

**ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
В СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**NONLINEAR INTERACTION AND THEIR MODELING
IN SOCIO-ECOLOGICAL SYSTEMS**

Н.В. БАКАЕВА, А.В. ШЛЕЕНКО, С.Н. ВОЛКОВА, Е.Е. СИВАК, М.И. ПАШКОВА
N.V. BAKAEVA, A.V. SHLEENKO, S.N. VOLKOVA, E.E. SIVAK, M.I. PASHKOVA

(Юго-Западный государственный университет,
Курская государственная сельскохозяйственная академия)
(Southwest State University,
Kursk State Agricultural Academy)

E-mail: natbak@mail.ru; shleenko77@mail.ru; volkova_47@mail.ru;
elenasivak77@mail.ru; marina010104@yandex.ru

В статье описано поведение сложных социально-экологических систем, характеризующееся нелинейными взаимодействиями их составляющих. Определены условия устойчивого состояния систем с динамикой его развития. Разработана классификация взаимодействий составляющих систем на основе синергетики с использованием аттракторов фазовых переходов. Найденные коэффициенты взаимодействия позволяют изучать исследуемые процессы в социально-экологических системах в естественных условиях и при антропологическом воздействии.

The article describes the behavior of complex social-ecological systems, which is characterized by nonlinear interactions of their components. Conditions a sustainable state with the dynamics of its development are defined. The classification of interactions is developed, based on synergetics with the use of attractors of phase transitions. The resulting coefficients of the interaction allow to explore the investigated processes in socio-ecological systems under natural conditions and under anthropological influence.

Ключевые слова: экологическая безопасность, социально-экологические системы, взаимодействия, моделирование, синергетика, странные аттракторы, вероятность, трансформации, информационно-синергетические потоки.

Keywords: environmental safety, socio-ecological systems, interactions, modeling, synergetics, strange attractors, probability, transformation, information-synergetic flows.

Поведение сложных систем, каковыми являются социально-экологические системы, описывается нелинейными моделями. Нелинейные системы способны эволюционировать по разным траекториям, поэтому стандартные экологические модели следует перефразировать в терминах нелинейностей [1]. Введение нелинейностей приведет к появлению странных аттракторов, и тогда небольшие отклонения в

начальных условиях вызовут существенные изменения траектории ("эффект бабочки"). Внешние и внутренние воздействия недетерминированным образом направляют систему на тот или иной путь развития.

Сегодня человечество переходит от индустриальной эпохи к постиндустриальной или информационной. Это означает, что генерируемая людьми новая информация

мгновенно становится достоянием всего человечества. В случае реализации конвергентных (нано-, инфо-, когно-) технологий, как фактора изменения жизненного мира человека, появляются опасные тенденции развития, поскольку они направлены на изменение самого человека как личности.

Социальные волновые процессы находятся в стадии исследования; понятия, используемые в теории колебаний, применяются для их анализа. Социально-экономический порядок интерпретируется с помощью представлений синергетики, с использованием аттракторов фазовых переходов.

В настоящее время мировоззрение основано на идеях эволюции и единства мира, понятиях самоорганизации и биосферной совместимости [2]. Так, в рамках концепции биосферосовместимого и развивающего человека города в работе [3] предложена математическая модель открытой динамической системы для оценки параметров человеческого потенциала на рассматриваемой территории. Построенные одно-временные уравнения для регрессионного анализа рассматриваемой системы и дифференциальные уравнения изменения динамического состояния системы пригодны для количественной оценки и прогнозирования состояния и динамики изменения отдельных элементов баланса биотехносферы и человеческого потенциала на рассматриваемой территории.

Принято считать, что самоорганизация есть результат внутренне необходимого изменения системы [4], таким образом, появляется необходимость учета плотности времени, времени, приходящегося на единицу информационно-синергетического потока в исследуемой системе. Особое значение имеет начальная плотность времени, приходящаяся на начальные условия, поскольку в дальнейшем все, что будет происходить с системой, определяется именно проявлением времени в ней. Если это биологическая система, то "осознанным" проявлением каждой клеткой рассматриваемого организма; если это разумный объект исследования, то не просто мозговым осознанием, а еще и согласованным с внешним

наблюдателем, находящимся внутри системы.

Полученные нами модели [5] позволяют учесть нелинейность взаимодействия составляющих систем, привносимую плотность времени в существующие модели, а именно:

$$|T| = T_0 \left(1 + t \frac{A-B}{C}\right)^{\left|\frac{B}{A-B}\right|}, \quad (1)$$

$$\rho_0 = \frac{T_0}{C},$$

где A – входящий информационно-энергетический поток в единицу времени в систему; B – выходящий информационно-синергетический поток в единицу времени из системы; C – имеющийся в системе информационно-синергетический поток; t – данный момент времени; T_0 – начальное время взаимодействия системы при $t=0$; T – время взаимодействия системы с окружающей средой; ρ_0 – начальная плотность времени при $t=0$; ρ – плотность времени взаимодействия системы, определяется формулой:

$$\rho = \frac{T}{C + (A-B)t}. \quad (2)$$

Изменение времени взаимодействия системы dT описывается уравнением через его плотность с начальными условиями [6]:

$$|dT| = \rho_1 B dt, \quad T(0) = T_0; \quad \rho_0 = \frac{T_0}{C}. \quad (3)$$

Модулем в уравнении отмечена динамика взаимодействия: при положительной динамике $dT > 0$, при отрицательной $dT < 0$, при неотрицательной $dT = 0$.

Решая уравнение (3), получаем формулу (1), которую можно записать в виде:

$$T = T_0 K(t), \quad (4)$$

где $K(t)$ – коэффициент взаимодействия системы, который позволит записать условия сохранения существующих моделей для

различных динамик взаимодействия в общем виде [7]:

$$K(t) = \left(1 + t \frac{A-B}{C}\right)^{\frac{|B|}{A-B}} \quad (5)$$

В частности, для $dT > 0$ (положительная динамика):

$$K(t) = \begin{cases} 1, \text{ при } B = 0 \text{ постоянный,} \\ \left(1 + \frac{3A}{4C}t\right)^{\frac{1}{3}}, B < \frac{A}{2} \text{ иррациональный,} \\ 1 + \frac{A}{2C}t, B = \frac{A}{2} \text{ линейный,} \\ \left(1 + \frac{A}{4C}t\right)^3, \frac{A}{2} < B < A \text{ степенной,} \\ e^{\frac{A}{C}t}, B = A \text{ экспоненциальная,} \\ \left(1 - \frac{A}{C}t\right)^{-2}, B > A \text{ обратностепенной.} \end{cases} \quad (6)$$

При $dT < 0$ (отрицательная динамика):

$$K(t) = \begin{cases} \left(1 + \frac{3A}{4C}t\right)^{\frac{1}{3}}, B < \frac{A}{2} \text{ обратнoиppaциональный,} \\ \left(1 + \frac{A}{2C}t\right)^{-1}, B = \frac{A}{2} \text{ обратнoлинейный,} \\ \left(1 + \frac{A}{4C}t\right)^3, \frac{A}{2} < B < A \text{ обратнoстепенной,} \\ e^{-\frac{A}{C}t}, B = A \text{ обратнoэкспоненциальный,} \\ \left(1 - \frac{A}{C}t\right)^2, B > A \text{ парабoлический.} \end{cases} \quad (7)$$

При $dT = 0$ получаем $T = \text{const}$ (постоянная величина).

Из соотношения потоков получаем зависимости (табл. 1 – условия сохранения существующих моделей, характеризующих уровни взаимодействия системы и области странных аттракторов в фазовой плоскости).

Т а б л и ц а 1

Соотношения потоков	Области аттракторов	Модель, характеризующая взаимодействие	Динамика взаимодействия
$B=0$	I	постоянная величина	неотрицательная
$B < \frac{A}{2}$	II	иррациональная	положительная +
$B = \frac{A}{2}$	III	линейная	положительная +
$\frac{A}{2} < B < A$	IV	степенная	положительная +
$B = A$	V	экспоненциальная	положительная +
$B > A$	VI	степенная при $t < \frac{C}{A}$; терпящая разрыв при $t = \frac{C}{A}$; обратная степенной при $t > \frac{C}{A}$	положительная + бифуркация трансформация
$B < \frac{A}{2}$	VII	обратная иррациональной	отрицательная -
$B = \frac{A}{2}$	VIII	обратная линейной	отрицательная -
$\frac{A}{2} < B < A$	IX	обратная степенной	отрицательная -
$B = A$	X	обратная экспоненциальной	отрицательная -
$B > A, B = 2A$	XI	параболическая при $t < \frac{C}{A}$ - убывает; при $t = \frac{C}{A}$ - обращается в ноль; при $t > \frac{C}{A}$ - возрастает	отрицательная - бифуркация трансформация

Динамика процессов взаимодействия в социально-экологических системах (табл. 1) позволила уточнить динамику взаимодействия под номерами VI и XI, характеризующими уровни трансформации, меняющие свойства этих взаимодействий. На одиннадцатом уровне через взаимодействие системы с окружающей средой свойства меняются непрерывно через 0, а на шестом скачкообразно, через бесконечно большой разрыв при $t = \frac{C}{A}$.

Соотношения между потоками позволяют указать на проявление величины взаимодействия по определенному сценарию, описываемого той или иной моделью взаимодействия с помощью коэффициента этого взаимодействия. Модели определяют и границы областей странных аттракторов.

Сила взаимодействия характеризуется степенью в формуле (1), определяемой [8]:

$$S = \frac{B}{A-B}, \quad (8)$$

где S – степень, характеризующая синергизм сложной системы (табл. 2).

Состояния системы подразумеваем статическими, то есть рассмотренными в определенный временной период: секунду, месяц, год и т.д., в которых A, B, C принимаем за постоянные величины в этом периоде, образно выражаясь, фотографируем определенные мгновения.

Взаимодействия носят колебательный, волновой характер с пульсирующим временем взаимодействия, и сами потоки зависят от времени. Поэтому статика, представленная в нашей работе, позволяет аналитическими моделями описать мгновения состояния процесса, характеризующегося единицей времени: секундой, месяцем, годом, и указать вектор дальнейшего развития и его силу действия.

Предположив равновозможность наступления того или иного взаимодействия, видим, что всего одиннадцать областей странных аттракторов. Благоприятных для положительной динамики взаимодействия в эволюционном развитии пять (II, III, IV, V, VI), столько же с отрицательной динамикой (VII, VIII, IX, X, XI) и одна область с неотрицательной (I) (табл.2). Получаем, что вероятности будут соответственно: 0,455; 0,455 и 0,09.

Таким образом, 45,5% приходится на неустойчивые динамики взаимодействия, 45,5% – на устойчивые и 9% – на очень устойчивые. Отрицательные динамики стремятся к нулю и являются более устойчивыми, чем положительные, стремящиеся в фазовом пространстве к бесконечности.

Коэффициент развития асимптотически при отрицательной динамике стремится к нулю, достигая его только в случаях трансформации для перехода в новое состояние (VI, XI области, табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Области странных аттракторов	Соотношение потоков	Синергизм	Классификация	Модели
VI, XI	$B=2A$	-2	$S<0$	Обратная степенной
I	$B=0$	0	$S=0$	Постоянная величина
II, VII	$B = \frac{A}{4}$	$\frac{1}{3}$	$0<S<1$	Иррациональная
III, VIII	$B = \frac{A}{2}$	1	$S=1$	Прямые линии
IV, IX	$B = \frac{3}{4}A$	3	$S>1$	Степенные функции
V, X	$B=A$	∞	$S \rightarrow \infty$	Экспоненциальные Предельные переходы

Скорости развития взаимодействия могут быть как положительны, так и отрицательны по знаку, что характеризует эволюционные и коэволюционные пути.

В естественных условиях взаимодействие, раз появившись, попадает в верхнюю часть плоскости, модели которой описываются формулой (6), что выше оси $K(t)$, а при антропогенном воздействии – нижняя часть плоскости формула (7), что ниже оси $K(t)$ в фазовой плоскости ($K(t), K'(t)$). Этому подтверждение закон Фелпса, открытый им 70 лет назад, о том, что микроорганизмы размножаются по экспоненциальному закону ($s \rightarrow \infty$), да и демографическая составляющая общества в целом по этому же закону развивается, лишь с той разницей, что есть положительная динамика (естественные условия V область странных аттракторов (табл. 1)) и отрицательная (антропогенные воздействия X область странных аттракторов (табл.1)).

ВЫВОДЫ

1. Линейность взаимодействий проявляется только в случае, когда выходной поток равен половине входящего в условиях положительной динамики развития процесса взаимодействия социально-экологической системы с окружающей средой, а в остальных случаях проявляется нелинейность взаимодействий.

2. Разработанные аналитические модели позволяют определить области странных аттракторов сложных систем, а именно пять областей с положительной динамикой, столько же с отрицательной, обусловленной антропогенным воздействием при соотношении потоков $B < \frac{A}{2}$ (II, VII); $B = \frac{A}{2}$ (III, VIII); $\frac{A}{2} < B < A$ (IV, IX); $B = A$ (V, X); $B > A$ (VI, XI) и очень устойчивое состояние нейтральной полосы, когда $B = 0$ (I).

3. Найденные предельные экспоненциальные переходы (V, X) и уровни трансформации сложных систем (VI, XI) позволяют обосновывать нелинейность взаимодействия и указывают на способ отыскания то-

чек бифуркации для естественных условий с антропогенным воздействием при $t > \frac{C}{A}$ (XI) (табл. 2).

4. Силу взаимодействия и скорость развития определяем по формуле (8), которая характеризует синергизм сложной системы (табл. 2).

5. Вектор направления взаимодействия определяется динамикой времени эволюционного развития системы. При антропогенном воздействии – коэволюционным развитием.

Таким образом, разработанная методика позволяет прогнозировать экологически безопасный вариант развития экосистемы в целом, в том числе и социально-экологической, управляя динамикой ее развития и определяя условия устойчивых тенденций этого развития в ней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания // М.: Издательский центр "Академия", 2011.
2. Муха В.Д., Волкова С.Н., Муха Д.В., Волкова Е.Е. Моделирование всеобщего взаимодействия эволюционных процессов в социально-экологических системах // 2-е изд. – Курск: изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2009.
3. Ashby W.R. Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. – V. 37. P. 125...128.
4. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Моделирование и количественная оценка составляющих гуманитарного баланса биотехносферы урбанизированных территорий // Тр. Общ. собр. РААСН "Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли". – 2012. Т2. С.195...205.
5. Волкова С.Н., Сивак Е.Е., Пашкова М.И., Шлеенко А.В. Прогнозирование регионального развития // Вестник Курской гос. с.-х. ак. – 2015, №6. С. 9...11.
6. Волкова С.Н., Сивак Е.Е., Пашкова М.И., Герасимова В.В. Математическое моделирование взаимодействия исследуемой системы с окружающей средой // Мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Естественные и математические науки: вопросы и тенденции развития. – Красноярск, 2014. С. 9...11.
7. Волкова С.Н., Сивак Е.Е., Пашкова М.И., Костенко Н.А., Герасимова В.В. Формула времени эволюционного развития // Мат. V Междунар. научн.-

практ. конф.: Наука в современном информационном обществе, 26-27 января 2015 г. – North Charleston, USA. T.2. С.134...136.

8. Шлеенко А.В., Волкова С.Н., Сивак Е.Е. Способ определения времени взаимодействия объектов исследования с окружающей средой // Изв. Юго-Западного гос. ун-та. Серия: Техника и технология. – 2015, № 2(15). С. 65...70.

REFERENCES

1. Dubnishheva T.Ja. Konceptii sovremennoego estestvoznaniya// M.: Izdatel'skij centr "Akademija", 2011.

2. Muha V.D., Volkova S.N., Muha D.V., Volkova E.E. Modelirovanie vseobshhego vzaimodejstviya jevoljucionnyh processov v social'no-jekologicheskikh sistemah // 2-e izd. – Kursk: izd-vo Kursk. gos. s.-h. ak., 2009.

3. Ashby W. R. Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. – V. 37. P. 125...128.

4. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Ba-kaeva N.V. Modelirovanie i kolichestvennaja ocenka sostavljajushhih gumanitarnogo balansa biotehnosfery urbanizirovannyh territorij // Tr. Obshh. sobr. RAASN "Fundamental'nye i prioritetye prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitija

arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli". – 2012. T.2. S.195...205.

5. Volkova S.N., Sivak E.E., Pashkova M.I., Shleenko A.V. Prognozirovanie regional'nogo razvitija// Vestnik Kurskoj gos. s.-h. ak. – 2015, № 6. S. 9...11.

6. Volkova S.N., Sivak E.E., Pashkova M.I., Gerasimova V.V. Matematicheskoe modelirovanie vzaimodejstviya issledueмой системы s okruzhajushhej sredoj // Mat. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Estestvennye i matematicheskie nauki: voprosy i tendencii razvitija. – Krasnojarsk, 2014. S. 9...11.

7. Volkova S.N., Sivak E.E., Pashkova M.I., Kostenko N.A., Gerasimova V.V. Formula vremeni jevoljucionnogo razvitija // Mat. V Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Nauka v sovremenном informacionnom obshhestve, 26-27 janvarja 2015 g. – North Charleston, USA. T.2. S.134...136.

8. Shleenko A.V., Volkova S.N., Sivak E.E. Sposob opredelenija vremeni vzaimodejstviya ob"ektov issledovaniya s okruzhajushhej sredoj // Izv. Jugo-Zapadnogo gos. un-ta. Serija: Tehnika i tehnologija. – 2015, №2 (15). S. 65...70.

Рекомендована кафедрой экспертизы и управления недвижимостью, горного дела ЮЗГУ. Поступила 22.06.16.