

- мы, (1996) N 1.
- [2] Ю.Н. Иванов, В.В. Токарев, А.П. Уздемир. Математическое описание элементов экономики. - Москва., Наука, 1994.
- [3] Э.Д. Долан, Б.И. Домненко. Economics: Англо-русский словарь-справочник. - Москва., 1994.
- [4] Р.Х. Роббинс. Энциклопедия колдовства и демонологии. - Москва, 1994.
- [5] В.В. Величенко. О методе поля экстремалей в достаточных условиях оптимальности. ЖВМ и МФ, 14 (1974) N 1.
- [6] В.В. Величенко. Принципы и методы современной теории управления в задачах стабилизации и развития экономики. В книге: Новая парадигма социального развития России (под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова и В.К. Левашова). - Москва., 1996.

Проблемы моделирования сенсориума и языковой системы естественного интеллекта индивидуума

Г.С. Воронков, А.В. Чечкин

В статье предлагается строить математическую модель естественной нейронной системы на основе концепции интеллектуальной среды А.В. Чечкина. К такому выводу приводят результаты биологических исследований и семиотический подход Г.С. Воронкова к нейронной системе естественного интеллекта. Обсуждаются особенности моделирования сенсориума и языковой системы человека.

Естественный интеллект индивидуума - это интеллект одного человека или высшего животного. Такой интеллект определяется центральной нервной системой индивидуума. К настоящему времени биологические исследования нервной системы человека и различных видов животных достигли такого уровня, который позволяет начать построение математической модели естественного интеллекта индивидуума.

ИСХОДНЫЙ ТЕЗИС. Сенсориум и языковая система индивидуума устроены как ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СРЕДА [7]. Поэтому математическая модель должна иметь все особенности такой среды. Концепцию ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ разработал профессор Чечкин А.В. на механико-математическом факультете Московского университета [8]- [11].

Сначала изложим СЕМИОТИЧЕСКИЙ (МОДЕЛЬНЫЙ) ПОДХОД К НЕЙРОННЫМ СИСТЕМАМ естественного интеллекта индивидуума, разработанный на основе результатов биологических исследований доктором наук Воронковым Г.С. на биологическом факультете Московско-

го университета [1]-[6]. Затем выделим те нейронные структуры, которые определяют функциональные элементы ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ. В свою очередь для таких элементов на основе понятий МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ разработаны математические модели, которые позволяют начать систематическое построение математической МОДЕЛИ естественной НЕЙРОННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.

Результаты нейроморфологических, нейрофизиологических данных о структурной и функциональной организации нейронной системы естественного интеллекта индивидуума позволяют уверенно разделить ее на две параллельные нейронные системы, которые названы одна - СЕНСОРИУМОМ (совокупность сенсорных систем мозга от рецепторов до эффекторных структур), другая - ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМОЙ.

1 Моделирование сенсориума.

Общая идея подхода проста и, как мир, стара: "в мозгу имеет место образ мира - энграмма". Предполагается, что СЕНСОРИУМ есть система отображения части внешнего мира, семиотической моделью внешней предметной области. Элементами внешнего мира являются отдельные объекты, объекты с их отношениями (сцены), явления и события, происходящие во времени и пространстве. Внешний мир не хаотичен, он организован. Эта организация иерархична, многоуровневая, она существует объективно и эволюционирует. СЕНСОРИУМ тоже организован иерархически, соответствующим внешнему миру образом. По сути он является системой (СРЕДОЙ) моделей отображаемого мира, в которых отношения между элементами реализованы в связях между ними. СЕНСОРИУМ является НЕЙРОННОЙ системой, то есть, в качестве элементов в ней выступают НЕЙРОНЫ, но не субклеточные или молекулярные структуры. Связи и отношения между элементами реализуются в возбуждающих/тормозных взаимодействиях между НЕЙРОНАМИ. Ответствие нейронов сенсориума элементам внешнего мира реализуется и проявляется в селективном активировании нейронов при взаимодействии нейронной системы с воздействующими стимулами (элементами внешней среды). Эта селективность нейронов реагировать только на соответствующие им стимулы обеспечивается в основном специфическим

свойствами рецепторов и механизмами гетерогенной конвергенции процирующихся на этих нейронах восходящих сенсорных аксонов.

На первый взгляд, мир в своем многообразии форм и отношений кажется невообразимо сложным, чтобы быть представленным в виде математически реализованной модели. Однако, находясь на этом уровне рассуждения, следует заметить, что это впечатление полностью уравновешивается таким же сильным впечатлением, которое производит на исследователей огромное количество нейронов и невероятно сложно организованная сеть их отростков. Тем не менее, присутствие иерархической, строгой структурной и функциональной организации между нейронами в настоящее время не вызывает никаких сомнений. СЕМИОТИЧЕСКИЙ (МОДЕЛЬНЫЙ) подход есть по сути описание этой структурно-функциональной организации нейронов как нейронной системы моделирования мира. Нейроны выступают как материальные знаки (коды) объектов или их свойств, а отношения между нейронами, реализуемые через их связи, - как моделирующие отношения между объектами.

Кроме того, нейронная система имеет специфический аспект, так как помимо внешнего по отношению к организму мира она моделирует сам организм и его поведение. Внешний и внутренний мир организма является для нейронной системы всегда внешним миром, внешней предметной областью. Поэтому в дальнейшем будем говорить только о внешнем мире по отношению к нейронной системе. Чем выше уровень животного на эволюционной лестнице, тем сложнее организована его нейронная система (среда) моделей внешнего мира. Структурно это отражается прежде всего в количестве ее элементов и связей между ними и в количестве иерархически организованных синаптических уровней. У низших позвоночных, например, отсутствуют, по крайней мере, несколько синаптических уровней, представленных новой корой высших позвоночных, млекопитающих. функционально этому соответствуют большая сложность объективной и субъективной экспрессии нейронной системы у млекопитающих, то есть большая сложность внешне проявляемых форм поведения и внутренне проявляемых ощущений.

Сенсориум представляет собой множество "параллельных" сенсорных систем, сходящихся только на самых верхних синаптических уровнях. Биологические данные свидетельствуют о сходстве основных принципов структурной и функциональной организации (иерархия синаптических уровней, конвергенция афферентов и разнотипность основных

нейронов в прямых сенсорных путях, повышение селективных свойств основных нейронов по мере продвижения вверх по синаптическим уровням и ряд других) всех сенсорных систем. Наиболее сложные из них, например, зрительная, соматосенсорная, отличаются многоканальностью и по сути представляют собой много тесно связанных более простых систем. К примеру, зрительная система состоит из ахроматической и цветовой систем.



РИС. 1.

Ахроматическая система в свою очередь состоит из отдельных каналов, "обрабатывающих информацию" (только о каком-либо одном из параметров, например, движении или форме, характеризующих данную среду. Выделенному отдельно такому простому каналу можно уподобить в какой-то мере ОБОНЯТЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ, которая является в первом приближении ОДНОКАНАЛЬНОЙ системой, обрабатывающей информацию только об одном главном параметре - качестве

обы запаха. Действительно, запаховые объекты (пробы) не имеют временных, ни пространственных, связанных с движением и формой характеристик. Проба запаха имеет только один главный параметр, обрабатываемый непосредственно обонятельной системой. - качество, отнюдь не количество. На примере такой ОДНОКАНАЛЬНОЙ, ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СИСТЕМЫ, наиболее просто устроенной, но сохраняющей все основные общие принципы организации сенсорной системе представляется наиболее удобным продемонстрировать семиотический подход. ОДНОКАНАЛЬНАЯ ЭЛЕМЕНТАРНАЯ) СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА (ЭСС). Вся принципиальная архитектура связей, которая имеет место в ЭСС, имеется на первом синаптическом уровне в обонятельной системе. ЭСС есть по сути интерпретация связей (нейронных механизмов) этого первого синаптического уровня с точки зрения семиотического (модельного) подхода к интерпретации организации нейронных связей более высоких синаптических уровней, а также других сенсорных систем и мозга в целом. В ЭСС каждый иерархический уровень предметной области (внешней среды) представлен в основном соответствующим синаптическим уровнем (см. рис. (1)).

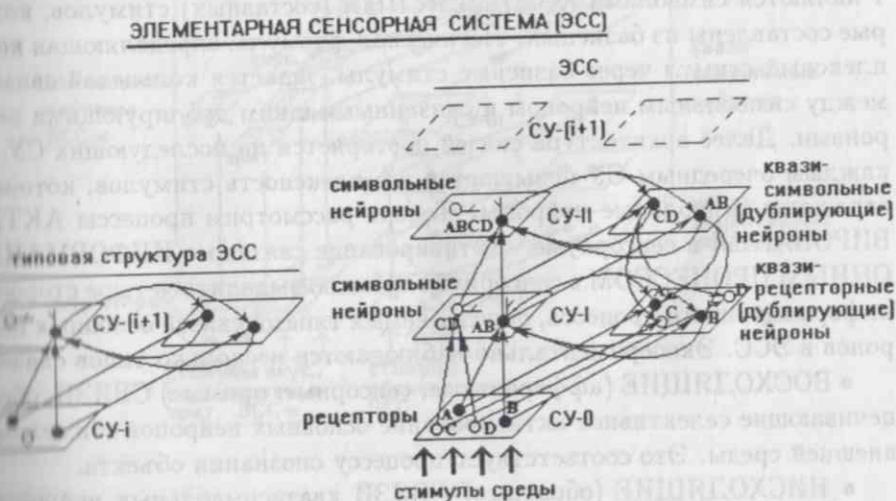


РИС. 2. Одноканальная сенсорная система

ЭСС организована по принципу вложенности (матрешки): вся архитектура связей ЭСС представляет собой повторение некоторой **ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ** (см. рис. (2)). Не вдаваясь в детали морфологической реализации этой схемы, остановимся на её принципиальных моментах. Каждая вложенность (типовая структура) располагается в двух последовательных синаптических уровнях, СУ-(i) и СУ-(i+1). Верхний СУ вложенности состоит из двух типов основных ("нейронных") нейронов. Это **СИМВОЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ**, на которых происходит конвергенция нескольких элементов (нейронов) предыдущего СУ, и **ДУБЛИРУЮЩИЕ (КВАЗИСИМВОЛЬНЫЕ) НЕЙРОНЫ**, которые однозначно соответствуют символическим нейронам предыдущего СУ, так как они связаны с последними по типу 1:1. Символьные и дублирующие нейроны СУ-(i+1) связаны кольцевыми связями, раскрывающими логическую формулу символического нейрона через его составляющие, есть через связанные с ним дублирующие нейроны.

В ЭСС рецепторы на СУ-0 выступают как символы **БАЗИСНЫХ** (разлагаемых в **МОДЕЛИ**) стимулов (свойств) внешней среды. Этим базисным стимулам соответствуют дублирующие нейроны на СУ-1, которые названы **КВАЗИРЕЦЕПТОРАМИ**. Символьные нейроны на СУ-1 являются символами **КОМПЛЕКСНЫХ** (составных) стимулов, которые составлены из базисных. Логическая формула, определяющая комплексный стимул через базисные стимулы, задается кольцевой связью между символическим нейроном и связанными с ним дублирующими нейронами. Далее архитектура связей повторяется на последующих СУ. На каждом очередном СУ повышается сложность стимулов, которые отражают символические нейроны. Теперь рассмотрим процессы **АКТИВИРОВАНИЯ** в сенсории. Активирование связано с **ИНФОРМАЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ** в сенсории. Можно выделить четыре стороны информационного процесса, определяемых типами связей основных нейронов в ЭСС. Экспериментально наблюдаются несколько типов связей:

- **ВОСХОДЯЩИЕ** (афферентные, сенсорные, прямые) **СВЯЗИ**, обеспечивающие селективное активирование основных нейронов стимулами внешней среды. Это соответствует процессу опознания объекта.
- **НИСХОДЯЩИЕ** (обратные) **СВЯЗИ** квазисимвольных нейронов, обеспечивающие воспроизведение составных частей картины объекта.
- **БОКОВЫЕ** (кольцевые) **СВЯЗИ** между символическими и квазисимвольными нейронами, обеспечивающие воспроизведение денотативного

мантического содержания символического нейрона.

- **АССОЦИАТИВНЫЕ СВЯЗИ** символических нейронов, обеспечивающие "подактивирование" (повышение возбудимости) других символических нейронов, в том числе в других по модальности ЭСС. Это соответствует процессу воспроизведения сигнификативного семантического содержания символического нейрона, что по сути есть также экстраполирование потенциально существующей картины (контекст ситуации).

- Экспериментальные данные указывают, что опознание обязательно сопровождается активностью "эмоциогенных" структур. Предполагается, поэтому, что символический нейрон высоких СУ имеет **ВЗАИМНЫЕ АССОЦИАТИВНЫЕ СВЯЗИ С ЛИМБИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**, где ему соответствует нейрон с определенным эмоциональным значением. Эмоциональная оценка необходима в разных видах деятельности нейронной системы, в том числе в процессе самообучения.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СЕНСОРИУМ (ЭС)

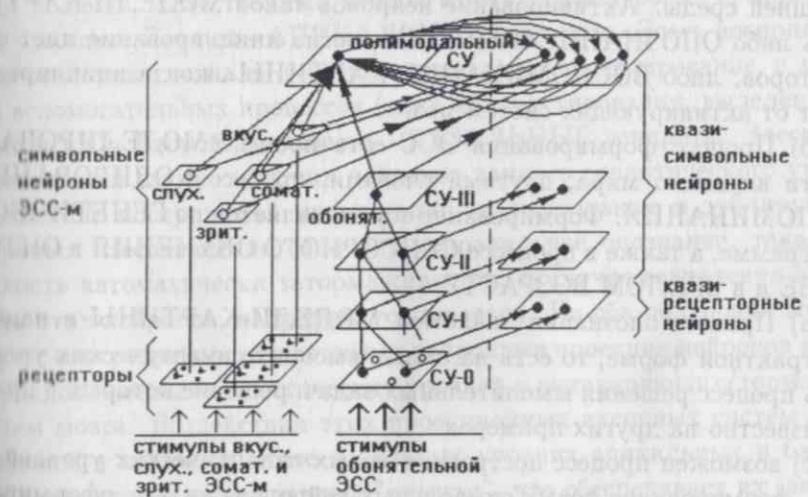


РИС. 3. Многоканальная сенсорная система

Здесь, в ЭСС, мы опускаем подробности описания реальных конвергентных (интеграционных) механизмов, обеспечивающих селективное

активирование символьных нейронов стимулами внешней среды [2], а также как и описания морфофизиологических механизмов, реализующих функции других выше названных связей основных нейронов. Отметим только, что главным в процессе селективного активирования является гетерогенная конвергенция символьных нейронов в прямом пути. Прямые и ассоциативные проекции нейронов (окончания их аксонов) различаются локализацией их на апикальных дендритах "принимательных" нейронов, а "боковые" и нисходящие связи опосредуются, как правило, вставочными (вспомогательными) нейронами [5]. Эти механизмы обеспечивают разные режимы работы основных нейронов. Объекты внешней среды являются, как правило, многокачественными и полимодальными по свойствам. Это отражено в многоканальности ряда сенсорных систем и в полимодальности сенсориума в целом (см. рис. (3)).

ВЫВОДЫ ПО СЕНСОРИУМУ.

а) Сформированная ЭСС из рецепторов и основных нейронов есть фактически МОДЕЛЬ-КАРТИНА части внешнего мира и одновременно ДОЛГОВРЕМЕННАЯ (жесткая) ПАМЯТЬ об этой познанный части внешней среды. Активирование нейронов такой МОДЕЛИ-КАРТИНЫ есть либо ОПОЗНАНИЕ КАРТИНЫ, когда инициирование идет от рецепторов, либо ВОСПОМИНАНИЕ КАРТИНЫ, когда инициирование идет от активирующих систем мозга.

б) Процесс формирования ЭСС есть процесс МОДЕЛИРОВАНИЯ части внешнего мира, другими словами, процесс КОДИРОВАНИЯ ЗАПОМИНАНИЯ. Формирование осуществляется по ГЕНЕТИЧЕСКОЙ программе, а также в процессе СЕНСОРНОГО ОБУЧЕНИЯ в ОНТОГЕНЕЗЕ и в ЗРЕЛОМ ВОЗРАСТЕ.

в) Процесс опознания знакомой МОДЕЛИ-КАРТИНЫ в наиболее абстрактной форме, то есть на самых высоких синаптических уровнях есть процесс решения мыслительных задач, решение которых в принципе известно на других примерах.

г) возможен процесс построения новых синаптических уровней ЭСС (т.е. формирование новых символьных нейронов) на базе сформированных уровней по типу СЕНСОРНОГО ОБУЧЕНИЯ, но иницируемое активирующими системами (т.е. на основе воспоминания, воспроизведения). Этот процесс соответствует образованию новых смыслов-понятий, т.е. ТВОРЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ. Дотраивание неполных "картин" на уже сформированных уровнях соответствует в таком случае участ

творческого начала в РЕШЕНИИ МЫСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ [6].
 д) ОПЕРАТИВНАЯ (КРАТКОВРЕМЕННАЯ) ПАМЯТЬ есть повышенная возбудимость, сохраняющаяся некоторое время у основных нейронов в ЭСС после их активирования. Существует несколько механизмов сохранения повышенной возбудимости: пресинаптический, постсинаптический и на уровне генома или метаболизма клетки. Эти механизмы обеспечивают разную длительность и разные свойства кратковременной памяти. Сущность кратковременной памяти состоит в более легкой идентификации знакомых сенсорных стимулов, предельно вливавшихся сравнительно недавно, и возможности их воспоминания-воспроизведения путем общего воздействия со стороны активирующих систем мозга (ретикулярной и других) на поля основных нейронов.

ЗАМЕЧАНИЕ. Нейрон в ЭСС очень сложен в сравнении с формальным нейроном, он обладает всеми свойствами реального нейрона. Дадим краткое описание морфофункциональной организации основного нейрона на первом синаптическом уровне в обонятельной системе и интерпретацию этой организации с точки зрения семиотического (модельного) подхода. Естественный нейрон имеет два подуровня организации своих входов. Первый - АПИКАЛЬНЫЕ дендриты. Здесь воспринимаются сенсорные сигналы и осуществляется их селектирование, а также ряд вспомогательных процессов (типа контрастирования, выделения из шума и т.д.). Второй подуровень - БАЗАЛЬНЫЕ дендриты. Здесь осуществляются взаимодействия нейронов данного синаптического уровня с сравнение поступившей информации на символьные и дублирующие нейроны. Несовпадение означает неправильное опознание, такая активность автоматически затормаживается. В случае совпадения активность этих нейронов, напротив, усиливается. На оба подуровня воздействуют опосредуемые вставочными нейронами проекции нейронов из выше расположенных синаптических уровней и активирующих/тормозных систем мозга. Воздействия этих проекционных аксонных систем локализованы в конечном итоге на разных уровнях апикальных и базальных дендритов и имеют разный "химизм", что обеспечивает их (воздействий) относительную автономность. Они могут, видимо, избирательно отключать отдельные участки дендритов и/или изменять возбудимость нейрона в целом с помощью нейромодуляторов. Дендриты обладают способностью генерировать и проводить потенциалы действия (ПД) в обоих направлениях. В отличие от быстрых натриевых ПД аксонов,

дендритные медленные ПД имеют кальциевую природу. Наряду с химическими синапсами между дендритами основных и вставочных нейронов имеются электрические синапсы, обеспечивающие быстрые взаимодействия нейронов. Дендритные деревья выполняют роль замков, ключами к которым являются лишь определенные распределения активности по дендритным ветвям.

Синаптическая организация нейронов сенсорных систем такова, что в принципе позволяет работать нейронной системе в режиме отключения определенных входов. Можно полагать поэтому, например, что в режиме воспоминания могут быть отключены сенсорные входы. Также могут быть избирательно отключены связи, обеспечивающие воспроизведение образа, и тогда символичные нейроны могут участвовать в операциях "информацией", не будучи отягощены участием в работе воспроизводящей системы. В частности такой режим работы, видимо, необходим в процессе мышления, связанного с оперированием абстрактными понятиями.

ОБОСНОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕНСОРИУМА.

Перейдем к обсуждению АНАЛОГИЙ между ЭЛЕМЕНТАРНЫМ СЕНСОРИУМОМ (ЭС) и ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СРЕДОЙ (ИСр). Это прояснит строение ЭС и позволит перенести приемы математического моделирования ИСр на сенсориум. Далее будем использовать понятие МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ [8].

1. ЭСС определяется своим ВХОДНЫМ ПОЛЕМ специфически рецепторов или квазирецепторов или квазисимвольных нейронов, активизирующимися своими СПЕЦИФИЧЕСКИМИ стимулами (базисными свойствами объектов). Те объекты, которые обладают такими специфическими свойствами очевидно образуют ОПОРНОЕ МНОЖЕСТВО X объектов внешней предметной области, характерное для данной ЭСС. Например, для обонятельной системы ОПОРНОЕ МНОЖЕСТВО X это все объекты, имеющие запахи. Отметим, что ОПОРНОЕ МНОЖЕСТВО для данной ЭСС определяется исключительно своим входным полем рецепторов или квазирецепторов или квазисимвольных нейронов, но специальным нейроном-символом в самой ЭСС не закодировано.

2. Входное поле рецепторов или входные квазирецепторные нейроны ЭСС определяют ШКАЛУ (базис) СВОЙСТВ (понятий) ШЛ, которая определяет БУЛЕВУ РЕШЕТКУ L СВОЙСТВ. Только из элементов

ШКАЛЫ образуются КОМПЛЕКСНЫЕ СТИМУЛЫ (свойства) путем конвергенции на символьных нейронах. Таким образом нейрон-символ кодирует элемент решетки l из L . При этом биологически реализуются операции КОНЪЮНКЦИЯ, ДИЗЪЮНКЦИЯ и ОТРИЦАНИЕ базисных стимулов. Отметим, что в ЭСС представлены символическими нейронами не все возможные элементы РЕШЕТКИ L , а только те, которые вызваны практикой ОБУЧЕНИЯ (формирования ЭСС).

3. Среди символических нейронов сенсорных систем экспериментально обнаружены и те, которые кодируют САМ ОБЪЕКТ, а не какое-либо свойство объекта. По-видимому, такие нейроны-символы обеспечивают функцию идентификации (фиксации) объекта для следящей за объектом двигательной системы. Например, поворота носа на объект или ушей, или глаз и т.д. Такие нейроны-символы можно назвать НЕЙРОНЫ-УКАЗАТЕЛИ. Ясно, что такой нейрон указывает на ЭЛЕМЕНТ ОПОРНОГО МНОЖЕСТВА x из X .

4. ЭСС может иметь среди рецепторов одного поля наборы ОДНОТИПНЫХ рецепторов для ОДНОГО И ТОГО ЖЕ ПРОСТОГО СТИМУЛА. Каждый рецептор представляет собой БИНАРНЫЙ ДАТЧИК простого стимула (свойства). Если ЭСС имеет для каждого простого стимула по одному рецептору или по одному входному квазирецептору, то про всякое простое свойство объекта ЭСС имеет ответ ДА или НЕТ (ИСТИНА или ЛОЖЬ). Если ЭСС имеет для каждого простого свойства НАБОР (более двух) рецепторов, то про всякое простое свойство ЭСС может иметь не только ответ ДА или НЕТ, но и ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ. Другими словами, набор однотипных рецепторов образует НАБОР БИНАРНЫХ ДАТЧИКОВ, который определяет ГЕЙТИНГОВУ РЕШЕТКУ ДОСТОВЕРНОСТЕЙ P .

5. СЕНСОРИУМ имеет все типы структурных единиц ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕД [7]-[11]: - Когда в ЭС происходит активизация сети только из НЕЙРОНОВ УКАЗАТЕЛЕЙ, то есть из нейронов-символов отдельных объектов и отношений между ними, тогда мы имеем дело с активным ОПОРНЫМ РАДИКАЛОМ.

Когда в сенсориуме происходит сначала активизация НЕЙРОНА-УКАЗАТЕЛЯ какого-либо объекта, а затем (по нисходящим путям) активизация НЕЙРОНОВ-КВАЗИСИМВОЛОВ, которые кодируют свойства этого объекта, тогда мы имеем дело с ТЕРМИНАЛЬНЫМ РАДИКАЛОМ типа ДАТЧИКА. Если же в сенсориуме происходит сначала активизация

ция НЕЙРОНОВ-СИМВОЛОВ свойств некоторого объекта, а затем (по восходящим путям) НЕЙРОНА-УКАЗАТЕЛЯ этого объекта, то мы имеем дело с ТЕРМИНАЛЬНЫМ РАДИКАЛОМ типа ИСПОЛНИТЕЛЯ.

- Когда в сенсориуме активизируется сразу и НЕЙРОН-УКАЗАТЕЛЬ некоторого объекта и НЕЙРОНЫ-СИМВОЛЫ свойств этого объекта, тогда мы имеем дело с активным УЛЬТРА РАДИКАЛОМ в форме ДАННЫХ об объекте из ЛОКАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ (УЛЬТРА МНОЖЕСТВА). Причем в случае ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ДАННЫХ достоверность каждого свойства максимальная (максимальная возбудимость соответствующего нейрона-символа). В случае НЕЭЛЕМЕНТАРНЫХ ДАННЫХ достоверность каждого свойства может быть не максимальной, а промежуточной.

- Когда в ЭС активизируется сначала группа нейронов-символов, являющаяся ДАННЫМИ об одном объекте, а затем (по ассоциативным связям) активизация передается к другой группе нейронов-символов, являющихся тоже ДАННЫМИ об одном объекте (возможно о том же самом), тогда мы имеем дело с активным УЛЬТРА РАДИКАЛОМ в форме преобразователя данных (УЛЬТРАОПЕРАТОРА).

6. Одни и те же НЕЙРОНЫ-СИМВОЛЫ участвуют в различных РАДИКАЛАХ. Типы РАДИКАЛОВ определяются динамикой активизации НЕЙРОНОВСИМВОЛОВ. Тем самым АКТИВИРУЮЩАЯ СИСТЕМА МОЗГА определяет процесс подключения радикалов в РАБОЧУЮ СЕТЬ, то есть процесс САМООРГАНИЗАЦИИ ИСР при решении интеллектуальных задач.

7. Математической моделью ЭЛЕМЕНТАРНОГО СЕНСОРИУМА может служить МЕТАСЕТЬ, разработанная для моделирования ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ. При этом РАБОЧАЯ СЕТЬ МЕТАСЕТИ описывает процесс АКТИВИРОВАНИЯ СЕНСОРИУМА, то есть ВОСПРИЯТИЯ или ВОСПОМИНАНИЯ КАРТИНЫ внешнего мира. В статье, посвященной интеллектуальным системам, невозможно обойтись без широко принятых терминов в отношении "информации". В токовании этих терминов авторы исходят из общего для обоих подходов (нейрофизиологического и математического, излагаемых в статье) внимания "преобразования=обработки информации" в рассматриваемых интеллектуальных системах как преобразования семиотических моделей (нейронной и математической соответственно), которыми они по сути являются.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Исходная функция языковой системы - это ВЕРБАЛИЗАЦИЯ процессов в СЕНСОРИУМЕ человека для целей КОММУНИКАЦИИ, то есть "передачи информации" от одного индивидуума к другому с помощью речи. Другими функциями языковой системы, как и в сенсориуме, являются МОДЕЛИРОВАНИЕ, "ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ" и "ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ" (решение интеллектуальных задач).

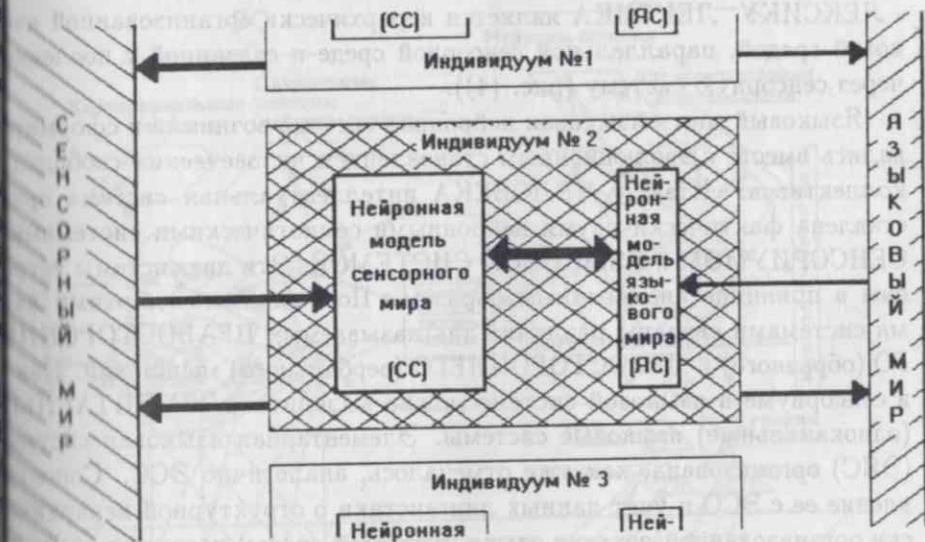


РИС. 4.

Полное развитие языковой системы у человека, по-видимому, было обусловлено высокой эффективностью объединения с помощью языка СЕНСОРИУМОВ отдельных особей в единую распределенную нейронную систему КОЛЛЕКТИВА особей. В объединенной с помощью языка системе существенно быстрее шли не только процессы обучения, передачи данных и знаний в рамках языковой системы, но и процесс формиро-

вания и обогащения (развития) самой сенсорной нейронной системы (счет тесной связи сенсорiums с языковой системой). Объединенная нейронная система КОЛЛЕКТИВА способна решать БЫСТРЕЕ и, главное, БОЛЕЕ СЛОЖНЫЕ интеллектуальные задачи, путем РАСПАРАЛЛеливания и СПЕЦИАЛИЗАЦИИ. ИСХОДНЫЙ ТЕЗИС [4]. ЯЗЫКОВАЯ СИСТЕМА возникла видимо путем расщепления СЕНСориума и таким образом является морфологически и функционально тождественной сенсорному, родственной ему, тесно с ним связанной. В силу этого языковая система использует все эволюционные достижения сенсорiums в плане нейронных механизмов обработки и оперирования информацией. Языковая нейронная система человека устроена ТИПОВОЙ СТРУКТУРОЙ как и сенсорная, иерархически; она является ТОЖЕ нейронно-семиотической системой, но отражающей свой языковой внешний мир - ЛЕКСИКУ. ЛЕКСИКА является иерархически организованной языковой средой, параллельной сенсорной среде и связанной с последней через сенсорную систему (рис. (4)).

Языковой мир и языковая нейронная система возникли и сформировались вместе с эволюционным становлением человеческих сообществ - коллективов. Итак, у ЧЕЛОВЕКА интеллектуальная система представлена фактически двумя нейронными семиотическими системами: СЕНСориумом и ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМОЙ. Эти две системы устроены в принципе аналогичным образом. По-видимому, с этими двумя системами связаны различия так называемых ПРАВостороннего (образного) и ЛЕВОСТороннего (вербального) мышлений. Как в сенсорiums в языковой системе можно выделить ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ (одноканальные) языковые системы. Элементарная языковая система (ЭЯС) организована, как уже отмечалось, аналогично ЭСС. Сопоставление ее с ЭСС и учет данных лингвистики о структурной иерархически организованной лексике языка (языковой среде) позволил представить ее схему в следующем виде (см. рис.(5)).

Не останавливаясь в деталях на этой схеме [4, 6, 7], следует отметить, что рецепторному уровню ЭСС соответствует в ЭЯС уровень базисных ("рецепторных") нейронов-слов. Как и в ЭСС, "рецепторные" элементы ЭЯС (нейроны-слова) проецируются на два поля основных нейронов следующего синаптического уровня - на поле нейронов-понятий и поле квазирецепторных нейронов-слов. Нейроны-понятия, подобно символическим нейронам в ЭСС, являются конвергенцией нейронов-слов и раскрывают

свое прямое семантическое содержание (денотат) путем "боковой" проекции на соответствующие квазирецепторные нейроны-слова и свое "ассоциативное" семантическое содержание (сигнификат) путем ассоциативной проекции "веточки связей" на другие нейроны-понятия своего и других синаптических уровней. Поскольку в сформированной ЭЯС базисные понятия, как правило, поименованы, обозначены словами, которые тоже, как и базисные слова-понятия, представлены рецепторными нейронами-словами, большая часть нейронов-слов проецируется на нейроны-понятия по типу 1:1, то есть так же, как и на квазирецепторные нейроны-слова, без гетерогенной конвергенции (см. рис. (5)):

Элементарный сенсорiums (ЭС) и языковая (ЭЯС) системы

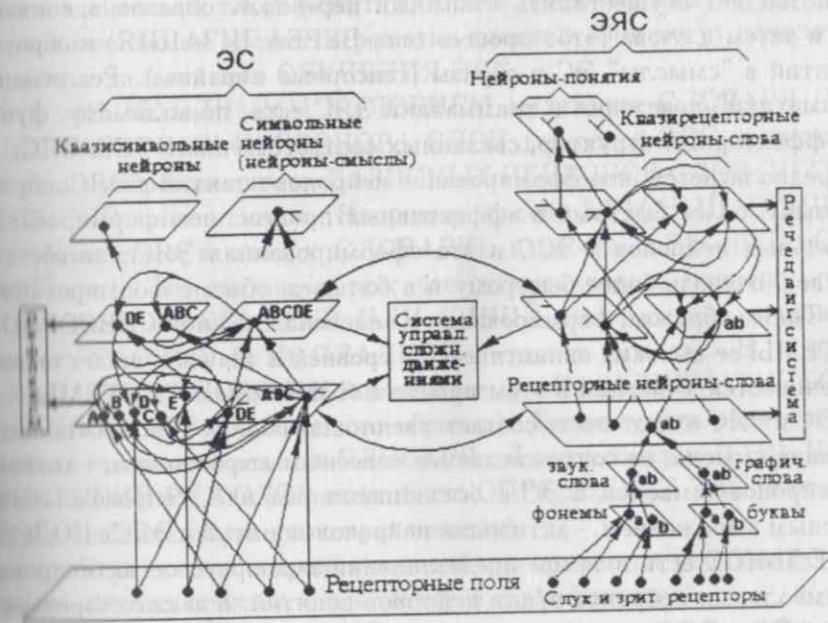


РИС. 5

описание, однако, часть нейронов-понятий, "кодирующих" устойчивые словосочетания, получает конвергирующие проекции от рецепторных нейронов-слов. Далее по типу повторения ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ устроены следующие синаптические уровни ЭЯС. Отметим так же, что ней-

ронам, служащим указателями в ЭСС, соответствуют в ЭЯС нейроны понятия индивидуального объекта. Это СОБСТВЕННЫЕ ИМЕНА, сочетания с УКАЗАТЕЛЬНЫМИ местоимениями и т.п. Обе системы ЭС и ЭЯС, имеют собственные эффекторные (управляющие движениями) системы - соответственно управляющие мускулатурой тела и мускулатурой речевого аппарата. ЭС реализует через свою двигательную систему разного рода поведение (в том числе коммуникативное), тогда как ЭЯС реализует через свою двигательную систему главным образом коммуникативную функцию (и в меньшей мере ЭЯС связана со структурами управляющими сложным поведением). Соответствующие друг другу символьные нейроны ЭС (названные также нейронами-смыслами) и нейроны-понятия ЭЯС взаимосвязаны через активизирующие проекции. Это позволяет осуществлять взаимный перевод образов в понятия ЭЯС и затем в слова (этот процесс есть ВЕРБАЛИЗАЦИЯ) и обратно - понятий в "смыслы" ЭС и образы (сенсорные картины). Реализация "грамматики" поведения и грамматики ЭЯС есть, по-видимому, функция эффекторных структур, связанных соответственно с ЭС и ЭЯС.

Предполагается, что формирование нейронов-понятий в ЭЯС, обучение языку, более быстрый и эффективный процесс, чем формирование символьных нейронов в ЭСС и что сформированная ЭЯС способнее в свою очередь более быстрому и в большем объеме формированию ЭСС. Таким образом, формирование у человека сложной СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ее высоких синаптических уровней в значительной степени обеспечивается участием в этом процессе ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМЫ.

В ЭС и ЭЯС имеют место соответственно два рода осознания = понимания осознание смысла, не сопровождаемое совесным выражением, - активация нейронов-символов в ЭС и осознание-понимание, сопровождаемое словесным выражением, - активация нейронов-понятий в ЭЯС. ПОДСОЗНАТЕЛЬНОЕ есть в таком представлении подпороговое активирование символьных нейронов и/или нейронов-понятий, а также созревание связей в ЭС и ЭЯС при обучении и мыслительной творческой деятельности. Процесс мышления протекает в каждой из систем, в СЕНСОРНОМ РИУМЕ и в ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМЕ. Правостороннее и левостороннее мышление определяется доминированием (другими словами - локализацией иницирующего начала в) СЕНСОРНОЙ или ЯЗЫКОВОЙ системе соответственно. Решение мыслительных задач сводится к опознанию к воспроизведению полной картины по ее части, если решение в при-

решении знакомо путем активизации, "просмотра" разных частей модели. Истинно творческим моментом в решении мыслительных задач в обеих системах (ЭСС и ЭЯС) является ДОСТРАИВАНИЕ модели путем подключения к ней новых символьных нейронов. Последнее есть фактически ОБУЧЕНИЕ, то есть введение (образование) новых смыслов и/или понятий [6].

ОБОСНОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМЫ.

1. Каждая ЭЯС определяется своими входными БАЗИСНЫМИ понятиями (нейронами-словами). В совокупности эти нейроны-слова образуют СЛОВАРЬ (ШКАЛУ) некоторой решетки понятий. В свою очередь нейроны-понятия образуют решетку понятий: нейроны-понятия являются элементами такой решетки. Среди нейронов-понятий могут быть все возможные элементы решетки понятий. Они могут появляться в процессе дальнейшего ОБУЧЕНИЯ ЭЯС.

2. НЕОБХОДИМЫМ УСЛОВИЕМ выделения СЛОВАРЯ (ШКАЛЫ) БАЗИСНЫХ НЕЙРОНОВ - СЛОВ для одной ЭЯС является возможность образовывать из БАЗИСНЫХ НЕЙРОНОВ-СЛОВ ДИЗЬЮНКТИВНУЮ конвергенцию. Например, слова: КРАСНЫЙ, СИНИЙ могут относиться к одному СЛОВАРЮ, а слова: КРАСНЫЙ, СЛАДКИЙ нет. Это связано с тем, что дизьюнктивное понятие, то есть словосочетание КРАСНЫЙ ИЛИ СИНИЙ имеет смысл, а словосочетание КРАСНЫЙ ИЛИ СЛАДКИЙ не имеет смысла. В лингвистике это свойство определяет так называемую ПАРАДИГМАТИЧЕСКУЮ ГРУППУ СЛОВ (слова одного образца). Такая группа образует слова одного узконаправленного СЛОВАРЯ. Таким образом ПАРАДИГМАТИЧЕСКИЙ РЯД СЛОВ однозначно ОПРЕДЕЛЯЕТ ЭЯС (элементарную одноканальную языковую систему).

3. Через связи нейронов-понятий раскрывается семантическое содержание этих понятий - денотатное и сигнификатное.

4. ДЕНОТАТНЫЕ СВЯЗИ между основными нейронами-понятиями и соответствующими дублирующими нейронами-понятиями одного СУЭЯС раскрывают ДЕНОТАТИВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ составного понятия через его части.

5. Связи между нейронами-понятиями различных ЭЯС раскрывают СИГНИФИКАТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ этих понятий. В лингвистике это соответствует ОБРАЗУ (ПРАФРЕЙМУ) ПОНЯТИЙ.

6. Предполагается, как мы уже говорили, что ПЕРВОПРИЧИНОЙ образования ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМЫ, являясь ВЕРБАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ сенсориума. Модели сенсорной системы будем называть МОДЕЛИ-КАРТИНЫ. Предполагается, что в ЭЯС имеются ПРОСТЕЙШИЕ законченные смысловые языковые конструкции ОПИСАТЕЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ, являющиеся ВЕРБАЛЬНЫМИ АНАЛОГАМИ простейших МОДЕЛЕЙ-КАРТИН сенсориума. ТЕКСТ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА (ЕЯ) из таких предложений является ВЕРБАЛЬНЫМ АНАЛОГОМ более сложной МОДЕЛИ-КАРТИНЫ сенсорной системы. Будем называть такие тексты ЕЯ, в отличие от других текстов НАГЛЯДНЫМИ ТЕКСТАМИ ЕЯ. Таким образом в нервной системе (ЭС+ЭЯС) человека происходят процессы, которые кратко можно охарактеризовать формулой

НАГЛЯДНЫЙ ТЕКСТ → МОДЕЛЬ-КАРТИНА → НАГЛЯДНЫЙ ТЕКСТ.

Когда человек воспринимает НАГЛЯДНЫЙ ТЕКСТ, то в языковой системе активируется сеть соответствующих нейронов-понятий возможно из разных ЭЯС с возможным использованием сигнификатных, денотатных семантических связей нейронов - понятий. НАГЛЯДНЫЕ ТЕКСТЫ ЕЯ обладают главной особенностью, НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ связью с соответствующими МОДЕЛЯМИ-КАРТИНАМИ СЕНСОРИУМА. Тем самым восприятие наглядных текстов в ЭЯС вызывает активизацию соответствующей сети нейронов-символов СЕНСОРИУМА. Через сенсориум, в свою очередь, это вызывает яркое эмоциональное, образное восприятие наглядных текстов в форме МОДЕЛИ-КАРТИНЫ. Имеет место и обратный процесс, когда воздействие внешнего мира вызывает активирование МОДЕЛИ-КАРТИНЫ, то есть соответствующей сети нейронов-символов СЕНСОРИУМА, как правило, вместе с эмоциональной окраской. После чего активируется соответствующая сеть нейронов-понятий ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМЫ. Это соответствует появлению НАГЛЯДНОГО ТЕКСТА ЕЯ, описывающего соответствующую КАРТИНУ ВНЕШНЕГО МИРА. Таким образом НАГЛЯДНЫЕ ТЕКСТЫ - это ВЕРБАЛЬНОЕ ОТРАЖЕНИЕ внешнего реального или воображаемого мира человека.

7. Всякий НАГЛЯДНЫЙ ТЕКСТ, так же как и любой ТЕКСТ ЕЯ соответствует части ЯЗЫКОВОЙ СИСТЕМЫ. Так как НАГЛЯДНЫЙ ТЕКСТ отражает определенную МОДЕЛЬ-КАРТИНУ сенсориума, то

математическая модель НАГЛЯДНОГО ТЕКСТА будет математической моделью этой МОДЕЛИ-КАРТИНЫ. Тем самым с точки зрения идеи ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕД [7-11] математическая модель НАГЛЯДНОГО ТЕКСТА такая же, как и математическая модель соответствующей части СЕНСОРИУМА, то есть МЕТАСЕТЬ. При этом РАБОЧАЯ СЕТЬ (АКТИВНАЯ ЧАСТЬ) МЕТАСЕТИ, описывающая активную часть сенсориума, моделирует процесс ВОСПРИЯТИЯ НАГЛЯДНОГО ТЕКСТА человеком или процесс СИНТЕЗА НАГЛЯДНОГО ТЕКСТА человеком.

8. Математической моделью любого ПОВЕСТВОВАТЕЛЬНОГО ТЕКСТА ЕЯ является МЕТАСЕТЬ. Отличие от НАГЛЯДНОГО ТЕКСТА только в том, что произвольный текст не имеет соответствия с некоторой МОДЕЛЬЮ-КАРТИНОЙ СЕНСОРИУМА. Поэтому НЕНАГЛЯДНЫЙ ТЕКСТ не имеет образности и непосредственной эмоциональной окраски текста.

Список литературы

- 1) Воронков Г.С. К анализу принципов кодирования в сенсорных системах. Биологические науки. Деп. ВИНТИ. 2144-В88. М.: 1988, 39.
- 2) Воронков Г.С. Сенсорная система как нейронная семиотическая модель адекватной среды. Сравнительная физиология высшей нервной деятельности человека и животных (ред. В.В. Шульговский). М.: Наука, 1990. 9-21.
- 3) Воронков Г.С. Модельный подход как новая парадигма в теории связи в сенсорных системах. Вестник моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1, 1993. 3-10.
- 4) Воронков Г.С. Языковая и сенсорная системы: некоторые параллели в принципах нейронной организации двух семиотических систем. Вестник моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1, 1994. 3-10.
- 5) Воронков Г.С. Нейроморфология обонятельных путей млекопитающих. Ж. эвол. биохим. и физиол., 30(3), 1994, 432-454.

- [6] Воронков Г.С., Рабинович З.Т. *Сенсорная и языковая системы - две формы представления знаний*. Новости искусственного интеллекта 2, 1993, 116-124.
- [7] Воронков Г.С., Чечкин А.В. *Нейронные семиотические системы как интеллектуальные среды*. КИИ-96 - пятая национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект - 96" Казань, 5-11 октября 1996. Сборник научных трудов трех томов Казань 1996. том 1, 26-35.
- [8] Чечкин А.В. *Математическая информатика*. М.: Наука, 1991, 412.
- [9] Чечкин А.В. *Ультрамедиа - новое направление в развитии искусственного интеллекта*. Журнал. Интеллектуальные системы. М. 1996, 73-80.
- [10] Alexander V. Chechkin *Ultramedia - the new type of intellectual systems*. Tenth International Conference on Mathematical and Computer Modelling and Scientific Computing, 5-8 July, 1995. Boston, USA.
- [11] Alexander V. Chechkin *Self-organization and selfteaching in intellectual medium*. International Conference on SelfOrganization on Complex Structures. 24-28 september. 1995, Berlin. Germany.

О моделировании быстрых интеллектуальных процессов обыденного мышления *

О.П. Кузнецов

1 Введение

Современные подходы искусственного интеллекта, основанные на компьютерной парадигме, т.е. на алгоритмической обработке символьных данных, постепенно исчерпывают свои возможности. Зайдя в тупик непреодолимых вычислительных сложностей, они так и не сумели раскрыть тайну высокой эффективности медленного мозга, т.е. его умения несмотря на крайне низкую по сравнению с ЭВМ скорость процессов в нервных сетях - решать некоторые сложные интеллектуальные задачи (узнавание, ориентирование в реальных ситуациях, речевое поведение и т.д.) гораздо быстрее, чем это делают компьютерные методы. Такая эффективность мозга, проявляющаяся прежде всего в ситуациях обыденного мышления, свидетельствует о том, что организация информационных структур и процессов обыденного мышления существенно отличается от организации компьютерных процедур. Исследование этих особенностей и создание на их основе информационных моделей могло бы, на наш взгляд, значительно расширить возможности интеллектуальных систем и повысить их эффективность.

Такие исследования естественно проводить "снизу", на уровне микроструктур, строя различные модели "некомпьютерных" представлений информации и их обработки в нейронных сетях. Здесь будет описаны из возможных подходов к построению таких моделей, названный

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-01-00819).