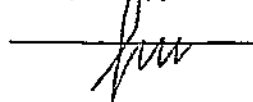


109

На правах рукописи



ШЕХТЕР Леонид Маркович

**ЗРИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ
КАТЕГОРИАЛЬНЫХ СТРУКТУР**

Специальность 19.00.02 – «Психофизиология»
(психологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата психологических наук

Ростов-на-Дону

2004

Работа выполнена на кафедре психофизиологии факультета психологии
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

- Научный руководитель -** доктор психологических наук, профессор
Измайлов Чингиз Абильфазович
- Официальные оппоненты:** доктор психологических наук, профессор
Кирой Валерий Николаевич;
кандидат психологических наук, старший
научный сотрудник Потапова Аля
Яковлевна
- Ведущая организация -** Институт Психологии
Российской Академии Наук

Защита состоится 16 апреля 2004 года в 15 часов на заседании диссертационного совета Д-212.208.04 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата психологических наук в Ростовском государственном университете по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пр. М.Нагибина, 13, факультет психологии, ауд.222.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ростовского государственного университета по адресу: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 148.

Автореферат разослан 14 марта 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат психологических наук,
доцент



А.И.Тащёва

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одной из центральных проблем когнитивной психологии является проблема формирования категориальных структур в процессе переработки как образной, так и вербальной информации.

Категоризация образов является важнейшей информационной характеристикой зрительного восприятия. Она позволяет человеку (и животным) организовать наиболее эффективно (то есть, с необходимой полнотой и минимальными затратами) работу в зрительном поле. Кроме того, зрительная категоризация – это частный случай категоризации /И.Хофман,1986; Дж. Брунер,1977; У.Найссер,1981; R.Nosofsky,1988; J.Anderson,1991; F.Ashby,1989/, поскольку и память, и мышление, и речь являются категориальными процессами. Следовательно, изучение механизмов зрительной категоризации позволяет получить данные, применимые и в других областях психологии.

Одним из основных вопросов, связанных с формированием категорий, является вопрос об их трансформации в процессе развития. На основании классических исследований констатируется, что одним из фундаментальных принципов умственного развития в целом, и перцептивного в частности, является путь формирования структуры «от общего к частному», состоящий в постепенной, все более точной и дифференцированной идентификации объектов окружающего мира /Л.С.Выготский,1956; Ж.Пиаже,1969; В.В. Давыдов, 1972/. Утверждается /Дж. Брунер,1977; У.Найссер,1981/, что первичная категоризация заключается в выделении объекта из окружающего мира и приписывании ему наиболее общих характеристик, типа: «предмет», «звук» и т.д. Последующие этапы категоризации могут быть связаны с постепенным сужением, последовательным ограничением категорий, к которым относится объект, то есть с более точной его идентификацией. Таким образом, постулируется, что категориальные когнитивные структуры формируются от «общего» к «частному», по пути конкретизации и сужения. Эта точка зрения подтверждена обильным фактическим материалом психологии развития /Е.А.Сергиенко, 1998, 2002;/.

Не ставя под сомнение принцип дифференциации в когнитивном развитии, некоторые исследователи /E.Rosch,1977/ утверждают, что такой путь не единственен: возможен и обратный - «от частного к общему», то есть интеграция - переход от отдельного и дифференцированного к целостному и нерасчлененному. «Процессы дифференциации, где бы они ни происходили, неотрывны от процессов интеграции» /Н.И.Чуприкова, 1997, с. 10/.

Как соотносятся прямо противоположные когнитивные тенденции в процессе обучения? Идея *цикличности* стадий дифференциации и интеграции в процессе развития /Б.Ф.Ломов,1966; Л.М.Веккер,1976/ является основной теоретической базой настоящей работы.

Закономерность стадий формирования зрительных семантических категорий предполагает наличие базовых механизмов, «задающих» правила, по которым разворачивается категориальный процесс. Традиционной является

точка зрения, соотносящая этот процесс с особенностями высших психических функций, а именно с мышлением и речью. Другое предположение состоит в том, что особенности семантической категоризации задаются свойствами нейронных сетей, обеспечивающих зрительное восприятие.

Цели исследования:

1. Изучение формирования образных и семантических зрительных категорий на разных стадиях обученности.

2. Определение принципиальных особенностей процессов категоризации, независимых от типа усваиваемого материала.

3. Выявление роли узловых нейронных механизмов зрительного восприятия в детерминации принципов зрительной категоризации.

Предметом исследования являются психофизиологические особенности зрительных механизмов формирования категориальных структур.

Рабочая гипотеза.

Предполагается, что развитие категориальных структур индивидуального сознания представляет собой циклический процесс. На этапе первичной стимуляции обнаруживаются наиболее явные и очевидные различия между стимулами, на основании чего формируются изолированные классы. Стимулы из одного и того же класса либо совсем не различаются, либо различия между ними не упорядочены (слабая топология). По мере обнаружения новых признаков происходит дифференциация стимулов по принципу упорядочения конкретных, частных различий между ними, что приводит к «растягиванию» и расширению границ первоначальных классов, то есть формированию более сильных топологических свойств категориального пространства. Затем, как следствие более глубокого анализа и последующего обобщения обнаруженных новых признаков, стимулы вновь структурируются в классы, но уже в новом, более сильном топологическом пространстве. В дальнейшем, по мере углубления знания и освоения стимульного материала, цикл «обобщение-дифференциация-обобщение» повторяется на новом этапе и т.д.

Предполагается также, что особенности процессов категоризации не случайны, а задаются свойствами нейронных сетей, опосредующих эти процессы.

Задачи исследования:

1. Получить экспериментальные данные по различению искусственных цветовых названий при обучении испытуемых искусственному языку.

2. Построить субъективные пространства, в обобщенном виде отражающие особенности категоризации на разных стадиях обучения искусственному языку.

3. Получить экспериментальные данные по различению геометрических форм испытуемыми с разной степенью геометрических знаний.

4. Построить субъективные пространства, отражающие категоризацию геометрических форм, в зависимости от степени владения геометрией.

5. Сравнить субъективные пространства искусственных цветовых названий и геометрических форм.

6. Проанализировать стадии зрительной категоризации при сравнении их с механизмами зрительного восприятия.

Методология исследования.

В исследовании применялись экспериментальные методы, разработанные в рамках нового психофизиологического подхода, обозначенного в работах Е.Н. Соколова, как «человек-нейрон-модель». Суть этого подхода состоит в том, что исследование начинается на поведенческом уровне психофизическими методами. Далее на основе полученных результатов строится математическая модель, которая в интегральном виде воспроизводит поведение испытуемого, а частные характеристики этой модели соответствуют нейронным механизмам мозга, реализующим это поведение. В данном исследовании в качестве поведенческого процесса использовались субъективные оценки больших межстимульных различий. Для построения субъективных психологических пространств использовались методы многомерного шкалирования. В психофизиологии методы многомерного шкалирования могут быть использованы на всех этапах исследования, стоящего по схеме «человек-нейрон-модель» - и на этапе психофизического анализа психических процессов, и на этапе изучения их нейронных механизмов /Р.Шепард, 1981; А.Ю.Терехина, 1973; Ч.А.Измайлов, 1980/. Многомерное шкалирование основывается на положении, что различение стимулов определяется их расхождением по ограниченному числу субъективных признаков, которые явно или неявно учитывают люди при суждениях о различии или сходстве стимулов. Исходя из этого, ставится главная задача многомерного шкалирования - нахождение минимального числа субъективных признаков, определяющих различение стимулов человеком, и вычисление значения этих признаков. Решение задачи многомерного шкалирования основано на использовании понятия психологического пространства, точки которого представляют исходные стимулы. Аналогично геометрическим представлениям вводится система координат, число которых определяется числом базовых субъективных признаков. Это число и задает размерность психологического пространства. Физическая размерность стимула и субъективная размерность образа в общем случае не совпадают. В работах Е.Н. Соколова и Ч.А. Измайлова /С.В. Фомин и др., 1979, Измайлов и др., 1984, 1995/ выдвинуто положение, соотносящее данное несовпадение с природой нейронной сети, связывающей внешнее воздействие и субъективный феномен. Устройство этой сети и задает размерность феноменального пространства. Математическое выражение нейронной сети формулируется в виде сферической модели различения стимулов этого пространства, которая позволяет интерпретировать одно и то же явление и в психологических, и в нейрофизиологических терминах. При этом сферические координаты точки стимула в этом пространстве представляют субъективные характеристики стимула, а декартовы координаты определяются вкладом возбуждений нейронных каналов зрительной системы. Таким образом, в единой модели объединяются физиологические механизмы и феноменология восприятия.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением теоретически обоснованных методов многомерного шкалирования исходных экспериментальных данных, вычислением коэффициентов корреляции, вариативности и стандартных отклонений. Статистическая достоверность

обеспечена большим количеством предъявлений каждого отдельного сигнала каждому из испытуемых.

В качестве объекта исследования выступили 3 группы испытуемых разного возраста с различным уровнем знаний в области геометрии:

1. Учащиеся 6 класса средней школы - 3 чел.
2. Студенты математического факультета МГПУ - 3 чел.
3. Преподаватели математики в средней школе - 3 чел.

Каждому испытуемому предъявлялось 950 пар стимулов в первой серии и 755 пар стимулов во второй серии исследования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Формирование категориальных когнитивных структур является протяженным во времени циклическим процессом. Конечный результат каждого цикла является отправной точкой для каждого последующего.

2. Единичный цикл включает три основные стадии: первичное обобщение-дифференциация-вторичное обобщение.

3. Принципиальный механизм формирования категориальных структур является единым для двух различных уровней психической деятельности - для перцептивного уровня и уровня семантики языка.

4. Особенности формирования зрительной категоризации задаются свойствами нейронных механизмов, обеспечивающих зрительное восприятие.

Научная новизна работы определяется самим подходом к исследованию, проведенному в единой экспериментальной парадигме при использовании методов многомерного шкалирования и построении геометрических моделей, в интегральном виде воспроизводящих поведение испытуемых. Впервые не только теоретически, а в рамках единого экспериментального исследования продемонстрировано, что формирование зрительных категорий в процессе обучения проходит три стадии: первичное обобщение-дифференциация-вторичное обобщение. Трехэтапный процесс образования зрительных категорий, универсален, т.к. прослежен при формировании зрительных категорий разного уровня - перцептивного уровня и уровня семантики языка. Впервые на материале формирования искусственных цветовых названий показана прямая связь циклических стадий дифференциации и интеграции в развитии категориальных структур с нейрофизиологическими механизмами построения цветового образа. На основании этого предложен новый подход к исследованию механизмов категоризации, рассматривающий в качестве основного механизма, задающего этапы зрительной категоризации, специфическое устройство нейронной сети, обеспечивающей зрительное восприятие.

Практическая и теоретическая значимость работы.

Практическая значимость исследования определяется тем, что выявленные принципы формирования зрительных категорий могут быть использованы при проектировании искусственных биобибернетических обучающих систем. Значение результатов, полученные в данной работе, определяется также практическими запросами со стороны педагогической и инженерной психологии. Принципы зрительной категоризации, выявленные в процессе овладения знаниями, могут быть использованы для создания

эффективных технологий диагностики степени усвоения знаний. Кроме того, они важны для аналитической работы и преподавания и используются при чтении курса «Психофизиология» для студентов факультета психологии МГУ.

Апробация работы. Материалы работы апробированы на заседании кафедры психофизиологии факультета психологии МГУ им. М.В.Ломоносова.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 работы, из них одна на иностранном языке; общий объем – 1,5 усл. печ. листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, библиографического списка использованной литературы, включающего 88 источников, и 36 приложений. Объем основного текста диссертации составляет 116 страниц. Работа содержит 14 таблиц и 21 рисунок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность исследуемой проблемы; определяются цели исследования, его предмет, объект; формулируются гипотеза и задачи; обозначены использованные методики; раскрываются новизна, практическая и теоретическая значимость полученных результатов; выдвигаются положения, выносимые на защиту.

В литературном обзоре представлены и проанализированы эмпирические данные и основные теоретические подходы к проблеме категоризации.

Изучению формирования психических функций посвящено большое количество работ. На основании результатов исследований авторами констатируется, что одним из фундаментальных принципов умственного развития в целом, и перцептивного в частности является путь формирования структуры «от общего к частному», состоящий в постепенной, все более точной и дифференцированной идентификации объектов окружающего мира /Ж.Пиаже, 1969; Л.С.Выготский, 1956; В.В.Давыдов, 1972/. Известный русский психолог Н.Н.Ланге /1893/ сформулировал «закон перцепции» следующим образом: «Процесс всякого восприятия состоит в чрезвычайно быстрой смене целого ряда моментов или ступеней, причем каждая предыдущая ступень представляет психическое состояние менее конкретного, более общего характера, а каждая следующая - более частного и дифференцированного». Дж. Брунер /1977/ указывал на первичную категоризацию, заключающуюся в выделении объекта из окружающего мира и приписывании ему наиболее общих характеристик, типа: «предмет», «звук» и т.д. Последующие этапы связаны с «постепенным сужением, последовательным ограничением категорий, к которым мы относим наш предмет», то есть с более точной его идентификацией. У.Найссер /1981/, говоря о развитии так называемых «предвосхищающих схем» (основных для зрения когнитивных структур, представляющими собой своего рода планы для перцептивных действий), постулирует, что эти схемы формируются от общего к частному, от недифференцированного к точному, то есть по пути конкретизации и сужения. Подчиненность когнитивного развития принципу дифференциации подтверждается многочисленными фактами из детской и возрастной

психологии /Н.И.Чуприкова,1997; Е.С.Сергиенко, 2002/.

Не ставя под сомнение принцип дифференциации в когнитивном развитии, некоторые исследователи /E.Rosch,1977/ утверждают, что такой путь не единственен: возможен и обратный - «от частного к общему», то есть интеграция - переход от отдельного и дифференцированного к целостному и нерасчлененному. «Процессы дифференциации, где бы они ни происходили, неотрывны от процессов интеграции» /Н.И.Чуприкова,1997/. Вместе с тем, вопрос об интеграционной составляющей процесса развития проработан недостаточно, а в фактических эмпирических данных нет ясности и определенности.

К числу таких данных можно отнести данные Б.Ф. Ломова /1966/ и Л.М. Веккера /1974/, полученные при исследовании фаз формирования зрительных образов. Полученные результаты позволяют предположить, что в ходе перцептогенеза происходит цикличное чередование двух различных стадий познавательного процесса: вначале совершается переход от первоначально целостного, но аморфного и неопределенного восприятия формы объекта (грубое различение общих пропорций, размера, положения и т.п.) к выделению отдельных деталей и элементов, а затем снова к целостному отражению, которое становится более точным после проведенного анализа. В дальнейшем совершается более детальный и дифференцированный анализ объекта, после чего, соответственно, снова наступает стадия целостного, но еще более точного и дифференцированного отражения и т.д. По мере такого цикличного чередования стадий дифференциации и интеграции и происходит формирование конечного, адекватного целостного образа во всей полноте его деталей.

Результаты исследования динамики семантического пространства искусственных цветowych названий. Целью данной экспериментальной серии являлось построение геометрической модели различения искусственных цветowych названий и сравнение этой модели с нейронными механизмами цветowego зрения в рамках сферической модели цветоторазличения.

Методика исследования. Построение пространств искусственных цветowych названий производилось в три этапа.

На первом этапе были подобраны бессмысленные трехбуквенные слова (фир, бум, и т.п.), которые априорно не содержат никакой цветовой семантики. На экране монитора персонального компьютера IBM PC последовательно предъявлялась пара бессмысленных трехбуквенных слов из общего списка. Испытуемый оценивал степень *цветowego* различия между значениями этих слов в баллах от 0 (полная идентичность) до 9 (максимальное различие) и вводил соответствующее число через клавиатуру. Длительность предъявления каждого слова в паре составляла 0.8 сек. Длительность интервала между предъявлениями - 0.4 сек. Через две секунды после предъявления первой пары слов предъявлялась вторая, затем третья и т.д. пока каждая попарная комбинация из 20 слов общего списка не была предъявлена по 5 раз. Все предъявления производились в случайном порядке, по окончании опыта оценки для каждой пары усреднялись. Необходимость этой экспериментальной серии была продиктована тем, что у испытуемых могли быть какие-то исходные

цветовые ассоциации, связанные с выбранными искусственными словами.

В результате этих опытов для каждого испытуемого была получена треугольная матрица из $20(20-1)/2$ элементов, каждый элемент которой представляет собой среднее арифметическое из 5-ти оценок. Полученная матрица затем обрабатывалась методом метрического многомерного шкалирования по алгоритму Торгерсона /N.S.Torgerson, 1958/, в результате чего определились координаты 20-ти точек, представляющих шкалируемые слова в данном семантическом пространстве.

На втором этапе испытуемый методом простого ассоциативного научения обучался называть искусственными словами 20 цветовых стимулов, представляющих все цвета спектра от фиолетового до красного, пурпурные цвета, получаемые смещением коротковолновых излучений, и, наконец, белый цвет. Основное назначение этой серии опытов состояло в обучении испытуемого называть каждый из 20 цветовых стимулов только одним из 20 имеющихся в общем списке слов. Цветовые стимулы были подобраны так, чтобы в стимуляции было представлено все разнообразие цветовых тонов спектра. Кроме хроматических цветов в число стимулов был включен белый, полученный как смесь трех основных цветов монитора. Все цветовые стимулы были выровнены по воспринимаемой яркости методом гетерохроматического подравнивания к белому на уровне 15 кд/м^2 .

В ходе опытов на экране монитора, на темном фоне, предъявлялся один из 20-ти цветов, а затем, со сдвигом в 400 мсек., предъявлялось соответствующее этому цвету слово. Предъявления цветов производилось в случайном порядке.

После обучающего опыта сразу же проводился контрольный. Здесь испытуемому предъявлялся только цвет, который он должен был назвать соответствующим названием. Если испытуемый делал это безошибочно, то обучающий опыт считался выполненным. Если же испытуемый делал ошибки, обучающий опыт повторялся до тех пор, пока испытуемый не воспроизводил правильно все цветовые названия. Только после этого переходили к 3-ей серии опытов - построению семантического пространства искусственных цветовых названий.

На третьем этапе строилось пространство искусственных цветовых названий тем же методом метрического многомерного шкалирования, что и исходное пространство бессмысленных слов. Процедура третьей серии опытов в точности соответствовала процедуре первой серии. Здесь вновь для каждого испытуемого была получена матрица попарных различий искусственных цветовых названий, которая анализировалась тем же методом метрического многомерного шкалирования.

Опыты всех серий проводились на испытуемых 20-25 лет с нормальным трихроматическим зрением.

Результаты и их обсуждение. Семантическое пространство искусственных слов до обучения можно охарактеризовать как случайное. Точки распределяются по плоскости, не образуя какой-либо упорядоченной структуры, сходной с цветовым спектром, либо с цветовым кругом Ньютона, либо с цветовым треугольником и т.п. Это позволяет сделать вывод об

отсутствии какой-либо априорной цветовой семантики в выбранных искусственных словах.

Совершенно другая картина наблюдается при анализе пространства, полученного после обучения. Все точки, соответствующие искусственным цветовым названиям, разделились на четыре локуса, отделенные друг от друга. В каждом из локусов сгруппировались точки, представляющие названия одного из четырех основных цветовых разделов спектра: в нижнем правом локусе сгруппировались точки, представляющие названия голубых, зеленых и желто-зеленых тонов, в нижнем левом - желтых, в верхнем левом - оранжевых и красных, а справа вверху - названия пурпурных и фиолетово-синих цветов. Это говорит о том, что семантика этих цветовых названий определяется главным образом цветом. Четыре основных цвета (синий, зеленый, желтый и красный) выступили в качестве эталонов для классификации. Внутри каждого локуса точки практически не упорядочены. Это означает, что испытуемые путают названия соседних, близких цветов, однако, названия из одной группы никогда не приписываются цветам другой группы. Можно сказать, что структура полученного семантического пространства имеет явно выраженный «классификационный» характер: множество точек не является единым, а разбито на изолированные однородные группы, внутри которых отсутствуют упорядоченные метрические отношения между стимулами.

Обращает на себя внимание следующий факт: образование семантических категорий не случайно, а жестко связано со структурой цветового пространства. Структура же цветового пространства задается нейрофизиологией локального анализатора цвета и отражает работу основных цветоопонентных систем - красно-зеленых и сине-желтых нейрональных каналов, определяющих различение цветового тона. Можно предположить, что семантические категории цветовых названий, сфокусированные у полюсов цветоопонентности, формируются под влиянием нейрофизиологических механизмов цветового зрения.

Возникает вопрос: можно ли считать полученные данные окончательной структурой искусственных цветовых названий или процесс их формирования не закончен, и эти данные представляют только промежуточный результат? Ведь этот результат можно объяснить недостаточным усвоением искусственного цветового словаря. В связи с этим для испытуемых была проведена повторная обучающая серия опытов через одну неделю. После проверки безошибочности называния стимулов для испытуемых вновь строилось семантическое пространство цветовых названий. Сравнение полученных данных с данными предыдущего этапа обучения демонстрирует специфичность изменений, происшедших в семантическом пространстве под влиянием дополнительного обучения. Выделенные на первом этапе четыре группы точек - цветовых названий уже не являются однородными, а именно: точки внутри каждой из групп перераспределились по периметру цветового круга в соответствии со специфическим цветовым тоном стимула, представляемого этим названием, границы между классами стали менее обозначенными, то есть различие стимулов внутри класса стало более упорядоченным. По сравнению с предыдущим структура полученного пространства в большей степени имеет

метрические свойства, когда положение каждой точки строго определено степенью выраженности шкалируемого признака у соответствующего стимула. Как показывают полученные данные, «метризация» пространства сопровождается формированием сферической структуры в полученной конфигурации точек-стимулов. Исходя из сферической структуры пространства сенсорных цветowych стимулов Ч.А.Измайлов, 1980/ можно заключить, что это еще один аргумент в пользу вывода: семантика цветowych названий определяется активностью цветowego анализатора. Таким образом, происходящая «метризация» пространства говорит о том, что на этом этапе испытуемые систематизировано различают уже не только классы стимулов, но и стимулы внутри классов, то есть происходит процесс более упорядоченной дифференциации стимулов в результате выделения новых, более специфических отличительных признаков.

Итак, на примере формирования простых цветowych категорий отчетливо видны две стадии процесса категоризации:

— первичная категоризация, заключающаяся в распределении объектов по классам на основании их наиболее явных отличительных признаков. При этом, очевидно, происходит сопоставление стимулов с объектами-эталоном, у которых эти признаки выражены максимально. На этом этапе различаются только классы стимулов, тогда как различие между стимулами одного и того же класса практически не упорядочено;

— дифференциация стимулов, упорядочение различий между ними, и в результате этого структурирование первоначально образованных классов в упорядоченную последовательность цветowych тонов. В графическом представлении это выражено в процессах «метризации» и формировании сферичности субъективного пространства.

Поскольку специфика формирования семантического пространства цветowych названий заключается в его приближении к сенсорному цветovому пространству, представляющему собой уже законченную, сложившуюся в процессе эволюции и в онтогенезе структуру, и отличающуюся «метрическим» а не «классификационным» характером, то второй этап категоризации, по-видимому, является завершающим.

Метризация семантического пространства цветowych названий определяется совершенствованием цветоразличительной функции зрительного анализатора. Улучшение цветоразличения достигается подключением к базисным оппонентным нейрональным системам следующего анализаторного звена - нейронов-детекторов. Нейроны-детекторы, в отличие от оппонентных нейронов, узкоселективны и ответственны за восприятие все более тонко субъективно различаемых цветowych оттенков. Каждому цветovому значению соответствует максимальное возбуждение одного из детекторов. Всеми множеству различаемых цветов соответствует полный набор нейронов-детекторов цветowego анализатора.

Таким образом, метрическая структура семантического пространства цветowych названий отражает формирование нейрональной детекторной «карты», соответствующей цветоразличительной функции субъекта.

Результаты исследования динамики психологического пространства неопределенных геометрических фигур. Задачей данной экспериментальной серии являлось построение субъективного пространства различения геометрических форм для испытуемых разного уровня развития геометрических знаний и сравнение этих данных с динамикой формирования пространства искусственных цветовых названий.

В отличие от предыдущего исследования, в котором категоризация изучалась на примере обучения и развития речевой семантики, в этой части исследования использовался другой способ выявления динамики категоризации. В данном случае динамика формирования категориального пространства зрительных конфигураций прослеживалась путем анализа структуры этого пространства у испытуемых различного возраста и уровня обученности: у учащихся, студентов и учителей.

Методика исследования. В качестве стимулов для этого исследования были вычерчены неопределенные геометрические фигуры, которые нельзя безоговорочно отнести к тому или иному принятому классу по причине отсутствия у них некоторых частей и деталей. Эти фигуры представляли собой незаконченные, незавершенные *треугольники*, *трапеции* и *пятиугольники* и не обладали, соответственно, в полной мере признаками этих классов. Количество недостающих деталей варьировало от 1 до 2, причем отсутствовали «ключевые» элементы, отличающие фигуры разных классов. Отнесение таких стимулов к исходным классам требует более сложного, по сравнению с завершенными фигурами (у которых признаки выражены четко), анализа и дифференциации признаков. Можно предполагать, что качество категоризации будет зависеть от уровня обучения испытуемых. Всего в эксперименте предъявлялось 27 стимулов, 9 из которых являлись «завершенными», правильными фигурами (треугольниками, трапециями, пятиугольниками) и использовались в качестве эталонов классификации.

Процедура экспериментов состояла в следующем. На экране монитора в случайной последовательности предъявляются графические изображения фигур. В отличие от предыдущих опытов, где предъявлялись пары стимулов и оценивалась степень межстимульного различия, в данном эксперименте задача испытуемых состояла в оценке каждого стимула в отдельности и их отнесении к одному или нескольким классам - треугольникам, трапециям и пятиугольникам. Длительность предъявления каждого стимула составляла 1,5 сек. Интервал между предъявлениями (время ответа) был фиксирован и составлял 2 сек. В одной серии каждый стимул предъявлялся по 10 раз. Было проведено по 3 серии экспериментов с каждым испытуемым, то есть всего каждый стимул был предъявлен 30 раз. Все предъявления были рандомизированы.

В результате классификации стимулов вычислялся вес стимула по каждому классу, усредненный по числу предъявлений, на основании чего вычислялись субъективные различия между стимулами. Полученная в итоге матрица различий обрабатывалась методом неметрического многомерного шкалирования по алгоритму Крускала /А.Ю.Терехина, 1986; J.B.Kruskal, 1964/. В результате анализа вычислялись координаты 27-ми точек-стимулов и

показатели стресса для 2-хмерного пространства.

Результаты и их обсуждение. Рассматривая полученные результаты в целом, можно сказать, что с изменением возраста и уровня обученности происходит качественное изменение психологического пространства, а, следовательно, и уровня категоризации использованных в эксперименте стимулов. Можно предположить, что классификация на каждой возрастной стадии представляет собой отдельный этап в целостном процессе развития когнитивной структуры.

Классификация у школьников является первичной и состоит в выделении наиболее простых и явно выраженных признаков объектов и их объединении в изолированные классы на основании наличия или отсутствия у них этих признаков. В отдельные классы выделились завершенные треугольники, трапеции и пятиугольники. Все точки, представляющие незавершенные фигуры объединились в одну большую группу. Различие в положениях этих точек в пространстве практически не упорядочено, что говорит о хаотичности и случайности их классификации. Таким образом, признаки треугольников, трапеций и пятиугольников выделялись испытуемыми только при условии полной завершенности фигуры, то есть при максимальной и явной выраженности этих признаков, присутствующей только у объектов-эталонов: только они, соответственно, и разделялись на заданные классы. Различия в степени выраженности признаков при этом не учитывались, в результате чего различие незавершенных фигур (представлявших в нашем эксперименте различные степени выраженности признаков заданных классов) носило хаотичный характер - все они были представлены в пространстве одним, неупорядоченным множеством точек. Полученное пространство можно определить как «классификационное»: информативными являются только различия классов, в то время как различия между точками-стимулами одного класса случайны, поскольку каждый отдельный класс фактически может быть представлен одной точкой в пространстве.

На примере испытуемых-студентов видна вторичная классификация, характеризующаяся упорядоченной внутриклассовой дифференциацией стимулов в зависимости от степени выраженности у них признаков класса, а также от наличия у них других отличительных признаков, которые не соответствуют этому классу. По сравнению с пространством предыдущей группы испытуемых, где все незавершенные фигуры объединились в один неупорядоченный класс, в данном пространстве эти точки-фигуры равномерно распределяются по трем группам, представляющим отдельные классы треугольников, трапеций и пятиугольников. Это означает, что у данных испытуемых, в отличие от предыдущих, присутствует четкое разделение незавершенных фигур в зависимости от наличия у них тех или иных признаков названных классов. При этом точки каждой группы не сосредоточены беспорядочно в одном локусе, а растягиваются от начала координат в определенном направлении, образуя как бы три разнонаправленных лепестка. Для точек, представляющих фигуры одной модальности внутри какого-либо класса (например, прямоугольные треугольники) удаленность от начала координат четко зависит от степени завершенности соответствующей фигуры:

чем дальше точка от центра, тем более завершенной является соответствующая фигура. Таким образом, можно говорить о том, что все выделяемые группы точек пространства не являются однородными, и данное пространство имеет *«метрический»* характер: внутри каждой группы между точками, представляющими фигуры одной модальности, существуют упорядоченные метрические отношения, измеряемые шкалой расстояния от начала координат до этих точек, разность которого соответствует межстимульным различиям. Это означает, что испытуемые классифицируют стимулы внутри каждого класса не хаотично, а упорядоченно, в соответствии со степенью выраженности у каждого стимула признаков класса (что графически выражается в «метризации» пространства). Объекты внутри классов не объединяются, а наоборот, разделяются в результате углубленного анализа старых и обнаружения новых признаков. Акцент на этой стадии классификации ставится не на сходстве, которое выделялось ранее, а на различиях между стимулами, в результате чего первоначальные классы утрачивают свою однородность.

Наконец, у испытуемых преподавателей математики вновь наблюдается жесткое разделение объектов на внутренне однородные классы, но уже на качественно ином, по сравнению с учениками, основании. В отличие от пространства учеников незавершенные фигуры четко разделяются на отдельные группы. Наряду с изменившимся количеством классов изменилось и их содержание: если в классификации школьников учитывались только самые явные, наиболее общие и простые признаки, то испытуемые-учителя основываются на достаточно сложных и селективных признаках. Однородность образованных классов объясняется, вероятно, выделением среди отличительных признаков, обнаруженных на предыдущем этапе «дифференциации», главных и существенных и осуществлении на их основе новой классификации. Этим признакам отдается приоритет: качественное сходство по ним является определяющим для объединения объектов, не взирая на возможные количественные различия в конкретных формах их выражения. На этой стадии классификации акцент вновь ставится на сходстве объектов и переносится с разделения на обобщение.

Таким образом, на примере трех рассмотренных возрастных групп, можно говорить о протяженном во времени и относительно завершенном цикле, который проходят категориальные структуры в процессе развития. Этот цикл состоит из трех основных стадий и может быть обозначен как *«первичное обобщение-дифференциация-вторичное обобщение»*. Разделившиеся на этапе дифференциации и анализа объекты вновь объединяются, но уже на качественно ином основании, с учетом новых обнаруженных характеристик и отличий. Исходные категории качественно модифицируются в результате накопления новых знаний об объектах и могут являться основой для дальнейшего анализа.

Выявленные в поведенческих экспериментах этапы формирования зрительных категорий связаны, по всей видимости, не с интеллектуальной способностью к синтезу и анализу, а с особенностями нейронального «устройства» перцептивной системы, воспринимающей зрительный сигнал.

Эта система характеризуется *поэтапным* подключением клеточных элементов, выполняющих в перцептивном акте разную функцию. За рецепторами, преобразующими энергию квантового излучения в электрическую энергию, следует первый нейрональный слой – это слой преддетекторов. Задача нейронов-преддетекторов состоит в выделении субъективно значимых простых характеристик внешнего сигнала. Число типов нейронов-преддетекторов соответствует числу базисных субъективных параметров стимула. Однако нейроны-преддетекторы, выделяя основные характеристики стимулов, не способны оценить их количественно. Поэтому на этом уровне осуществляется только грубая и предварительная идентификация внешних сигналов. Измерение значений простых признаков – это функция следующего за преддетекторами слоя нейронов-детекторов. Каждый отдельный детектор «настроен» на определенное значение сигнала, а весь набор детекторов соответствует полному набору градаций сигнала, идентифицированного преддетекторами. Хорошо известны /D.H.Hubel, T.N.Wiesel, 1970/, в частности, детекторы ориентации линий, каждый из которых отвечает за восприятие определенного угла поворота линии, а их полный набор выделяет стимул любого направления – от горизонтали, до вертикали. Детекторы простых признаков формируют сигналы, поступающие на систему «что?», которая точно идентифицирует объект не по отдельным его признакам, а по *характерному набору* этих признаков, который устойчиво сохраняется у всех объектов данной категории. Этот новый уровень обобщения, складывающийся на основе уже «измеренных» простых признаков, осуществляется при участии «гештальт-детекторов», отвечающих за неделимые зрительные комплексы. Существование «гештальт-нейронов» было впервые предсказано Ю.Конорски /1970/ и в дальнейшем экспериментально подтверждено. Примером гештальт-детекторов могут служить нейроны инферотемпоральной коры, избирательно реагирующие на определенное эмоциональное выражение лица любого человека и нейроны, «опознающие» лицо конкретного человека, независимо от его эмоционального выражения /R.Rolls, 1992/. Таким образом, работа зрительной перцептивной системы, связанная с последовательным подключением преддетекторов, детекторов и гештальт-нейронов, обеспечивает три основные стадии опознавательного процесса, которые также как и стадии категоризации могут быть обозначены как *«первичное обобщение— дифференциация—вторичное обобщение»*.

Общее обсуждение. Сравнивая данные, полученные в экспериментах с обучением искусственному цветовому языку с результатами экспериментов по категоризации геометрических фигур, можно увидеть общие для обоих случаев закономерности.

И в том, и в другом случае стимулы сначала жестко делились на изолированные классы по наиболее общим, явным и очевидным признакам на основании сходства с эталонами этих признаков. Образованные классы являлись однородными, внутри них отсутствовало упорядоченное различие стимулов, поскольку испытуемые практически не различали степеней выраженности классификационных признаков, а также других отличительных признаков. В экспериментах с искусственными цветовыми названиями это

выражалось разделением всех точек на четыре отдаленные друг от друга локуса, в соответствии с четырьмя основными разделами спектра и четырьмя геринговскими первичными цветами (синий, зеленый, желтый, красный), выступающими в качестве эталонов для классификации. Внутри каждого локуса отсутствовали упорядоченные отношения между точками, поскольку испытываемые путали оттенки и полутона, а различали только глобальные цветовые характеристики искусственных названий. В экспериментах с категоризацией геометрических фигур школьниками из общей массы этих фигур выделялись в самостоятельные классы и четко идентифицировались только сами объекты-эталон, классификация же остальных стимулов, у которых признаки классов выражены не максимально, была хаотичной - все они объединились в один, неупорядоченный класс. Пространство имело «классификационный» характер: можно было говорить только о различии между классами стимулов, различие между стимулами внутри них не имело значения, и каждый отдельный класс фактически мог быть представлен в пространстве какой-либо одной точкой.

После этой, начальной, стадии классификации, которую мы можем определить как первичное обобщение, наступает следующий этап - внутриклассовая упорядоченная дифференциация стимулов в результате селективного анализа их классификационных и других отличительных признаков. Как следствие такой дифференциации, первоначальные классы утрачивают свою однородность, возможно их сближение и разделение. Точки-стимулы перераспределяются в пространстве в зависимости от степени выраженности у этих стимулов основных признаков класса и других отличительных признаков: происходит «метризация» пространства. «Метризация» семантического пространства выражается в перераспределении точек каждой из четырех групп по периметру цветового круга, в его приближении к сферической структуре, что связано с соответствующим устройством цветового анализатора. Метрическая структура пространства геометрических конфигураций выглядит по-иному: она представляет собой три отдельных для каждого класса стимулов шкалы, направленных в разные стороны, как лепестки у цветка. Каждая шкала выражает признак соответствующего класса - чем дальше находится точка из этого класса от начала координат, тем больше у нее выражен этот признак, и наоборот.

Таким образом, первые две стадии категоризации, обозначаемые как первичное обобщение и дифференциация, четко прослеживаются в обоих экспериментах. На основании этого можно предположить, что принципиальный механизм формирования категориальных структур является единым для различных видов и уровней психической деятельности - в данном случае для перцептивного уровня и уровня семантики языка.

Однако в экспериментах с конфигурациями наблюдается и третья стадия - стимулы вновь объединяются в классы, происходит вторичное обобщение, но уже на качественно более высоком основании, с учетом специфических особенностей стимулов, выявленных в процессе анализа на предыдущей стадии. Пространство вновь принимает «классификационный» характер. На этом примере мы можем говорить о завершенном трехстадийном цикле

развития категорий, который можно обозначить как «первичное обобщение-дифференциация-вторичное обобщение».

Отсутствие заключительной стадии цикла в развитии структуры семантического пространства цветowych названий, его остановка на стадии «метризации» может объясняться, с одной стороны, недостаточностью обучения, а с другой - специфической особенностью формирования этой структуры. Она состоит во все большем приближении данного пространства, по мере развития, к перцептивному цветовому пространству, представляющему собой уже законченную, сложившуюся в процессе эволюции и в онтогенезе структуру и отличающуюся «метрическим», а не «классификационным» характером, что обусловлено устройством цветового анализатора. Прежде чем достигнуть такого вида, Перцептивное пространство, в процессе развития могло проходить весь цикл, и неоднократно, каждый раз начиная его с качественно нового уровня. Видоизменяясь в соответствии с каждой стадией и отражая соответствующую структуру анализатора в каждый момент, цветовое пространство остановилось на данном виде, как на относительно совершенном. Семантическое пространство, будучи обусловленным перцептивным, в своем формировании может форсировать процесс, и, минуя часть промежуточных стадий, сразу переходить к заключительной.

На основании полученных данных предлагается новый подход к исследованию механизмов категоризации, который можно обозначить как психофизиологический подход, поскольку в качестве основного механизма категоризации рассматривается специфическое устройство нервной сети, которое конструирует из множества внешних воздействий единичный и константный образ таким способом, чтобы неизбежная вариабельность этих внешних воздействий, пока она не выходит за границы, угрожающие сохранению этого образа, не отвлекала информационные и энергетические ресурсы организма и не мешала решать поведенческие задачи.

В настоящее время хорошо известно, что сенсорные системы, посредством которых живой организм получает информацию о состоянии внешней среды, функционируют как измерительные приборы (анализаторы), регистрирующие только изменения энергии и плотности вещества в окружающей среде. Функциональное однообразие сенсорных анализаторов по отношению к воздействиям среды резко контрастирует с качественным многообразием сенсорных образов, которые конструируются в этих анализаторах. Достаточно привести пример зрительной системы, рецепторы которой осуществляют одну единственную операцию по отношению к воздействиям среды – суммируют энергию квантов электромагнитного излучения по своему диапазону длин волн, и на основании этой информации зрительные анализаторы конструируют такие качественно различные образы как цвета, формы, движения. Эта качественная специфика сенсорных образов определяется только устройством анализаторов, нейронными механизмами, которые из одного и того же распределения энергии по рецепторам сетчатки формируют очень разные по качеству образы. Можно сказать, что типология сенсорных систем, основанная на специфическом устройстве анализаторов, представляет собой первый этап категоризации, этап обобщения.

Так, бесчисленное множество комбинаций волн электромагнитного излучения в диапазоне от 400 до 700 нанометров преобразуются для человека в один и тот же зрительный световой образ за счет устройства фоторецепторов, а такое же множество комбинаций волн электромагнитного излучения в диапазоне 1000-2000 нанометров преобразуется в один и тот же тактильный образ тепла за счет устройства тактильных рецепторов. Аналогичным образом, за счет устройства нейронной сети цветового анализатора, световой образ разделяется на цветовые образы, то есть зрительная категория света дифференцируется на зрительные цветовые категории. Каждый цветовой образ также является обобщением множества комбинаций волн электромагнитного излучения, так что по цветовому образу нельзя восстановить конкретную комбинацию электромагнитных волн, которую этот цвет обозначил. Идентичность цветовых образов, вызванных стимулами разного спектрального состава, называется в цветовой науке метамеризмом /Д.Джадд, Г.Вышецкий, 1978/. Но зато обратная операция всегда однозначно определена. Данной комбинации электромагнитных волн цветовой анализатор приписывает только один цветовой образ. Такое одностороннее соотношение между двумя множествами «А» и «В», когда для любого A_i есть только один элемент из множества В, но для каждого B_i существует множество равноправных элементов в А, называется отношением гомоморфизма. Механизм обобщения в нейронной сети анализатора обладает такой же односторонней направленностью, таким же гомоморфизмом, который мы видим в обобщении речевых категорий – слов. Так, например, когда мы оперируем словом «стол», мы не можем сказать на основе какого именно зрительного образа или образа памяти, или представления сформировано данное речевое понятие, в нем содержатся все эти зрительные и мнемические образы. В то же время любой конкретный зрительный или мнемический образ стола однозначно представлен в речи словом «стол».

Категоризация на сенсорном уровне, в механизме сенсорных анализаторов обладает определенными особенностями. Поэтому ее лучше сравнивать не со словесными категориями, а с числовыми. Как и числа, сенсорные образы наряду с категориальной характеристикой обобщения обладают свойствами шкалы, когда на множестве элементов, составляющих шкалу, устанавливается не только отношение эквивалентности, но и некоторые другие отношения (например, порядка, или эквивалентности попарных разностей и т. д.) /Р.Стивенс, 1961, Ч.А.Измайлов, М.Б.Михалевская, 1983/. Метрические свойства сенсорных образов так же проистекают из специфического устройства нейронной сети анализатора, как метрические свойства температурной шкалы проистекают из устройства термометра.

Таким образом, мы видим значительное сходство между категориальными свойствами сенсорных образов и речевыми категориями.

В заключении подводятся итоги исследования; отмечается, что полученные данные подтверждают выдвинутую гипотезу, приводятся основные **выводы**:

1. При формировании семантических цветовых категорий выявлены две последовательные стадии процесса категоризации: первичное обобщение -

дифференциация.

2. Эти стадии обнаруживаются в изменении структуры психологического пространства искусственных цветовых названий, которое сначала имеет классификационный характер, а по завершении обучения становится метрическим.

3. Вид категоризации геометрических объектов зависит от уровня знаний в области геометрии и по мере обучения проходит следующие стадии: первичное обобщение-дифференциация-вторичное обобщение.

4. Развитие геометрических категорий отражают преобразования психологического пространства геометрических форм, состоящие в его переходе от грубого классификационного - к метрическому и затем к новому классификационному - на основе предыдущей метризации.

5. Процесс формирования зрительных категорий универсален, поскольку этапы дифференциации- интеграции выявлены при формировании зрительных категорий разных уровней – перцептивного уровня и уровня семантики языка

6. Основным механизмом, задающим этапы зрительной категоризации, является специфическое устройство нейронной сети, обеспечивающей зрительное восприятие.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях автора:

1. Семантическое пространство искусственных цветовых названий. (в соавторстве с Измайловым Ч.А., Соколовым Е.Н., Сукретной Л.М.). //Вестник Московского ун-та, 1992, сер.14 Психология, N 1, стр. 3-14

2. ERG-diagnostics of retinal capacity of color discrimination. /European Journal of Psychological Assessment, 1995, vol.11, Supplement n.1, p.92-93

3. Зрительные механизмы формирования категориальных структур. /Северо-Кавказский психологический вестник. Приложение 1, 2003, с.31-35 _

РНБ Русский фонд

2007-4

14625

Формат 60x84/16. Объем 1,0 уч. – изд. л.

Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Arial»

Заказ № 68. Тираж 120 экз.

Отпечатано в КМЦ «КОПИЦЕНТР»

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 19, тел.47-34-88

05 АПР 2004