

УДК 574.5; 572.1/.4

Л. П. Милешко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ УСТОЙЧИВОСТИ БИОСФЕРЫ

Составлен аналитический обзор результатов работ, которые могут послужить основанием для создания фундаментальной теории устойчивости биосферы. Дано определение понятию «устойчивость биосферы» как способности биосферы противостоять антропо- и техногенным воздействиям, стремящимся вывести ее из состояния устойчивого динамического равновесия. Предполагается, что для сохранения устойчивости биосферы требуется поддерживать баланс в вещественно-энергетических и информационных взаимодействиях ее с обществом и техносферой.

Ключевые слова: глобальная экологическая безопасность, биосфера, устойчивость биосферы, фундаментальная теория устойчивости биосферы, общая теория обеспечения экологической безопасности.

Введение

В проблеме обеспечения глобальной экологической безопасности [21, 11, 15, 5] центральное место занимает устойчивость биосферы. Постановка проблемы создания фундаментальной теории устойчивости биосферы принадлежит Деминой Т.А [9, с. 6].

«Биосфера – самая крупная (глобальная) экосистема Земли – область системного взаимодействия живого и косного вещества на планете» [19, с. 47].

«С точки зрения иерархических уровней организации живой материи и системного подхода, биосфера – это совокупность всех экосистем (биогеоценозов), распространенных в пределах геосфер, с которыми взаимодействует живая оболочка Земли» [22, с. 39].

Биосфера является открытой саморегулирующейся системой, обладающей гомеостазом, т.е. устойчивым динамическим равновесием [2, с.168]. Устойчивость биосферы определяется достаточным внутренним разнообразием, проявляющемся в сложном рельефе Земли, неоднородности климатических зон и многообразии видов организмов и биогеоценозов [2, с.168].

Согласно [18, с. 838] **устойчивый** - 1. Стоящий, держащийся твердо, не колеблясь, не падая. *Устойчивая опора. У. плот.* Устойчивое равновесие (восстанавливающееся после незначительного отклонения; спец.). 2. Не подверженный колебаниям, постоянный, стойкий, твердый. *Устойчивые урожаи. Устойчивые взгляды.* (сущ. устойчивость).

В соответствии с законом внутреннего динамического равновесия – «вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем и их иерархии взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает сопутствующие функционально-структурные количественные и качественные перемены, сохраняющие общую сумму вещественно-энергетических, информационных и динамических качеств систем, где эти изменения происходят, или в их иерархии» [19, с. 142].

По Вернадскому В.И «поле устойчивости жизни... превышает поле биосферы, определяемое характеризующими ее независимыми переменными, принимаемыми во внимание при изучении могущих иметь в ней место физико-химических равновесий. Поле устойчивости жизни определяет область, в которой жизнь может достигнуть полного развития. Оно, по видимому, подвижно и не имеет строгих границ» [7, с. 80].

Устойчивость биосферы обеспечивается действием принципа Ле Шателье-Брауна: «при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется» [19, с. 399].

«Устойчивость экосистемы – ее способность к реакциям, пропорциональным по величине силе воздействия. Неустойчивость экосистемы – несоответственно большой ее отклик на относительно слабое воздействие» [19, с. 536].

По определению «экологическая система» – «пространственно определенная совокупность живых организмов разных видов и среды их обитания, объединенных вещественно-энергетическими и информационными взаимодействиями» [1, с.138].

«Важнейшей характеристикой экосистем является их кибернетическое поведение. *Кибернетическое поведение экосистем* определяется тем, что они обладают развитыми информационными сетями, включающими потоки физических и химических сигналов, которые связывают все части экосистемы и управляют ею как единым целым. Отличие экосистем от кибернетических устройств, созданных человеком, заключается в том, что управляющие функции экосистемы сосредоточены внутри нее и диффузны. В кибернетических же системах, созданных человеком, управляющие функции направлены вовне и специализированы.

При сравнении кибернетической системы с экосистемой можно найти нечто общее. В той и другой управление основано на обратной связи. Известно, что энергия обратной связи крайне мала по сравнению с инициируемой ею энергией, которая возбуждается в системе, идет ли речь о техническом устройстве, организме или экосистеме. Устройства, осуществляющие обратную связь в живых системах, называются *гомеостатическими механизмами*. *Гомеостаз* в применении к организму означает поддержание его внутренней среды и устойчивость его основных физиологических функций. В применении к экосистеме гомеостаз означает сохранение ее постоянного видового состава и числа особей. Гомеостатические механизмы поддерживают стабильность экосистем, предупреждая полное выедание растений травоядными животными или катастрофические колебания численности хищников и их жертв и т.д.

Степень стабильности экосистем весьма различна и зависит как от жесткости окружающей среды, так и от эффективности внутренних управляющих механизмов. При этом выделяют два типа устойчивости:

- *резистентная устойчивость* – способность оставаться в устойчивом состоянии под нагрузкой;

- *упругая устойчивость* (противоположна резистентной) – способность быстро восстанавливаться» [23, с. 17, 18].

За единый критерий устойчивости и безопасности естественной экосистемы принимают «нерушимость естественного биотопа и способность его биоценоза к восстановлению при техно-антропогенном воздействии, за счёт резистентной и упругой устойчивости» [4, с. 71].

«В отличие от естественной экосистемы, единым критерием устойчивости и безопасности искусственных экосистем является здоровье человека и качество его жизни (в соответствии с экологической доктриной РФ 2002 г.), а не биотоп, которого уже нет» [4, с. 74].

«В устойчивой экосистеме объемная масса биоценоза за счёт гомеостаза стремится к максимуму – к насыщенному состоянию» [4, с. 80].

С целью обеспечения устойчивости экосистем Большеротовым А.Л. была проведена интерпретация математических моделей теории устойчивости Ляпунова А.М., обеспечивающих решение поставленной задачи [4].

Дальнейшие исследования могут быть направлены на поиск новых подходов, альтернативных теории А.М. Ляпунова.

«Гомеостаз – состояние внутреннего динамического равновесия природной системы, поддерживаемое регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной саморегуляцией ее компонентов. Гомеостаз характерен и необходим для всех природных систем – от космических до организма и атома. Термин «гомеостаз» чаще всего употребляется для организменного (структурного) уровня организации» [19, с.101].

«Гомеостаз (от греч. homoios – тот же самый, похожий и греч. stasis – неподвижность, стояние), гомеостазис, способность организма или системы

организмов поддерживать устойчивое (динамическое) равновесие в изменяющихся условиях среды. Гомеостаз системы поддерживается, как правило, ее внутренними механизмами, в частности генетической структурой, метаболизмом, устойчивыми интегративными связями между ее компонентами (трофическими или вещественными и энергетическими взаимоотношениями) и т. п. Так, способность популяции адаптироваться к новым условиям окружающей среды зависит от степени ее гетерозиготности. Между последней и устойчивостью (эффективностью) адаптации существует прямая корреляционная связь. Популяции, обитающие в флюктуирующих условиях среды, характеризуются большей степенью гомеостаза, чем обитающие в стабильных условиях. Обратна пропорционально отношение между гомеостазом и энтропией. В оптимальных условиях экосистема (благодаря дыханию) всегда стремится к максимальной степени гомеостаза, т. е. к негэнтропии. Наиболее совершенен гомеостаз у млекопитающих.

Гомеостаз экосистемы, динамическое равновесие природной (экологической) системы, поддерживаемое регуляторным возобновлением основных ее компонентов и элементов и постоянной саморегуляцией во всех ее звеньях, применительно к живому (в т. ч. человеческому) организму. В экологии эта концепция развита Ф. Клементсом (1920, 1949).

Гомеостатический механизм, механизм саморегуляции, стремящийся восстановить состояние, существовавшее до возмущения или сдвига системы; механизм, осуществляющий обратную связь (по аналогии с инженерным термином «сервомеханизм») [22, с.77].

«Негэнтропия – величина, обратная энтропии – мера удаленности от состояния энергетического (физического) равновесия, стремление к неравномерности, флуктуационной упорядоченности распределения частиц, характеризующая возможность системы совершать работу. Негэнтропия увеличивается при возрастании организованности системы. Организм,

экосистема – очень сложно организованные системы, состоящие из множества подсистем, - обладают значительной негэнтропией» [19, с.301].

В статье [20] рассмотрена история теоретического изучения проблемы равновесия. «Равновесие понимается как способность объекта сохранять свое устойчивое положение в состояниях движения и покоя. Подчеркивается эвристический потенциал концепций равновесия для исследования онтологии устойчивости» [20, с.92].

«Сама способность тела сохранять свое устойчивое положение в состоянии как движения, так и [20, с.92] «покоя называется равновесием. В общем виде различают два вида равновесия — статическое (определяющее устойчивость неподвижного тела) и динамическое (теоретически фиксируемое у тела, движущегося с постоянной линейной или угловой скоростью). Кроме того, для характеристики равновесия также используется понятие устойчивости, когда речь идет о равновесии устойчивом, неустойчивом и безразличном» [20, с.93].

«Понятие равновесия становится одним из самых универсальных в корпусе современных наук. Оно приложимо к любой системе, от молекулярных соединений до общественных групп» [20, с.93].

«По мере усложнения представлений обо всех формах бытия равновесие не представляется однозначно решаемой проблемой фактически ни в одной области познания. Физике открываются неравновесные системы, устойчивость систем с большим числом степеней свободы, нелинейное развитие диссипативных систем и варианты рождения устойчивости из хаоса.

Биологи критически переосмысливают идеализацию образа природы как устойчивой системы, восстанавливающей баланс сил после любых катаклизмов, что, в свою очередь, внесло коррективы в экологическое мышление, допускающее саморазрушение экосистем и без участия человека.

Встает вопрос о возможности вообще выводить устойчивые закономерности на основе исследования изменчивого мира. И перспектива

видится в исследованиях характера изменений фундаментальных законов, теряющих объяснительную силу в связи с неумолимыми преобразованиями природы на всех уровнях её организации» [20, с.94, 95].

«Теория устойчивости учитывает законы организации элементов в функциональное целое. Устойчивое развитие возможно только в неоднородной сложной системе, состоящей из иерархии активных сред, когда между средами имеется система обратных связей, положительных и отрицательных. Познание должно взять мир опыта таким, каков он есть в действительности» [3].

Таким образом, **под устойчивостью биосферы можно понимать способность биосферы противостоять антропо- и техногенным воздействиям, которые стремятся вывести ее из состояния устойчивого динамического равновесия.**

Основная часть

«В традиционной биологической науке (биофизике, системном анализе биосистем) стационарные режимы биосистем описываются уравнением $dx/dt=0$ для вектора состояния системы $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$. Однако реальные биосистемы демонстрируют непрерывный хаос и $dx/dt \neq 0$ всегда. Поэтому предлагается два новых подхода в анализе устойчивости биосистем. Первый - в рамках компартментно-кластерного подхода, второй - в рамках анализа параметров квазиаттракторов поведения биосистем» [8, с.141].

Показывается [8, с.141], что второй подход предпочтителен, т.к. он универсален и используется для всех биомедицинских систем в прагматических целях при их описании (моделировании). Компартментно-кластерный подход может быть применён для реальных сложных биосистем. Стационарные режимы иерархических нейросетей представлены в [8].

Малиновский Ю.М. показал, что «автоколебательный механизм гомеостаза биосферы обусловлен периодической сменой стратификации вод по солености теплого океана на стратификацию вод по температуре

холодного океана и наоборот. Эти переходы порождают ритмокаскады межокеанского конвейера и глобальные изменения» [14, с.5].

«Проблема философской и общенаучной интерпретации гомеостаза остается дискуссионной вот уже 150 лет. Работы К. Бернера, У.Б. Кэннона и П.К. Анохина заполнили основы философии гомеостаза, но не обеспечили формальное описание этого состояния организма. В [6] раскрывается новое понимание хаоса, который в современной философии трактуется только как детерминированный хаос. Представлены прогнозы развития социумов и человечества будущего в аспекте анализа настоящего. Представлена расширенная трактовка гомеостаза в её историческом и смысловом развитии. Дается доказательство общности в динамике поведения отдельного организма и целого социума» [6, с.55].

По Еськову В.М. «гомеостаз не является термодинамически равновесным состоянием любой сложной биосистемы, однако, и более того, при этом гомеостаз не является, фактически, стационарным состоянием сложной биосистемы, т.к. постоянно все параметры такой биосистемы (находящейся в гомеостазе) непрерывно изменяются. Иными словами гомеостаз не является равновесным состоянием «complexity» (хаотических-самоорганизующихся синергетических систем) и это всё является парадоксальным и одновременно реальным состоянием любой сложной биологической динамической системы, обладающей синергетическими свойствами, а точнее, находящейся одновременно и в хаосе и в режиме самоорганизации» [10, с.87].

В работе [13] «рассматриваются трудности формализации описания биосферы и ее экосистем, существующие в математической экологии. В целях построения универсальных экосистемных моделей предлагается использовать такие фундаментальные свойства живых систем как аттрактивность, адаптивность, фрактальность, сетевая организация. Выявляется огромный диапазон возможностей моделей адаптивных сетей.

Указывается на сходство их структуры со структурой взаимосвязанных сетей организмов, процессов и циклов в экосистемах. Сетевые модели перекрывают широкий диапазон модельных представлений – от фундаментальных, механизменных до имитационных. Приводится краткое описание Концепции Адаптивной Самоорганизации сложных систем (КАС), позволяющей выйти на разрешение проблемы глобального кризиса биосферы. Предлагаются основы построения математических методов моделирования экосистем в методологии КАС».

Авторами [12] «предложены методы классификации и анализа сложноорганизованных экспериментальных данных на основе разработанного алгоритма обучения нейронных сетей. Алгоритм позволяет объединить методы кластеризации и классификации данных (и/или прогнозирования) в рамках единой нейронной сети. В результате возникает новый класс нейронных сетей, органично объединяющих в себе альтернативные методы обучения – супервизорные и несупервизорные. Показано, что предложенный метод дает возможность преодолеть проблему сильного различия векторов в центре и на границах внутри классов при высоком сходстве векторов соседних классов на границах между классами, затрудняющую классификацию данных. Задача решается с учетом дополнительной сложности, обусловленной высокой нелинейностью разделяющих гиперповерхностей между классами. Эффективность метода продемонстрирована на решении задачи оценки уровня антропогенного воздействия на оз. Шира (Россия) с использованием сложноорганизованных экспериментальных данных, которые получены авторами путем многолетнего мониторинга уровня устойчивости к антибиотикам у бактерий, населяющих эту экосистему».

Универсальный алгоритм обеспечения экологической безопасности включает совокупность действий и правил поддержания баланса в вещественно-энергетических и информационных взаимодействиях в

экологических системах всех уровней – от биогеоценозов (агро-, урбоценозов) до биосферы в целом [19, с.41, 42; 22, с.138];

Согласно Ожегову С.И. [18, с. 40] , баланс – «соотношение взаимно связанных показателей процесса». В данном случае – обмена веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях.

«В энергетическом отношении структурная информация сама по себе чрезвычайно «дешева». Ее обратная зависимость от температуры имеет скрытое универсальное значение и представляет самостоятельный интерес.

Сама по себе энтропия и тем самым неопределенность состояния системы может только возрастать, т.е. информация сама по себе может только утрачиваться. Только в открытых системах (с накачкой), отдающих энтропию, информация может приобретаться. Поэтому переработку информации можно рассматривать как некую частную разновидность самоорганизации» [1, с.49].

Следовательно, под **гомеостатическим механизмом устойчивости биосферы** можно понимать самосогласованное сохранение баланса в вещественно-энергетических и информационных взаимодействиях ее с обществом и техносферой.

Для сохранения устойчивости биосферы можно руководствоваться первым принципом общей теории обеспечения экологической безопасности [16]: «Степень обеспечения экологической безопасности ограничена временем и масштабом воздействий: кратковременное воздействие может быть относительно безопасным, а длительное – опасным, изменение в локальных рамках почти не приносящим вреда, а широкомасштабное – катастрофическим» (Реймерс Н.Ф., Милешко Л.П., Попова О.В.).

В соответствии с третьим принципом [16]: «Потери энергии на информационные взаимодействия незначительны и не нарушают баланс в экологических системах, но обеспечивают согласованное поведение подсистем (самоорганизацию), в результате чего возрастает степень

упорядоченности системы, т. е. уменьшается энтропия» (Милешко Л.П., Котенко В.В., Нестюрина Е.Е.) [17].

Выводы

Предложено определение понятия «устойчивость биосферы», которое можно применить для создания фундаментальной теории устойчивости биосферы.

Выдвинуто предположение о том, что для сохранения устойчивости биосферы необходимо поддерживать баланс в вещественно-энергетических и информационных взаимодействиях ее с обществом и техносферой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда.- М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. - 495 с.
2. Андреева Н.Д. Биология. 10-11 классы. - М.: Мнемозина, 2012. – 327 с.
3. Афанасенко И.Д. Теория устойчивости хозяйственных систем // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2012. - 4. - С. 7-17.
4. Большеротов А.Л. Научные основы и методология формирования системы оценки экологической безопасности урбанизированных территорий : Дис. ... док. тех. наук. - М.: 2012. - 334 с.
5. Бояркина Н.Н. Влияние развития техносферы на глобальную экологическую безопасность / Н.Н. Бояркина, Л.П. Милешко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – 1 (71). Режим доступа: <http://academygps.ru/1312/>
6. Буданов В.Г. Эволюция понятия гомеостаза в рамках трех парадигм: от организма человека к социумам и биосфере Земли / В.Г. Буданов, А.А. Хадарцев, О.Е. Филатова, Ю.М. Попов // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. - 2. - С. 55-64.
7. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: Наука, 1989. - 261 с.
8. Вохмина Ю.В. Стационарные режимы поведения сложных биосистем в рамках теории хаоса-самоорганизации / Ю.В. Вохмина, Л.М. Полухин, Л.М. Бикмухаметова, М.В. Тотчасова // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21. № 1. С. 141-144.
9. Демина Т.А. Экология, природопользование, охрана окружающей среды. М.: Аспект Пресс, 1995. - 143 с.
10. Еськов В.М. Физика и теория хаоса-самоорганизации в изучении живого и эволюции разумной жизни / В.М. Еськов // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2013. - 2. - С. 77-95.
11. Забалуева А.И. Обеспечение глобальной экологической безопасности как условие устойчивого развития биосферы / А.И. Забалуева, Л.П. Милешко, О. В.

Попова // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – 5(63). Режим доступа: <http://academygps.ru/ttb>.

12. Ланкин Ю.П. Нейросетевой анализ сложноорганизованных экологических данных / Ю.П. Ланкин, Т.Ф. Басканова, Т.И. Лобова // Современные проблемы науки и образования. 2012. - 4. - С. 127.

13. Ланкин Ю.П. Основы теории моделирования разнообразия экосистем биосферы на основе фундаментальных свойств живых систем / Ю.П. Ланкин, Н.С. Иванова, Т.Ф. Басканова // Современные проблемы науки и образования. 2012. - 1. - С. 191.

14. Малиновский Ю.М. Механизм гомеостаза биосферы как причина великих оледенений, массовых вымираний и периодичности осадко- и рудонакопления / Ю.М. Малиновский // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2009. - 1. - С. 5-10.

15. Милешко Л.П. Общая теория обеспечения экологической безопасности: монография. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2016. – 176 с.

16. Милешко Л.П. Модернизация общей теории обеспечения экологической безопасности / Л.П. Милешко // Управление экономическими системами. – 2018. – 6.

17. Милешко Л.П. Экологическая безопасность информационной среды и роль информационных взаимодействий в экологических системах / Л.П. Милешко, В.В. Котенко, Е.Е. Нестюрина // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2014. - 23 (23). - С. 259-263.

18. Ожегов С.И. Словарь русского языка / Под ред. Н.Ю. Шведовой. – М.: Рус. Яз., 1990. - 917 с.

19. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник.- М.: Мысль, 1990. - 637 с.

20. Руди А.Ш. Теория равновесия как механизма устойчивости / А.Ш. Руди // Омский научный вестник. 2012. – 3 (109). - С. 92-95.

21. Тюрина Т.А. Феноменологические аспекты экологической безопасности / Т.А. Тюрина, А.Е. Аствацатуров, М.А. Басилаиа // Вестник Пермского университета. 2015. - 3. - С.57-63.

22. Экологический энциклопедический словарь / И.И. Дедю.- К.: Гл. ред. МСЭ, 1989. - 408 с.

23. Экология и безопасность жизнедеятельности / Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева, О.С. Шорина, Н.Д. Эриашвили, Ю.Г. Юровицкий, В.А. Яковлев ; Под ред. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.

L. P. Mileshko

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

INTRODUCTION TO THE THEORY OF STABILITY OF THE BIOSPHERE

An analytical review of the results of work that can serve as the basis for the creation of the fundamental theory of stability of the biosphere is made. The definition of the concept of «stability of the biosphere» as the ability of the biosphere to resist anthropo - and man-made impacts, seeking to bring it out of a state of stable dynamic balance. It is assumed that in order

to maintain the stability of the biosphere, it is necessary to maintain a balance in its real-energy and information interactions with society and the technosphere.

Key words: global ecological safety, biosphere, biosphere stability, fundamental theory of biosphere stability, General theory of ecological safety.

Поступила в редакцию 27 июня 2018