

СИНЕРГЕТИКА: ЭКОСИСТЕМНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черныш, Д. Л. Пляцук

Сумской государственной университет

ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина. E-mail: liza_chernish@mail.ru

Обоснованы теоретические аспекты синергетической концепции нелинейных экологических систем с учетом антропогенного фактора. При этом антропогенный фактор рассматривается как сопредельная среда, являющаяся частью непрерывной внешней среды с флуктуационными процессами, которые в ней протекают. Рассмотрено понятие экосистемы на разных уровнях организации на основе теории про автоэволюцию систем. Синергетические характеристики экосистемы проявляются при взаимодействии с факторами внешней среды, что является важным исходным параметром для дальнейшего развития теории проективной синергетики экологических процессов, в частности для разработки экологически безопасных технологий.

Ключевые слова: синергетика, экосистема, антропогенный фактор.

СИНЕРГЕТИКА: ЕКОСИСТЕМНІ ПРОЦЕСИ

Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черниш, Д. Л. Пляцук

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна. E-mail: liza_chernish@mail.ru

Обґрунтовано теоретичні аспекти синергетичної концепції нелінійних екологічних систем з урахуванням антропогенного чинника. При цьому антропогенний чинник розглядається як суміжне середовище, яке є частиною безперервного зовнішнього середовища з флуктуаційними процесами, що в ній перебігають. Розглянуто поняття екосистеми на різних рівнях організації на основі теорії про автоволюцію систем. Синергетичні характеристики екосистеми проявляються при взаємодії з чинниками зовнішнього середовища, що є важливим вихідним параметром для подальшого розвитку теорії проективної синергетичних екологічних процесів, зокрема для розробки екологічно безпечних технологій.

Ключові слова: синергетика, екосистема, антропогенний чинник.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В современной постнеоклассической науке парадигмой нелинейного мышления становится синергетика, изучающая эволюционные процессы функционирования нелинейных систем на длинном временном отрезке. Однако в синергетике еще не сформирована целостная теория самоорганизации, которую можно одинаково справедливо применить ко всем системам физического мира – как к природным, так и техническим. Поэтому в зависимости от конкретных свойств той или иной отрасли науки синергетический подход трансформирует свои отличительные особенности и содержание. Не исключением стало применение этого подхода к экологическим процессам, которые представляют собой интегральную совокупность химических, биологических, геологических, гидрологических, техногенных и других процессов, протекающих в экосистемах разного уровня организации, и являются по своей сути открытыми системами. Синергетика экологических процессов – сравнительно новое направление в мире науки, ее развитие даст возможность эволюционировать естествознанию на совершенно новый уровень, близкий к концепции В.И Вернадского о ноосфере.

Становление синергетики связано, в первую очередь, с именами И. Пригожина, Г. Хакена, М. Фейгенбаума, Г. Николиса и др. [1–5]. Развитие синергетики в XXI столетии связано с формированием новых направлений исследования. Это, в первую очередь, синергия проектирования технических систем, в частности энергетических [6–8]. Кроме того, моделирование гидрологических и экологических процессов, в частности нелинейной кинетики трансформации примесей в водной среде и фер-

ментных процессов деструкции органических веществ в технических (биореакторах) и природных системах [9–12], а также разработка нелинейных моделей распространения в атмосфере загрязняющих веществ [13].

Г. Хакен предложил описать самоорганизацию, включая внешние силы как части полной системы, т.е. теперь для новой расширенной системы уравнение организации становится уравнением самоорганизации. В данном случае не представляется возможным ограничиться детерминистскими уравнениями, т.к. теперь внешние силы следует рассматривать не как заданные величины, а как переменные, подчиняющиеся уравнениям движения. Одним из примеров влияние внешних сил на макроскопический уровень является загрязнение окружающей среды: увеличение зараженности на несколько процентов может привести к вымиранию популяции, например к гибели всей рыбы в озере. Большинство исследований в этой области синергетики направлены на популяционную экологию [13–17], где синергетика нашла свое эффективное применение.

Существенное отличие стратегий технологической деятельности XXI столетия состоит в освоении принципиально новых типов объектов и процессов, представляющих собой достаточно сложные саморазвивающиеся макросистемы, которую уже нельзя рассматривать отдельно от природных систем. В таких открытых системах возникают кооперативные явления, которые базируются энергетических, информационных, вещественных потоках. В результате проявления кооперативных эффектов, развивающиеся системы порождают новые структуры без каких-либо внешних силовых воздействий, т.е. про-

исходит процесс самоорганизации [8]. Такого рода кооперативные эффекты в макросистемах необходимо учитывать при разработке эффективных стратегий технологической деятельности человека.

Цель статьи – обоснование синергетической концепции нелинейных экологических систем с учетом антропогенного фактора.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Основные характеристики синергетической системы, применимые на экосистемном уровне можно представить в виде блок-схемы (рис. 1), в которой выделены также факторы внешней среды.

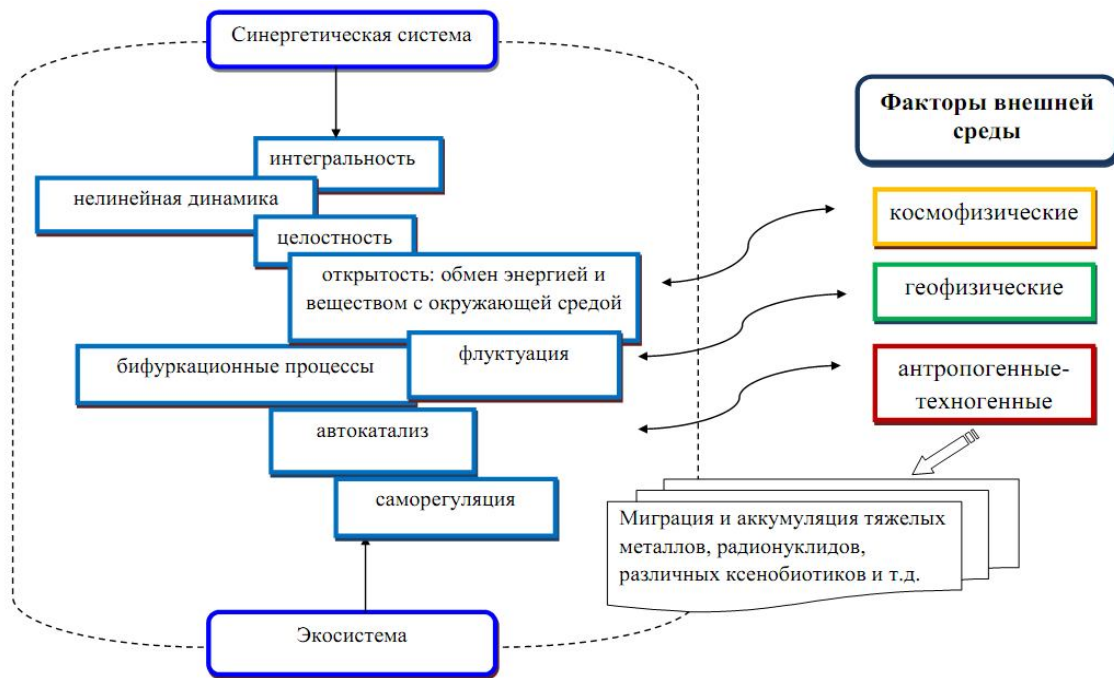


Рисунок 1 – Совмещение характеристик синергетической и экологической систем при влиянии факторов окружающей среды

На рис. 2 показаны основные процессы, протекающие в экологической нелинейной системе. При этом свойства экосистемы, ее синергетические характеристики проявляются при взаимодействии с факторами внешней среды.

Для определения факторов внешней среды введем понятие *сопредельных сред* – сред различной природы, которые косвенно и прямо воздействуют на экосистему на разных уровнях ее организации. На биосферные процессы непрерывно поддается влиянию сопредельных сред.

Синергетические свойства экосистемы предполагают активное взаимодействие ее с окружающей средой, что приводит к возникновению флуктуаций и в точке бифуркации переходу системы на иной уровень ее развития. Эмерджентные свойства экосистемы проявляют себя именно при взаимодействии с факторами внешней среды.

Внешняя среда является интегральной совокупностью сопредельных сред с обретением ею качественно новых свойств. В этом аспекте внешняя среда является синергетической структурой нового уровня организации. На рис. 3 нами представлены некото-

рые характеристики внешней среды. В таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень её упорядоченности, т.е. уменьшается энтропия и происходит так называемая самоорганизация. Основа синергетики – термодинамика неравновесных процессов, теория случайных процессов, теория нелинейных колебаний и волн. Так как все земные макросистемы (биологические, геологические, географические, экологические и др.) и биосфера в значительной степени открытые системы, то их развитие происходит по законам синергетики.

рые характеристики внешней среды.

Структуру состояний экосистем разного уровня организации описана в виде блок-схемы на рис. 4.

Следует отметить, что невозможно провести границу между сопредельными средами и экосистемой (биосферой).

Техносреда как часть техносферы является по существу и частью биосферы, которая коренным образом трансформирована инженерно-технической деятельностью человека. Зачастую антропогенный фактор выделяется как фактор внешнего воздействия, но на современном этапе развития социума он приобрел внутриэкосистемные функции, однако, к сожалению, деструктивного характера (уровень деградационных процессов экосистемы, рис. 4).

В классическом варианте классификация экосистемы сводится к трем уровням [18]: микроэкосистема (маленький водоем, домашний аквариум и капля воды, пока в них присутствуют живые организмы), мезоэкосистема (лес, пруд, река и т.п.) и макроэкосистема (биосфера). Однако стоит отметить, что ранжирование так экосистем не дает представления о процессах, протекающих в них.

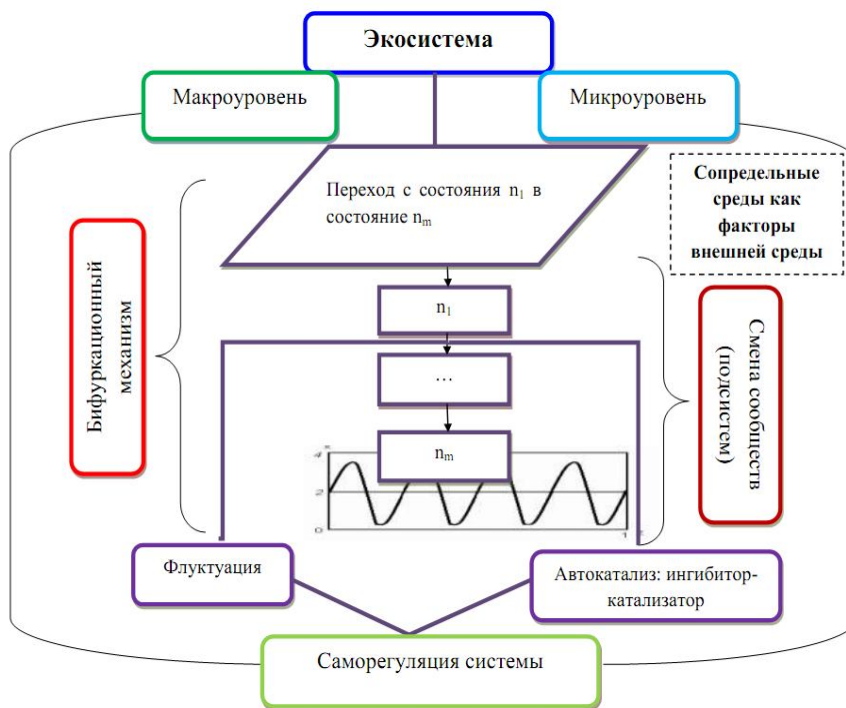


Рисунок 2 – Характеристика экосистемы как нелинейной системы: синергетический подход

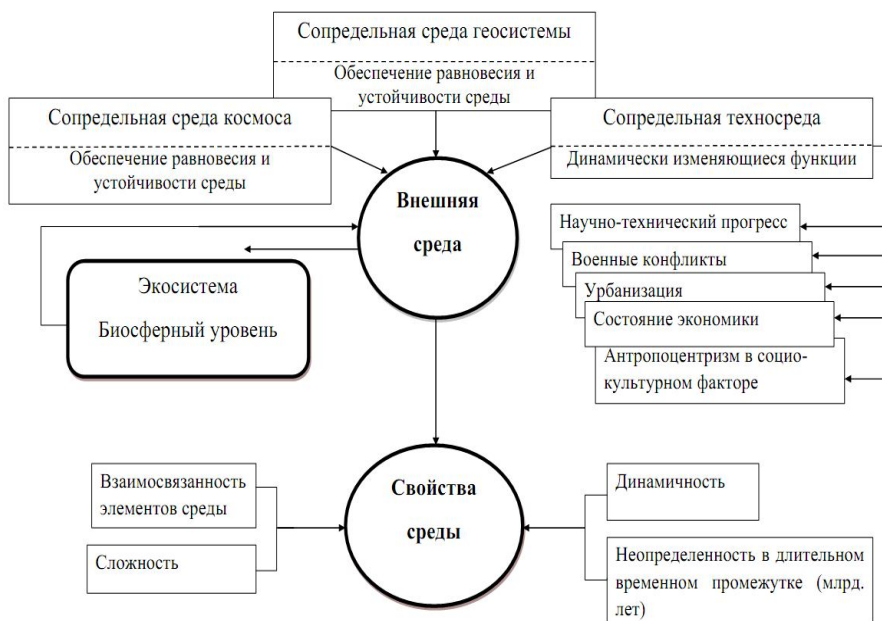


Рисунок 3 – Организация внешней среды

Экологические системы в процессе эволюции имеют дело с такими уровнями самоорганизации вещества: атомно-молекулярном, биохимическом и физико-химическом. Введем их как параметры развития экосистем на принципах автоэволюции.

В промышленности задействованы разные уровни организации экосистемы, при этом используя их для производства новых энергетических и вещественных потоков (в том числе ксенобиотиков), производятся отходы. В целом на планетарном уровне процент малоотходных технологических процессов очень мал, что и ведет к разрушению экосистем раз-

ного уровня.

Состояния экосистемы необходимо рассматривать на разных уровнях ее организации с точки зрения функционирования (положительное развитие или деградация), состояния самоорганизации (включая автокатализ и саморегуляцию), физического состояния (описание био-физико-химических параметров развития процессов становления и разрушения) и самих деградационных процессов (их механизм как сочетание воздействующих факторов и свойств экосистем, и кинетика как последовательность событий (стадий) развития процесса).

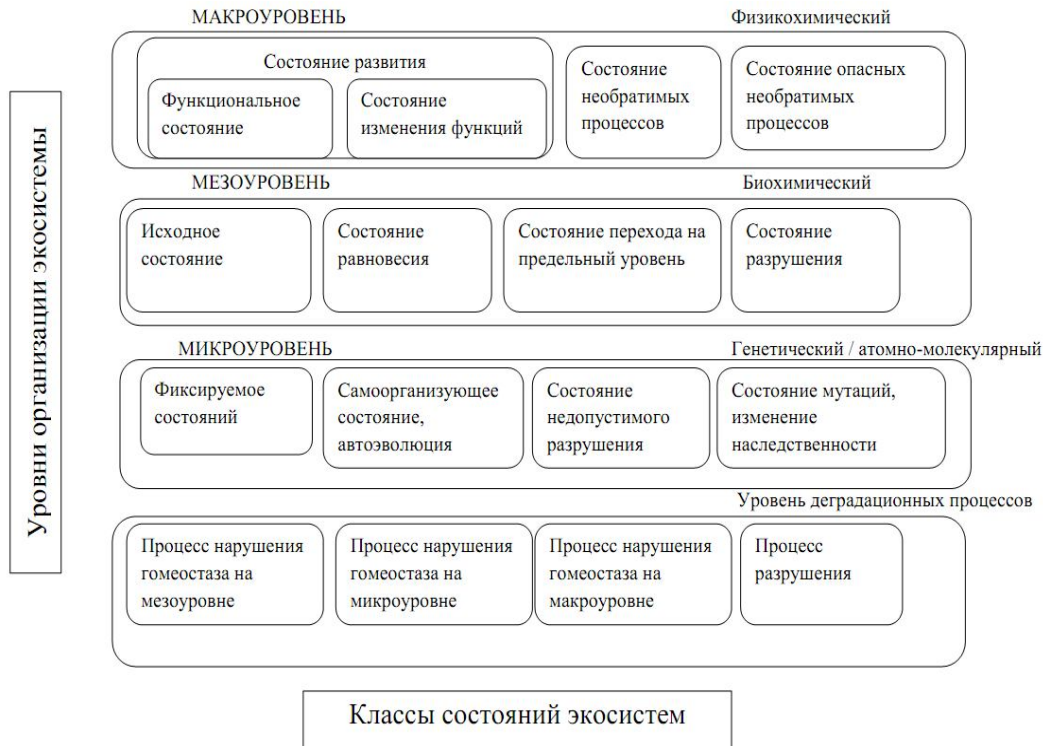


Рисунок 4 – Классы состояний экосистемы и ее элементов

На организационных уровнях выделены классы состояний. Каждый класс описывает непрерывную динамику экосистемных состояний. Переходы между классами описывают дискретную составляющую, которая отражает скачкообразный переход состояния из одного класса в другой через точку бифуркации, когда кардинально могут изменяться как значения параметров состояния экосистемы, так и их множество.

Устойчивость экосистем не может быть сохранена и обеспечена, если будет нарушен закон внутреннего динамического равновесия. Под угрозой будет не только качество природной среды, но и существование всего комплекса природных компонентов в необозримом будущем. Закон внутреннего динамического равновесия действует как регулятор нагрузок на окружающую среду при условии, что не нарушены «баланс компонентный» и «баланс крупных территорий». Именно эти «балансы» являются нормами рационального природопользования, это они должны лежать в основе разработки мероприятий по охране окружающей среды.

Суть этого закона состоит в том, что природная система обладает внутренней энергией, веществом, информацией и динамическим качеством, связанными между собой настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает в других или в том же, но в другом месте или в другое время, сопутствующие функционально-количественные перемены, сохраняющие сумму вещественно-энергетических, информационных и динамических показателей всей природной системы. Это и обеспечивает системе такие свойства как сохранение равновесия, замыкание цикла в системе и ее «самовос-

становление», «самоочищение».

Ископаемая энергия планеты вовлекалась в современные экосистемные процессы путем антропогенной деятельности.

Общая энергоёмкость, скорость преобразования веществ и его масштабы стремительно нарастают в пределах геолого-геофизического набора процессов. На рис. 5 представлена разработанная нами блок-схема влияния антропогенного фактора на процессы в экосистеме. При этом антропогенный фактор рассматривается как сопредельная среда, которая является частью непрерывной внешней среды с флуктуационными процессами, которые в ней протекают.

В данном контексте антропогенный фактор применяется нами как форма техногенного фактора, так как практически все области деятельности человека носят все более индустриальный характер.

Естественные геолого-физические и биосферные процессы вытесняются технологическими процессами. Формирующиеся техногенные связи деформируют вещественные, энергетические и информационные потоки в биосфере и в земных оболочках. Такое положение дел на Земле ощущается не только микромиром биосферы, но и микропроцессами стратосферы, а именно, состоянием озонового слоя, который среагировал на измененную химическую среду. Именно нарушение солнечно-земных взаимосвязей антропогенной деятельностью выявляет наиболее тонкие звенья этой взаимосвязи – генерацию и распределение озона. Биосферный реактор Земли вовлечен во все эти процессы, изменяясь при этом приходя в новое состояние.

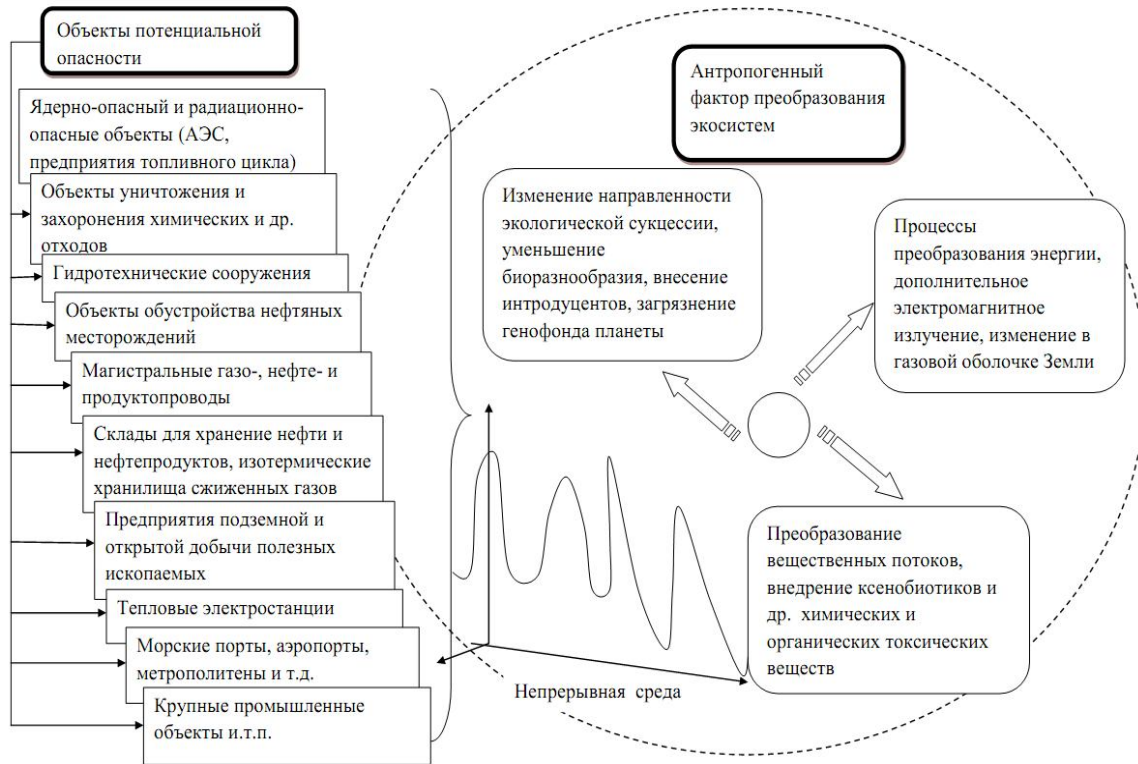


Рисунок 5 – Антропогенный фактор в формировании направленности процессов в экосистеме

Тогда воспользовавшись принципом Ле Шателье–Брауна о возникновении в системе противодействия техногенному давлению, при его нелинейности, система может перейти в новое состояние через бифуркацию, т.е. реализуется состояние, не вытекающее однозначно из начальных условий, и, соответственно, которое нельзя предсказать однозначно. При планировании использования тех или иных источников энергии необходимо учитывать не только суммарное экологическое воздействие техногенных факторов на окружающую среду, но и рассматривать обратные связи, разрушение которых может привести к потере устойчивости состояния биосферы, и как следствие к очередной бифуркации. В этом направлении важным является развитие проективной синергетики.

Изучение «беспорядка», хаоса – одно из направлений проективной синергетики. Другое направление – учет малых колебаний – означает, что из флуктуаций возникают новые макроструктуры и наоборот, флуктуации могут разрушить большие организованные структуры [6]. Для контекста синергетики проектирования важен следующий *синергический эффект*: микроскопические изменения могут влиять на громадные организации, т.е. на макроуровень экосистемы.

Синергия проектирования в прикладном аспекте должна быть направлена на разработку различных решений (технических, технологических, информационных, организационных и т.д.), которые основаны на синергических законах функционирования сложных систем.

ВЫВОДЫ. Разработаны концептуальные основы синергического анализа экосистемных процессов с учетом техногенного фактора. Рассмотрено поня-

тие экосистемы на разных уровнях организации на основе теории об автоэволюции систем. При этом свойства экосистемы, ее синергические характеристики проявляются при взаимодействии с факторами внешней среды, которая рассматривается как интегральная совокупность сопредельных сред. Следует отметить, что невозможно провести границу между сопредельными средами и экосистемой (биосферой). Так, техносреда является неотъемлемой частью современной экосистемы. Следовательно, следующим этапом становления синергетики экологических процессов является формирование синергии проектирования экобезопасных технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Haken H. Synergetics. An introduction. – Berlin: Springer, 1977. – 365 p.
2. Haken H. Synergetics: an overview // Rep. Prog. Phys. – 1989. – № 52. – PP. 515–553.
3. Добронравова И.С. Синергетика: становление нелинейного мышления. – К.: Лыбидь, 1990. – 152 с.
4. Познание сложного: монография / Г. Николос, И. Пригожин. – М.: Мир, 1990. – 345 с.
5. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. – М.: Наука, 1985. – 328 с.
6. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 228 с.
7. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: энергетические системы. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 224 с.
8. Синергетика и проблемы теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – М.: Физматлит, 2004.

– 504 с.

9. Долгонос Б.М. Нелинейная динамика экологических и гидрологических процессов: Синергетика: от прошлого к будущему / Отв. ред. М. Г. Хублярян; предисл. Г.Г. Малинецкого. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 440 с.

10. Долгонос Б.М. Проблемы обеспечения качества воды в природно-технологическом комплексе водоснабжения // Инженерная экология. – 2003. – № 5. – С. 2–14.

11. Вавилин В.А. Автокатализ и флуктуации в природе // Природа. – 2005. – № 6. – С. 52–59.

12. Вавилин В.А. Как эффективно получать биогаз? // Природа. – 2008. – № 11 (1119). – С. 14–19.

13. Дискретные динамические системы и математические модели в экологии: учебное пособие / А.С. Братусь, А.С. Новожилов, Е.В. Родина. – М.: МИИТ, 2005 – 139 с.

14. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии (изд. 2-е, испр. и дополн.) – М.-Ижевск: НИЦ: «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 560 с.

15. Математические модели в биологии / П.В. Фурсова, Л.Д. Тёрлова, Г.Ю. Ризниченко. – М.-Ижевск: НИЦ: «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 108 с.

16. Нелинейная динамика трансмембранного потенциала и pH в примембранной области клетки харовых водорослей / А.И. Лаврова, Т.Ю. Плюснина, А.В. Украинец и др. // Компьютерные исследования и моделирование. – 2009. – Т. 1, № 2. – С. 233–239.

17. Дідух Я.П. Популяційна екологія. – К.: Фітосоціоцентр, 1998. – 192 с.

18. Экология: учебное пособие / В.С. Пушкар, Н.С. Майоров. – Владивосток: ВГУЭС, 2003. – 188 с.

SYNERGETICS: ECOSYSTEM PROCESSES

L. Plyatsuk, E. Chernish, D. Plyatsuk

Sumy State University

vul. Rymkogo-Korsakova 2, Sumy, 40007, Ukraine. E-mail: liza_chernish@mail.ru

A critical review of the environmental and ecological literature reveals a lack of a conceptual framework that disclose key concepts to better understand synergetic of ecosystem organization. This paper focuses on the study and substantiate of the theoretical aspects of the synergetic concept of nonlinear ecological systems, which include anthropogenic factors. In this case, the anthropogenic factor was considered as a contiguous environment, which is part of the external environment with continuous fluctuation processes that take place in it. The theory of autoevolution systems was used for the forming of the ecosystem at different levels of the organization. Synergistic ecosystem characteristics are manifested in the interaction with environmental factors. It is an important input parameter for the further development of the synergy theory of ecological processes. Environmental and ecological processes have a shared vision of addressing environmental problems and have in common a set of synergetic concepts for enhancing our understanding our view on sustainability. One of the ways is synergetic engineering, which can be used for environmentally friendly technologies development.

Keywords: synergy, ecosystem, anthropogenic factor.

REFERENCES

1. Haken, H. (1977) *Synergetics. An introduction*. Springer, Berlin, Germany.

2. Haken, H. (1989) “Synergetics: an overview”, *Rep. Prog. Phys.*, no. 52, pp. 515–553.

3. Dobronravova, I.S. (1990) *Synergetica: stanovlenie nelineynogo myshleniya* [Synergetics: the emergence of non-linear thinking], Lybid, Kyiv, Ukraine.

4. Nicolaus, G. and Prigogine, I. (1990) *Poznanie slozhnogo* [Exploring Complexity], Myr, Moscow, Russia.

5. Prigogine, I (1985) *Ot suschestvuyushchego k voznikayushchemu: vremya i slozhnostv fizicheskikh naukah* [From Being to Becoming: Time and complexity in the physical sciences], Nauka, Moscow, USSR.

6. Kolesnikov, A.A. (2005) *Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnymi sistemami: teoriya sistemnogo sinteza* [Synergetic methods of control for complex systems theory system synthesis], Editorial URSS, Moscow, Russia.

7. Kolesnikov, A.A. (2005) *Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnymi sistemami: energeticheskie sistemy* [Synergetic methods of control for complex systems: energy systems], Editorial URSS, Moscow, Russia.

8. Kolesnikov, A.A. (2004) *Sinergetika i problem teorii upravleniya* [Synergetics and the problem of control theory], FIZMATLIT, Moscow, Russia.

9. Dolgonosov, B.M. (2009) *Nelineynaya dinamika ekologicheskikh i gidrologicheskikh protsessov* [Nonlinear dynamics of ecological and hydrological processes], Book House “LIBROKOM”, Moscow, Russia.

10. Dolgonosov, B.M. (2003) “Problems of water quality in natural and technological complex water”, *Engineering Ecology*, no. 5, pp. 2–14.

11. Vavilin, V.A. (2005), “Autocatalysis and fluctuations in nature”, *Nature*, no. 6, pp. 52–59.

12. Vavilin, V.A. (2008), “How to efficiently produce biogas?”, *Nature*, no. 11, pp. 14–19.

13. Bratus, A.S. Novozhilov, A.S., Motherland, E.V. (2005) *Diskretnye dinamicheskie sistemy i matematicheskie modeli v ekologii* [Discrete dynamical systems and mathematical models in ecology: Textbook], MIIT, Moscow, Russia.

14. Riznichenko, G.Yu (2011) *Lektii po matematicheskim modelyam v biologii* [Lectures on mathematical models in biology], ed. 2nd, rev. And Add., R&C Dynamics, Moscow-Izhevsk, Russia.

15. Fursova, P.V., Tërlova, L.D., Riznichenko, G.Yu. (2008) *Matematicheskie modeli v biologii* [Mathematical Models in Biology], SIC: “Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika”, R&C Dynamics, Moscow-Izhevsk, Russia.

16. Lavrov, A.I., Plyusnina, T.Y., Ukrainets, A.V., Riznichenko, G.Y., Rubin, A.B (2009) “Nonlinear dynamics of the transmembrane potential and pH in the membrane region of the cell membrane of chara algae”, *Computer Research and Simulation*, vol. 1, no. 2, pp. 233–239.

17. Didukh, Y.P. (1998) *Populyatsiyana ekologiya* [Population ecology], Fitosotsiotsentr, Kyiv, Ukraine.

18. Pushkar, V.S., Majors, N.S. (2003) *Ekologiya* [Ecology], VSUES, Vladivostok, Russia.

Стаття надійшла 13.11.2014.