порядок, должен быть анализ самоорганизующихся процессов. «Разумеется, – писал Ф.А. Хайек, – сходством между порядком человеческого взаимодействия и структурой взаимодействия биологических организмов замечали часто. Однако, пока мы не умели объяснять образование упорядоченных структур в природе и не располагали теорией эволюционного отбора, от проведения такой аналогии было мало толку. Теперь же эволюционная теория дала нам ключ к пониманию формирования порядка в жизни, в сознании и в межличностных отношениях» [2].

В данной статье мы рассмотрим несколько вопросов, играющих важную роль в понимании процессов, регулирующих динамику экосистем и хозяйственных структур: прежде всего это конкурентные процессы, далее роль запаздывания и лимитирующих факторов и, наконец, значение блочно-иерархической структуры экономических и экологических систем для ускорения эволюционных процессов.

В экологии хорошо известна теорема Вольтерра–Гаузе об экологической нише, которая говорит о том, что в одной экологической нише может устойчиво существовать только один вид. Вытеснение конкурентов происходит экспоненциально. Аналогом данной теоремы в экономике является теорема о монополизации. Мы приведем доказательство для двух фирм, производящих один и тот же товар.

Пусть  $N_1$  и  $N_2$  – мощности конкурирующих предприятий, а  $N$  – количество выпускаемого товара.  $M$  – максимальная емкость рынка. Естественно предположить, что прирост производимого товара пропорционален мощности предприятия и емкости рынка, то есть  $M-N$ , а убыль товара в результате его использования пропорциональна его количеству

$$dN/dt = -\varepsilon N + (\gamma_1 N_1 + \gamma_2 N_2)(M - N), \quad (1)$$

где  $\varepsilon$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – постоянные коэффициенты. Нетрудно написать уравнения для динамики мощностей конкурирующих производств. Очевидно, что динамика расширения предприятия пропорциональна его мощности и емкости рынка, а амортизация пропорциональна только мощности предприятия

$$dN_1/dt = -\varepsilon_1 N_1 + \gamma_1' N_1 (M - N), \quad (2)$$

$$dN_2/dt = -\varepsilon_2 N_2 + \gamma_2' N_2 (M - N).$$

Разделив первое и второе уравнение из (2) соответственно на  $\gamma_1' N_1$  и  $\gamma_2' N_2$ , затем вычитая из первого уравнения второе, после интегрирования получим

$$(N_1^{-1/\gamma_1'}) / (N_2^{-1/\gamma_2'}) = C e^{(\varepsilon_2/\gamma_2' - \varepsilon_1/\gamma_1')t}, \quad (3)$$

здесь  $C$  – постоянная интегрирования, определяемая начальными условиями. Из (3) в силу ограниченности  $N_1$  и  $N_2$  получаем, что предприятие, для которого величина  $\varepsilon_i/\gamma_i'$  меньше, выигрывает в результате конкуренции и монополизировать товарную нишу.

Первую попытку учета запаздывания в модели одиночной популяции сделал Хатчинсон в 1948 г. [3], преобразовав уравнение логистического роста

$$dN(t)/dt = r[1 - (N(t-\tau))/K]N(t), \quad (4)$$

где  $\tau$  – время, необходимое для развития особи из яйца во взрослое насекомое (имаго). То же уравнение изучали Фриш и Холм в 1935 г. [4] при исследовании циклов деловой активности. Экономические бумы и спады в числе прочих причин возникают в результате задержки между моментом, когда спрос на какой-либо товар превышает предложение, и моментом, когда производитель этого товара может обеспечить производственную площадь и оборудование, необходимое для удовлетворения этого спроса.

Несложно определить область устойчивости стационарного состояния уравнения (4). Когда время задержки  $\tau$  достаточно мало по сравнению со временем экспоненциального роста  $1/r$ , то есть  $0 < r\tau < 1/e$ , то динамика решения уравнения аналогична динамике классического уравнения Ферхюльста. В области параметров  $1/e \leq r\tau \leq \pi/2$  наблюдаются затухающие колебания при приближении к стационарному состоянию. Когда же продолжительность задержки в петле обратной связи значительно превышает характерное время системы, то возникают колебания с большой амплитудой. Они описывают достаточно хорошо эксперименты Никольсона, сделанные для численности лабораторной популяции зеленой падающей мухи *Lucilia cuprina* Wied. На рис.1 приведено сравнение одного из экспериментов Никольсона с моделью Хатчинсона, при этом были выбраны параметры:  $r\tau = 1.8$ ,  $\tau = 9$  сут.,  $K = 3.8 \times 10^3$  [5].

На рис. 2 дана картина цикличности развития американской экономики. Для

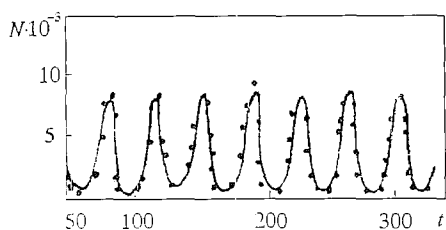


Рис. 1. Сравнение одного из экспериментов Никольсона с моделью Хатчинсона. По оси ординат отложено количество взрослых особей  $N$ , по оси абсцисс – время в сутках

американского капитализма характерной чертой являются колебания деловой активности при наличии долговременной тенденции к экономическому росту. Существует ряд моделей, часто довольно сложных, описывающих этот рост. Один из вариантов изложен в статье А.А. Петрова [6]. Если вычесть из кривой, определяющей рост валового национального продукта, составляющую, соответствующую долговременной тенденции, то и получится результат, показанный на рисунке. Несмотря на общие для всех циклов фазы,

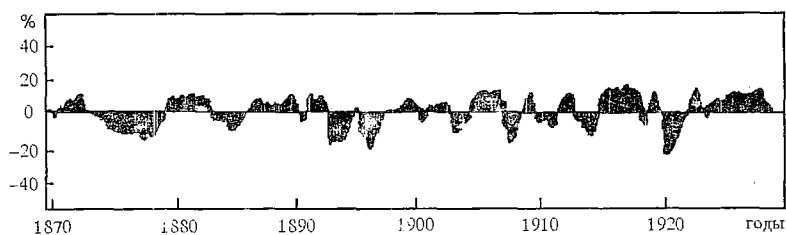


Рис. 2. Цикличность развития американской экономики. По оси ординат отложены в процентах отклонения от линии, обозначающей долгосрочную тенденцию экономической активности

характеризующие идеальную экономику, реальные экономические циклы существенно отличаются друг от друга по продолжительности и интенсивности.

В природных условиях важнейшим фактором, ограничивающим рост популяций, является недостаток компонентов питания. Положение о необходимости баланса между различными химическими элементами для развития организма было сформулировано немецким химиком Ю. Либихом в опубликованном им в 1840 г. труде «Химия в приложении к земледелию и физиологии». Либих указывал, что если в почве есть избыток какого-либо питательного вещества, то бесполезно пытаться поднять урожайность, добавляя то же самое вещество. Добавление же отсутствующего или же не находящегося в должном количестве элемента восстанавливает эффективность других элементов, и «... индивидуумы размножаются в той же пропорции, в какой возрастают условия, благоприятные для увеличения их числа».

Эти представления получили в последующие годы название «принципа минимума» Либиха. В современной формулировке принцип Либиха утверждает, что скорость роста популяции определяется непосредственно не всеми элементами питания, а только тем из них, который находится в наибольшем относительном дефиците, то есть в экологическом минимуме.

Принцип Либиха нашел широкое применение в математическом моделировании биологических сообществ, так как позволил значительно упростить и сократить запись уравнений роста, учитывая только один лимитирующий компонент питания и предполагая прямую пропорциональность скорости прироста биомассы концентрации этого элемента в среде [7].

Продemonстрируем запись уравнений с учетом принципа Либиха для двух автотрофных организмов в несколько более общем случае. Итак, пусть имеется два вида растений, биомассы популяций которых обозначим  $M$  и  $M'$ . Обозначим массу  $i$ -го компонента питания: азота, фосфора, калия и т.д. через  $M_i$ . Пусть вид  $M$  потребляет компоненты питания в отношении

$$\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 : \dots : \alpha_n.$$

В свою очередь вид  $M'$  потребляет те же компоненты в отношении

$$\alpha_1' : \alpha_2' : \alpha_3' : \dots : \alpha_n'$$

Тогда в простейшем случае закона действующих масс для скорости роста  $M$  будем иметь систему уравнений [8]

$$dM/dt = M(-\epsilon + \mu)$$

$$\mu = \gamma_{\min}(M_i \alpha_j / \alpha_i), \quad j \neq i, \quad j, i = 1, \dots, n.$$

Уравнение для  $M'$  получается заменой  $M, \epsilon, \gamma$  на  $M', \epsilon', \gamma'$  и всех  $\alpha_i$  на  $\alpha_j$ . Так как  $\alpha_i$  обозначают долю соответствующего элемента в биомассе, то естественно положить

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i' = 1.$$

Если предположить, что в системе нет оттока и притока химических элементов, то закон сохранения каждого из элементов запишется в виде

$$\alpha_i M + \alpha_i' M' + M_i = A_i = \text{const.}$$

На плоскости  $M$  и  $M'$  таким образом можно выделить область, внутри которой допустимо развитие и того, и другого вида организмов. Эта область представляет собой выпуклый многоугольник (рис. 3). Отметим, что внутри этой области выделяются подобласти, где возможно совместное сосуществование обоих видов, области, где выживание того или иного вида определяется начальными условиями. Таким образом, даже в случае одного трофического уровня и незаменимых элементов питания картина оказывается достаточно сложной [5,8]. Отметим, что ситуация, когда существуют два трофических уровня лишь с двумя видами на каждом из них и с попеременным лимитированием взаимонезаменяемыми компонентами питания развития видов первого уровня, не исследовалась вообще. В этом случае поведение оказывается исключительно сложным уже с одним лимитирующим фактором, если учесть насыщение при потреблении компонентов питания [5]. В последнем случае описываемый процесс становится автостохастическим.

Ситуация, совершенно аналогичная изображенной на рис. 3, имеет место и в случае экономической системы, где строится кривая производственных возможностей. Рассмотрим пример, изложенный во второй главе книги «Экономика» Кемпбелла Р. Макконелла и Стенли Л. Брю [9].

Пусть экономика производит не бесчисленное множество товаров и услуг, как это имеет место в действительности, а лишь два продукта — промышленные роботы и пиццу. Пицца символизирует потребительские товары, то есть те, которые непосредственно удовлетворяют наши потребности. Промышленные роботы символизируют средства производства. Кривая производственных возможностей, каждая точка на которой

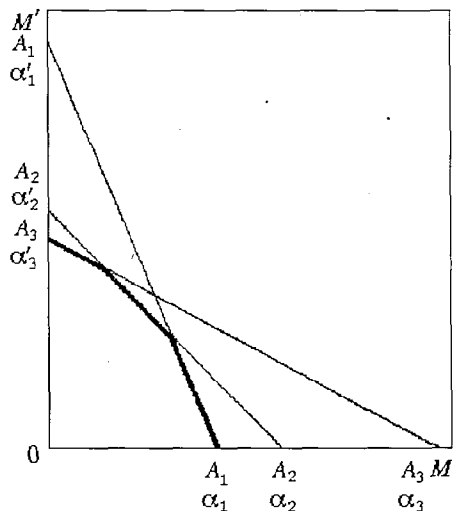


Рис. 3. Области между прямыми и осями координат показывают, в каких пределах биомасс могут существовать виды  $M$  и  $M'$ . Область, ограниченная жирной ломаной линией, содержит те предельные значения, которых может достигать вид  $M$  в присутствии вида  $M'$  при данном распределении ресурсов

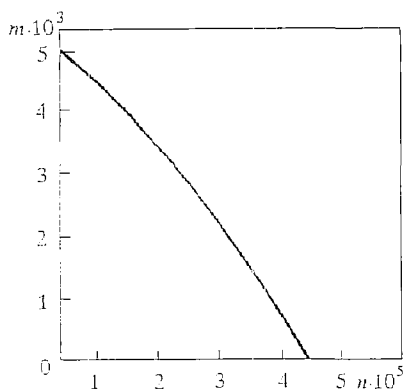


Рис. 4. Кривая производственных возможностей. По оси ординат отложено количество роботов  $m$ , по оси абсцисс – количество штук пшцы  $n$

представляет собой некий максимальный объем производства любых двух продуктов, изображенная на рис. 4, вполне аналогична жирной ломаной линии, полученной из отрезков прямых на рис. 3. Она также является выпуклой и, вообще говоря, имеет ту же природу. Барьер ограниченности ресурсов не допускает какого-либо сочетания производства средств производства и предметов потребления в точках, расположенных над кривой производственных возможностей. Любая точка под кривой показывает незанятость или неполную занятость ресурсов. Совершенно аналогично на рис. 3 под прямыми соответствующие химические

элементы частично находятся в среде, на прямых – полностью в организмах популяций.

Форма кривой производственных возможностей иллюстрирует существующий в экономике закон возрастающих вмененных издержек, суть которого сводится к следующему: «экономические ресурсы непригодны для полного их использования в производстве альтернативных продуктов». Мы видим, таким образом, что приведенные аналогии имеют достаточно глубокую природу.

Перейдем теперь к анализу следующих эволюционных проблем. Насколько жестко задается начальными данными исторический процесс и насколько детерминирована эволюция биосферы?

В биологии давно дискутируется вопрос о том, хватает ли времени существования Земли для дарвиновской эволюции, то есть хватает ли примерно  $10^{17}$  с для того, чтобы в результате отбора получилась осмысленная цепочка ДНК, содержащая информацию о живом организме. Нетрудно убедиться в том, что время, получаемое в результате перебора всех возможностей, оказывается фантастически большим. Если  $N$  – длина кода,  $\tau$  – время, необходимое для осуществления одной реализации, которое – порядка секунды, а  $R$  – число букв в генетическом коде, то время, необходимое для перебора всех возможностей, оказывается равным  $T = \tau R^N$ . При  $R = 4$ ,  $N = 10^3$  пар оснований, что соответствует некоторым простейшим микроорганизмам, уже получается фантастическое число  $4^{1000}$  с, которое совершенно несоизмеримо с временем существования нашей планеты. С другой стороны, ДНК клетки человека имеет длину порядка  $10^{10}$  пар оснований!

Казалось бы, данный расчет опровергает возможность возникновения жизни и ее эволюции, однако использование идеи блочно-иерархического отбора [10–12] позволяет получить разумное время эволюции. Известно, что организмы имеют блочно-иерархическую структуру: из мононуклеотидов, аминокислот и простых сахаров строятся полимеры, которые складываются в надмолекулярные комплексы, которые в свою очередь образуют органеллы. Из последних строятся клетки, а из клеток высшие организмы. Это похоже на то, как роман состоит из слов, предложений, абзацев, глав и т.д. Аналогичная картина имеет место в развитии технических систем, систем управления и т.д., которые также представляют собой системы вложенных друг в друга блоков.

Оценим время эволюции  $T_3$  иерархической структуры длиной  $N$ , содержащей  $M$  блоков, каждый из которых имеет соответственно длину  $n_i$ . Пусть  $R_i$  – это получающиеся в результате отбора «лучшие» слова, фразы, строфы и т.д. Тогда, время эволюции можно определить по формуле

$$T_3 = \sum_{i=1}^M \tau_{i-1} R_{i-1}^{n_i}$$

Длина биологического кода, или романа, или количество элементов в ЭВМ, самолете или другой сложной системе определится как

$$N = n_M n_{M-1} \dots n_2 n_1.$$

Если бы отбор был поэлементный или побуквенный, то необходимое время эволюции находилось бы по формуле

$$T = \prod_{i=1}^m \tau_i R_i^{n_i}$$

Чтобы лучше оттенить смысл сказанного, предположим, что количество элементов в блоках одинаково, тогда приведенные выше формулы для времен упрощаются, и получим две более простые зависимости для  $T$  и  $T_3$ ,

$$T = \tau R^{M^n}, \quad T_3 = \tau M R^n.$$

Итак, в первом случае, когда отбор идет только на уровне элементов, зависимость от  $M$  представляет собой показательную функцию, во втором случае эта функция линейна и время эволюции оказывается существенно меньше. Например, при  $R=20$ ,  $N=1000$  можно найти оптимальное значение числа блоков  $M_{\text{opt}} \approx 27$ , которое соответствует минимальному времени эволюции для системы из 1000 элементов. Оно оказывается примерно равным  $\tau \times 10^4$  с, в то время как при побуквенном отборе имеем  $\tau \times 20^{1000}$  с.

Гипотеза о блочно-иерархическом отборе, помимо разумного времени эволюции показывает еще одну характеристику реальной эволюции: перебираются не все, а только ограниченное число вариантов, которых значительно меньше, чем возможностей. Говоря словами М. Эйгена, в реальности мы всегда имеем малонаселенное информационное пространство [11]. Нетрудно проиллюстрировать эту мысль, анализируя языки. Пусть мы имеем два языка, например, английский и русский. Они содержат примерно по 500 тыс. слов, образованных примерно из одного количества букв (примерно равного 30). Пусть средняя длина слова равна 5 буквам. Тогда количество слов, которое может быть построено, составит  $30^5$ , что значительно превосходит число слов, имеющих в этих языках. Если мы учтем, что слова могут состоять не только из пяти букв, то число возможных вариантов возрастает на многие порядки. Продемонстрированный пример показывает возможность существования огромного количества языков, так как остается значительный резерв сочетаний букв, которые в другом языке могут обрести свой смысл. Аналогично можно сказать о развитии культур, технологий, эволюции микроорганизмов. Это подводит к мысли об уникальности нашей биосферы, когда в процессе эволюции реализовался какой-то один вариант из огромного количества возможных. В принципе существует множество равноценных вариантов. Поэтому неудивительно, когда независимые экосистемы содержат в себе виды-аналоги: например, молочаям в африканских саваннах соответствуют кактусы в мексиканских прериях. Итак, «макромолекулярную эволюцию, морфогенез, основанный на избирательных межклеточных взаимодействиях, и, наконец, деятельность нашего духа, которая складывается из специфически отфильтрованного и скомбинированного друг с другом функционирования различных нервных клеток, нельзя больше описывать детерминистическим способом» [11].

Рассмотренная теория никак не описывает динамику эволюционного процесса, однако, оказывается, что и он в каждом отдельном случае уникален: уникальна эволюция нашей биосферы, уникальны культуры и их истории. Ниже мы опишем модель эволюции видов в экосистеме [13,14]. В качестве первоначальной структуры рассмотрим элементарную трофическую цепочку хищник-жертва, существующую в замкнутой системе с запасом лимитирующего элемента питания  $M_0$ , описываемую системой уравнений

$$dM_1/dt = -\varepsilon_1 M_1 - \gamma_{12} M_1 M_2 + \beta M_1 M_0,$$

$$dM_2/dt = -\varepsilon_2 M_2 + \gamma_{21} M_1 M_2,$$

где  $M_1$  – биомасса жертвы,  $M_2$  – биомасса хищника,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  – коэффициенты смертности,  $\gamma_{12}$  – коэффициент выедания продуцента,  $\gamma_{21}$  – коэффициент роста консумента,  $\beta$  – коэффициент фотосинтеза,  $M_0$  – количество лимитирующего биогенного элемента в среде. Биомассы измеряются в единицах лимитирующего биогенного элемента.

Через одинаковые интервалы времени, равные периоду мутаций  $\tau_M$ , значения  $\beta$  и  $\gamma_{21}$  изменялись случайным образом в сторону увеличения или уменьшения для одного из видов, присутствующих в системе. Значение изменений коэффициентов выбиралось случайным, но не более  $\Delta\gamma\%$  для коэффициента  $\gamma_{21}$  у хищников и  $\Delta\beta\%$  для коэффициента фотосинтеза у жертв. Количество биомассы, переходящей в новую форму, предполагалось равным  $\Delta c\%$  биомассы вида-донора. В промежутках между мутациями общая система уравнений эволюционирующего сообщества имела вид

$$dM_{1i}/dt = M_{1i}(-\varepsilon_{1i} + \beta_i M_0 - \sum_{i=1}^{N_1} \gamma_{ij}^{(12)} M_{2j}),$$

$$dM_{2j}/dt = M_{2j}(-\varepsilon_{2j} + \sum_{i=1}^{N_2} \gamma_{ji}^{(21)} M_{1i}),$$

$$\sum_{i=1}^{N_1} M_{1i} + \sum_{j=1}^{N_2} M_{2j} + M_0 = M_{\Sigma},$$

где  $M_{1i}$  и  $M_{2j}$  – биомассы форм, принадлежащих к первому (жертвы) и второму (хищники) трофическим уровням;  $i=1, \dots, N_1$ ,  $j=1, \dots, N_2$ , где  $N_1$  и  $N_2$  – текущие значения числа видов на первом и втором трофическом уровнях. Замещение мутантами предшествующих популяций продуцентов происходило так, как это продемонстрировано на рис. 5. На рис. 6 приведен один из вариантов динамики коэффициента фотосинтеза у доминирующих в экосистеме форм продуцентов. Мы видим, что коэффициент постоянно растет. Нули на рис. 6 обозначают вымирание популяций.

Аналитическое исследование простейшей четырехвидовой системы позволило понять, каким образом происходит изменение видового разнообразия в критических точках: в зависимости от условий в данный момент времени, когда происходит полифуркация, то есть определяется случайным образом выбор пути развития. Чтобы продемонстрировать данное обстоятельство, рассмотрим систему уравнений

$$dM_1/dt = M_1(-\varepsilon_1 + \beta M_0 - \gamma_{12} M_2 - \delta M_2'),$$

$$dM_2/dt = M_2(-\varepsilon_2 + \gamma_{21} M_1 + \delta_1' M_1'),$$

$$dM_1'/dt = M_1'(-\varepsilon_1' + \beta' M_0 - \gamma_{12}' M_2' - \delta' M_2),$$

$$dM_2'/dt = M_2'(-\varepsilon_2' + \gamma_{21}' M_1' + \delta_1 M_1),$$

$$\sum_{i=1}^2 (M_i + M_i') + M_0 = M_{\Sigma} = \text{const},$$

где  $\gamma_{12}$ ,  $\gamma_{21}$  – коэффициенты поедания и усвоения продуцента  $M_1$  видом  $M_2$ ;  $\gamma_{12}'$ ,  $\gamma_{21}'$  – коэффициенты поедания и усвоения продуцента  $M_1'$  консументом  $M_2$ ; величины  $\delta$  и  $\delta'$  характеризуют смешанное питание;  $\varepsilon$  – коэффициенты отмирания,  $M_0$  – количество лимитирующего элемента в среде. Схема циркуляции вещества в системе приведена на рис. 7. В зависимости от соотношения экологических

коэффициентов с ростом величины  $M$  могут реализоваться различные последовательности устойчивых структур экосистем. Некоторые примеры приведены на рис. 8. Многофигурные области соответствуют триггерам, что означает реализацию той конфигурации, для которой более благоприятно начальное состояние в критический момент перехода. Мы видим таким образом, что эволюция происходит как последовательное чередование плавных эволюционных периодов и моментов полифуркаций, то есть моментов, когда возможен выбор. Этот выбор определяется случайными незначительными факторами. Аналогично тому, как из множества вариантов эволюции биосферы реализуется только один, так из множества путей развития хозяйства реализуется только один, который определяется индивидуальными творческими способностями изобретателей, инженеров, менеджеров. Постоянная конкуренция между видами, как мы видим на рис. 6, приводит к увеличению скорости эволюции. В связи с этим возникает проблема: скорость не может возрастать до бесконечности, что – потому?

В детерминированной теории царствует предопределение. Мировые линии А. Эйнштейна определяют движение как кривую в четырехмерном геометрическом мире. Этот мир по-существу статичен, в этом случае невозможно

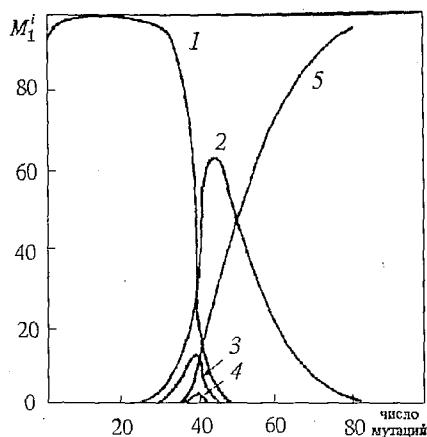


Рис. 5. Один из вариантов динамики изменения биомасс видов при моделировании эволюционного процесса ( $\Delta\gamma\% = 0,1\%$ ;  $\Delta\beta\% = 0,1\%$ ;  $\Delta c\% = 10\%M_{ij}$ );  $i = 1... 5$  – номера подвидов продуцентов

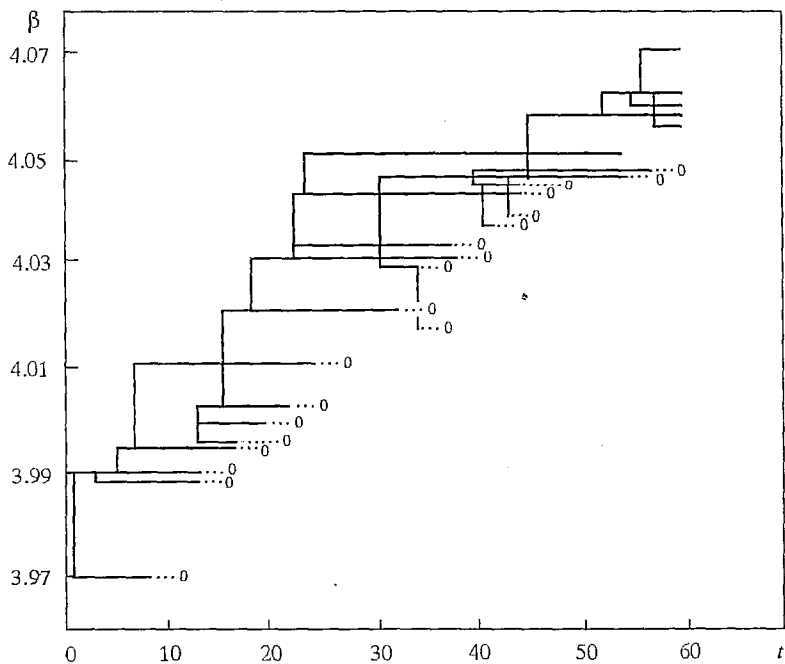


Рис. 6. Модель эволюции экосистемы. Происходит замещение в процессе эволюции видов, имеющих меньший коэффициент фотосинтеза, на виды, имеющие больший коэффициент фотосинтеза



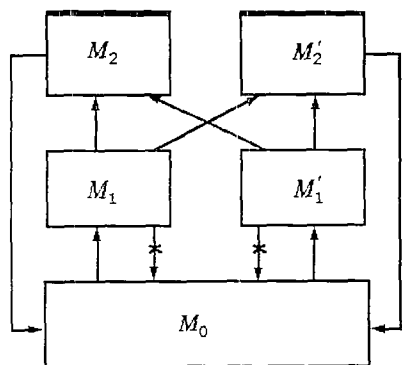


Рис. 7. Потoki вещества в модельной экосистеме. Простые стрелки соответствуют реакциям второго порядка, перечеркнутые – процессам распада

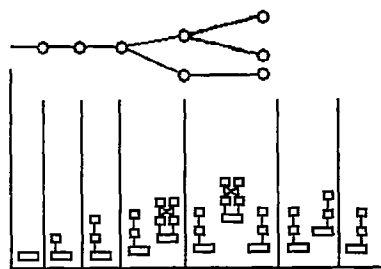


Рис. 8. Пример бифуркационной диаграммы для модельной экосистемы. Вверху – эволюционная диаграмма

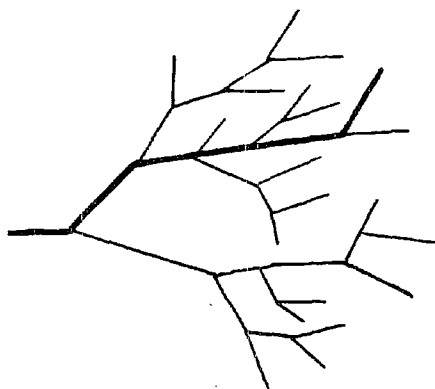


Рис. 9. Имитация исторического процесса (жирная линия), тонкие линии соответствуют нереализованным возможностям

говорить об историческом развитии. Однако, процесс, идущий через последовательность мировых линий и точек полифуркаций (рис. 9), где господствует выбор, – это уже история. Творческие акты сменяются детерминированной рутинной и вновь следует акт творения. Таким образом смысл жизни человека, говоря словами Н.А. Бердяева, оправдывается творением, каждый создает свою жизнь, а люди вместе – историю.

В заключение автор приносит глубокую благодарность Ю.М. Романовскому за полезные обсуждения.

## Библиографический список

1. Колосовский Н.Н. Теория экономического районирования. М., 1969.
2. Хайек Ф.А. Пагубная самонадеянность. М.: Новости, 1992.
3. Hutchinson G.E. Circular causal systems in ecology. *Ann. N.Y., Acad. Sci.* 1948. Vol. 50. P. 221.
4. Беллман Р., Кук К. Дифференциально-разностные уравнения. М.: Мир, 1967.
5. Алексеев В.В., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Физическое и математическое моделирование экосистем. СПб: Гидрометиздат, 1992.
6. Петров А.А. Математическое моделирование экономических систем // Математическое моделирование. М.: Наука, 1989. Т. 1. С. 1.
7. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. М.: Наука, 1975.
8. Алексеев В.В. Биогеоценозы – автогенераторы и триггеры // Журн. общ. биол. 1977. Т. 37, вып. 6. С. 738.
9. Макконнелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс. М.: Республика, 1992. Ч.1.
10. Шноль С.Э. Хватает ли времени для дарвиновской эволюции // Природа. 1990. № 11.
11. Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. М.: Наука, 1979.
12. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973.

13. Feistel R., Ebeling W. Evolution of complex systems. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1989.

14. Алексеев В.В., Крышев И.И. Простейшая модель эволюции видов в замкнутой экосистеме // Динамика биологических популяций. Горький: Изд-во ГГУ, 1983. С. 45.

Московский государственный  
университет

Поступила в редакцию 21.01.94

## ECOLOGICAL ANALOGIES ECONOMY

V.V. Alekseev

Nonlinear models of ecological and economical phenomena are considered. It is demonstrated, that fundamental principles of economy and ecology have identical nature.



Алексеев Вячеслав Викторович родился в 1940 году, окончил физический факультет МГУ по специальности теоретическая физика. В 1967 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Применение методов S-матрицы к системам из  $N$  частиц», а в 1977 году – докторскую – на тему «Математическое моделирование биогеоценозов». Является специалистом в области математического и физического моделирования экологических и геофизических систем. В частности, им предложена математическая модель сукцессий, метод построения уравнений для трофических уровней из уравнений для видов, построена физическая модель влияния интенсивного атмосферного вихря на процессы в океане, исследованы автостохастические режимы нелинейных уравнений, описывающих замкнутые экосистемы. С 1988 года В.В. Алексеев заведует лабораторией возобновляемых источников энергии в МГУ и занимается вопросами энергетического анализа и математического моделирования эколого-экономических систем. В 1992 году избран академиком РАН, автор более 150 печатных работ и 5 монографий.



Редакция журнала «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика» планирует выпуск специального номера, посвященного исследованиям по нелинейной динамике лазеров и оптических систем. Предполагаются следующие основные разделы:

- нелинейная динамика многомодовых и многоволновых лазерных систем;
- поперечная пространственно-временная динамика лазеров и оптических систем;
- динамика лазеров с вынужденной синхронизацией мод и модуляцией параметров;
- влияние флуктуаций на бифуркации и эволюцию нелинейных лазерных и оптических систем;
- нелинейная динамика лазеров с насыщающимся поглощением, полупроводниковых лазеров, лазеров на свободных электронах и других лазеров со сложной динамикой.

Предварительное согласие на участие в специальном выпуске журнала дали следующие ведущие специалисты: В.С. Анищенко (СГУ), Д.И.Трубецков (СГУ), А.Н.Ораевский (ФИ РАН), Л.Н.Капцов (МГУ), П. Глорье (Франция), П. Мандель (Бельгия), Л.А. Мельников (СГУ), Я.И. Ханин (ИГФ РАН), Е.Д. Трифонов (СПбПУ).

Авторов, заинтересованных в опубликовании статей в специальном выпуске, просим сообщить об этом заранее до 1 января 1995 года и прислать предварительное название и авторов статьи по электронной почте: <tuchin@scnit.saratov.su>. Оформленные по принятым для журнала правилам рукописи должны быть представлены не позднее 1 апреля 1995 года.

Для зарубежных авторов статья может быть представлена на английском языке. По желанию автора статья может быть напечатана на английском или русском языке.

Ответственный редактор выпуска – академик Международной Академии Информатизации профессор Валерий Викторович Тучин

анонсанонс анонс анонс анонсанонс анонс анонс анонсанонс  
онс анонс алонс анонс анонс анонс алонс анонс анонс анонс алонс  
с анонс анонс алонс анонс анонс анонс алонс анонс анонс алонс