



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBIRIAN FEDERAL UNIVERSITY

С. И. Барцев
О. Д. Барцева

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ
НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ
В БИОФИЗИКЕ:
ПРИЛОЖЕНИЕ
К ПРОБЛЕМЕ СТРУКТУРНО-
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СООТВЕТСТВИЯ

С. И. Барцев, О. Д. Барцева

**ЭВРИСТИЧЕСКИЕ
НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ В БИОФИЗИКЕ:
ПРИЛОЖЕНИЕ К ПРОБЛЕМЕ СТРУКТУРНО-
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СООТВЕТСТВИЯ**

Красноярск 2010

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет
Институт биофизики СО РАН

С. И. Барцев, О. Д. Барцева

**ЭВРИСТИЧЕСКИЕ
НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ В БИОФИЗИКЕ:
ПРИЛОЖЕНИЕ К ПРОБЛЕМЕ СТРУКТУРНО-
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СООТВЕТСТВИЯ**

Красноярск
СФУ 2010

УДК 577.3
ББК 28.071
Б24

Рецензенты: член-кор. РАН доктор физико-математических наук, директор Института биофизики СО РАН А.Г. Дегерменджи; доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией теории сложных систем Института химической физики им. Н.Н.Семенова РАН В.А.Аветисов

Барцев, С. И.

Б24 Эвристические нейросетевые модели в биофизике: приложение к проблеме структурно-функционального соответствия: монография / С. И. Барцев, О. Д. Барцева. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2010. – 115 с.

ISBN 978-5-7638-2080-5

В монографии рассмотрен ряд фундаментальных проблем биологии (структурно-функционального соответствия, уникальности, эквивиальности эволюционных исходов, возрастания сложности в эволюционном процессе и др.), для решения которых требуется высокий уровень обобщения, труднодостижимый при изучении реальных биологических систем. В качестве одного из способов работы с подобными сложными объектами предлагается феноменологическое (эвристическое) моделирование. В роли феноменологических модельных объектов рассматриваются нейронные сети. В работе вводятся и обсуждаются понятия функциональной симметрии и функционального инварианта структуры, позволяющие решить для нейронных сетей ряд вышеупомянутых проблем. Обсуждается соответствие полученных на нейронных сетях результатов данным по реальным биологическим системам и перспективы применения описанного подхода к этим системам.

Для студентов высших учебных заведений и аспирантов, обучающихся по направлениям и специальностям «Биофизика» и «Биология». Представляет интерес для ученых и специалистов в области биофизики, биологии и математического моделирования сложных систем.

УДК 577.3
ББК 28.071

© С.И. Барцев, О.Д. Барцева, 2010
© Сибирский федеральный университет, 2010

ISBN 978-5-7638-2080-5

ВВЕДЕНИЕ

Сразу предупредим читателя, что содержание этой книги является достаточно необычным. Дело в том, что ее трудно воспринимать как обычную научную монографию, поскольку объект исследования не существует в действительности и весьма абстрактен, но при этом в книге явно не хватает строгости монографий по математике. Книга не является научно-популярной, поскольку полное усвоение ее материала требует знакомства с математикой в пределах вузовского курса высшей математики. Ее нельзя назвать книгой по методике научного исследования, поскольку в ней продемонстрировано применение метода эвристического моделирования только к одному объекту и, кроме того, не проводится детальное обсуждение этого метода.

В то же время трудности в определении жанра книги не обязательно следует относить к ее недостаткам. Тема, которой книга посвящена, по своей природе находится на грани строгости и гипотетичности и может быть интересна и полезна читателям с очень разными интересами.

Название книги, по мнению авторов, достаточно точно отражает ее содержание, но оно требует развернутого комментария, поскольку почти все входящие в него термины не являются общеупотребительными или имеют различные толкования. К сожалению, смысл этих терминов нельзя передать в двух словах, поэтому значительная часть книги носит характер очень короткого введения в биофизику, эвристическое моделирование и нейронные сети.

Степень нашего непонимания живого видна по обилию связанных с ним проблем. К ключевым научным проблемам в исследовании жизни как явления природы относятся проблемы структурно-функционального соответствия биологических систем, уникальности биологических систем (и связанная с ней проблема воспроизводимости биологических экспериментов), эквивиальности эволюционных исходов, возрастания сложности в эволюционном процессе.

Подходы к этим проблемам зависят от того, к какому разделу научного знания относятся работающие с ними специалисты. Мы рассмотрим перечисленные проблемы с позиции биофизики и постараемся привлечь внимание исследователей к созвучному этой науке подходу. Этот подход, конечно, не решит все перечисленные проблемы, но, надеемся, он может предложить новый взгляд на эти проблемы или позволит дать толчок в новом направлении либо намек на какой-нибудь новый ход в исследованиях.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СПЕЦИФИКА БИОФИЗИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ. КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ.....	4
1.1. Определение биофизики.....	4
1.2. Способы описания биологических систем.....	7
1.3. Проблема структурно-функционального соответствия.....	10
1.4. Проблема эквивиальности.....	12
1.5. Проблема уникальности.....	13
1.6. Сложность и эволюция.....	14
2. ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: МОДЕЛИ-АНАЛОГИ И ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.....	17
2.1. Моделируемо ли живое на компьютере? О вычислимости жизни.....	17
2.2. Какие модели подходят для описания живых систем?.....	21
2.3. Что такое эвристический модельный объект?.....	23
2.4. Общая характеристика и статус эвристической модели.....	29
3. ВЫБОР ЭВРИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	31
3.1. Необходимые определения и формализмы.....	32
3.2. Нейронные сети в качестве феноменологической модели эволюционирующих систем.....	37
3.3. Постановка вычислительного эксперимента.....	43
3.4. Закономерности в структуре нейросетевых модельных объектов.....	47
4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ.....	57
4.1. Симметрия в понижении сложности описания систем.....	58
4.2. Локальная симметрия структур НМО, выполняющих одинаковые функции.....	60
4.3. Дискретная симметрия.....	62
5. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИММЕТРИЯ И РАССМАТРИВАЕМЫЕ ПРОБЛЕМЫ.....	64
5.1. Экспериментальная проверка эквивалентности структур НМО, выполняющих одинаковые функции.....	65
5.2. Симметрии структуры и эквивиальность эволюционных исходов... ..	72
5.3. Функционально-инвариантный подход к проблеме уникальности биологических систем.....	74
5.4. О применимости результатов к другим системам	78
6. СВОЙСТВА СЛОЖНОСТИ ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИХ СИСТЕМ..	80
6.1. Функциональная сложность.....	81
6.2. Абстрактная сложность функционирующей системы.....	85
6.3. Обобщения и гипотезы.....	90
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	96
ПРИЛОЖЕНИЕ Применение функционально-инвариантного подхода к построению подобных и редукции сложности моделей экосистем	105